

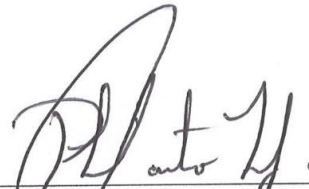
# **Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco**

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Pedro Castro Fernández, Ing. Alejandro Medina Angulo, Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya  
Director



Ing. Pedro Castro Fernández.  
Profesor Guía



Ing. Alejandro Medina Angulo.  
Profesor Lector



Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.  
Profesor Observador

# Abstract

The purpose of this project is to select the kind of pavement to be built on a road of Rural Road Network of El Guarco, Cartago. The options to analyze are flexible pavement and rigid pavement.

In both cases, pavement design will be considered three alternatives. The first alternative consist of the pavement above the subgrade without stabilization. The second alternative is the pavement above a stabilized subgrade. The third option consists of a pavement over the current structure.

Using the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, a structural design is assessed for each pavement alternatives

First it is necessary to measure the Average Daily Traffic (ADT) of the route to calculate the Equivalent Single Axle Loads (ESAL), which represents the Vehicle Loads over the pavement structure during the pavement design.

After obtaining the pavement geometric and mechanical properties that best supports each alternative, the next step is planning pavement interventions, as well as making a cost analysis. The goal of this is to have all inputs for a comparative analysis with the pavement management system software HDM-4.

Keywords: flexible pavement design, rigid pavement design, vehicular flow, pavement management system, cost analysis medium term, cost analysis long term, HDM-4.

# Resumen

La finalidad de este proyecto es optimizar el tipo de pavimento a ser construido en un camino de la Red Vial Cantonal de El Guarco de Cartago, las opciones a analizar son pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

En ambos tipos de pavimento se analizan tres alternativas. La primera consiste en colocar el pavimento directamente sobre la sub-rasante en su estado natural. La segunda opción consiste en el establecimiento del pavimento sobre la sub-rasante estabilizada. Y la tercera alternativa considera la colocación de la estructura de pavimento sobre el lastre actual del camino.

Mediante la metodología de diseño de pavimentos AASHTO 1993, se pretende la elaboración del diseño estructural de cada alternativa de pavimento

Para esto es importante medir y conocer el Tránsito Promedio Diario de la ruta, con la finalidad de calcular la cantidad de Ejes Equivalentes de la vía (EEq), ya que, este parámetro representa la carga vehicular sobre el pavimento.

Luego de obtener los espesores de capa y las propiedades mecánicas y geométricas que más se adecuan a cada alternativa, el siguiente paso consiste en la planificación de las intervenciones a aplicar, además del análisis de costos. Con esto se asegura tener los insumos adecuados para realizar un análisis comparativo con la herramienta de gestión de pavimentos y evaluación de proyectos HDM-4.

Palabras clave: diseño de pavimento flexible, diseño de pavimento rígido, flujo vehicular, modelo de costos a mediano plazo, sistema de gestión de pavimentos, modelo de costos a mediano plazo, modelo de costos a largo plazo, HDM-4.

# **Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco**

RANDY EDUARDO HURTADO ACUÑA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PREFACIO</b> .....                                       | <b>1</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                                | <b>2</b>  |
| <b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....                              | <b>3</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                   | <b>6</b>  |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....                                  | <b>9</b>  |
| CARRETERA .....                                             | 9         |
| RED VIAL DE C.R. ....                                       | 9         |
| <i>Red Vial Nacional</i> .....                              | 9         |
| <i>Red Vial Cantonal</i> .....                              | 10        |
| PAVIMENTO .....                                             | 11        |
| <i>Capas de pavimento</i> .....                             | 11        |
| <i>Tipos de pavimento</i> .....                             | 12        |
| MÉTODO AASHTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS .... | 15        |
| <i>Variables de diseño</i> .....                            | 15        |
| ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTE.....                          | 21        |
| <i>Estabilización con aditivos</i> .....                    | 21        |
| DETERIOROS.....                                             | 23        |
| <i>Deterioros Pavimentos Flexibles</i> .....                | 23        |
| <i>Deterioros en Pavimentos Rígidos</i> .....               | 28        |
| <i>Índice de Regularidad Internacional (IRI)</i> .....      | 31        |
| CONSERVACIÓN VIAL.....                                      | 32        |
| <i>Mantenimiento Vial</i> .....                             | 32        |
| <i>Mantenimiento Rutinario</i> .....                        | 32        |
| <i>Mantenimiento Periódico</i> .....                        | 32        |
| <i>Rehabilitación Vial</i> .....                            | 32        |
| <i>Mejoramiento Vial</i> .....                              | 33        |
| <i>Reconstrucción</i> .....                                 | 33        |
| TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN VIAL .....                         | 34        |
| <i>Conservación del derecho de vía</i> .....                | 34        |
| <i>Conservación de estructuras menores</i> .....            | 34        |
| <i>Conservación de pavimentos flexibles</i> .....           | 35        |
| <i>Conservación de pavimentos rígidos</i> .....             | 36        |
| <i>Conservación de vías lastradas</i> .....                 | 38        |
| <i>Conservación de estructuras mayores</i> .....            | 39        |
| <i>Conservación de seguridad vial</i> .....                 | 40        |
| MODELO HDM-4.....                                           | 42        |
| <b>METODOLOGÍA</b> .....                                    | <b>44</b> |
| MEDICIÓN VEHICULAR.....                                     | 44        |
| DISEÑO DEL PAVIMENTO .....                                  | 45        |
| <i>Pavimento Flexible</i> .....                             | 45        |
| <i>Pavimento Rígido</i> .....                               | 48        |
| MODELACIÓN DE DESEMPEÑO CON HDM-4.....                      | 53        |
| <b>RESULTADOS</b> .....                                     | <b>62</b> |

|                                                        |            |
|--------------------------------------------------------|------------|
| MEDICIÓN VEHICULAR .....                               | 62         |
| DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE .....                     | 67         |
| <i>Escenario 1: Sin estabilizar</i> .....              | 67         |
| <i>Escenario 2: Estabilizado con cal</i> .....         | 70         |
| <i>Escenario 3: Con capa de lastre</i> .....           | 73         |
| <i>Resumen del Diseño de Pavimento Flexible</i> .....  | 76         |
| DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....                        | 78         |
| <i>Escenario 1: Sin estabilizar</i> .....              | 78         |
| <i>Escenario 2: Estabilizado con cal</i> .....         | 85         |
| <i>Escenario 3: Con capa de lastre</i> .....           | 92         |
| <i>Resumen del Diseño de Pavimento Rígido</i> .....    | 99         |
| MODELACIÓN DE DESEMPEÑO CON HDM-4 .....                | 100        |
| <i>Variación del Tráfico</i> .....                     | 100        |
| <i>Deterioro anual de la calzada</i> .....             | 102        |
| <i>Intervenciones Viales por año</i> .....             | 109        |
| <i>Análisis Económico</i> .....                        | 118        |
| <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....                | <b>123</b> |
| MEDICIÓN VEHICULAR .....                               | 123        |
| DISEÑO DEL PAVIMENTO .....                             | 123        |
| <i>Diseño de Pavimento Flexible</i> .....              | 125        |
| <i>Diseño de Pavimento Rígido</i> .....                | 125        |
| MODELACIÓN DE DESEMPEÑO CON HDM-4 .....                | 126        |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....                              | <b>129</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....                           | <b>130</b> |
| <b>APÉNDICES</b> .....                                 | <b>131</b> |
| APÉNDICE 1. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE .....         | 132        |
| APÉNDICE 2. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO .....           | 137        |
| APÉNDICE 3. INSUMOS DE HDM-4.....                      | 140        |
| APÉNDICE 4. DETERIORO ANUAL DE LA CALZADA.....         | 153        |
| APÉNDICE 5. CALENDARIO DE INTERVENCIONES POR AÑO ..... | 160        |
| APÉNDICE 6. BENEFICIO NETO ANUAL DESCONTADO .....      | 180        |
| <b>ANEXOS</b> .....                                    | <b>189</b> |
| ANEXO 1. INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA GIRA.....          | 190        |
| ANEXO 2. INFORMES DE LABORATORIO (MOPT) .....          | 193        |
| ANEXO 3. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE .....            | 209        |
| ANEXO 4. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO .....              | 220        |
| ANEXO 5. ESTABILIZACIÓN CON CAL.....                   | 224        |
| ANEXO 6. CONSERVACIÓN VIAL.....                        | 225        |
| ANEXO 7. CONDICIÓN ACTUAL DE EL GUARCO .....           | 229        |
| ANEXO 8. HDM-4.....                                    | 236        |
| <b>REFERENCIAS</b> .....                               | <b>242</b> |

# Lista de Cuadros

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Longitud en kilómetros de carreteras y caminos según clase y tipo de superficie de rodamiento ..... | 10 |
| <b>Cuadro 2.</b> Tiempos de Drenaje para Capas Granulares .....                                                      | 17 |
| <b>Cuadro 3.</b> Porcentaje Horario Vehicular .....                                                                  | 44 |
| <b>Cuadro 4.</b> Módulos de Poisson de diferentes tipos de materiales de pavimento .....                             | 47 |
| <b>Cuadro 5.</b> Medición del Tránsito Día 1 .....                                                                   | 62 |
| <b>Cuadro 6.</b> Medición del Tránsito Día 2 .....                                                                   | 63 |
| <b>Cuadro 7.</b> Medición del Tránsito Día 3 .....                                                                   | 63 |
| <b>Cuadro 8.</b> Porcentaje Vehicular de 7:00 a 17:00..                                                              | 64 |
| <b>Cuadro 9.</b> Expansión del Tránsito Medido a Tránsito Diario .....                                               | 64 |
| <b>Cuadro 10.</b> Parámetros Iniciales de La Vía.....                                                                | 65 |
| <b>Cuadro 11.</b> Período de Análisis recomendado de acuerdo al tipo de vía .....                                    | 65 |
| <b>Cuadro 12.</b> Ejes Equivalentes de Carril de Diseño Pavimento Flexible .....                                     | 66 |
| <b>Cuadro 13.</b> Ejes Equivalentes de Carril de Diseño Pavimento Rígido .....                                       | 66 |
| <b>Cuadro 14.</b> Parámetros Iniciales de Diseño .....                                                               | 67 |
| <b>Cuadro 15.</b> Resumen Cálculo de los Espesores de Capa .....                                                     | 68 |
| <b>Cuadro 16.</b> Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis .....                              | 69 |
| <b>Cuadro 17.</b> Repeticiones de carga de diseño y requerido.....                                                   | 69 |
| <b>Cuadro 18.</b> Parámetros Iniciales de Diseño .....                                                               | 70 |
| <b>Cuadro 19.</b> Resumen Cálculo de los Espesores de Capa .....                                                     | 71 |
| <b>Cuadro 20.</b> Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis .....                              | 72 |
| <b>Cuadro 21.</b> Repeticiones de carga de diseño y requerido.....                                                   | 72 |
| <b>Cuadro 22.</b> Parámetros Iniciales de Diseño .....                                                               | 73 |
| <b>Cuadro 23.</b> Resumen Cálculo de los Espesores de Capa .....                                                     | 74 |
| <b>Cuadro 24.</b> Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis .....                              | 75 |
| <b>Cuadro 25.</b> Repeticiones de carga de diseño y requerido.....                                                   | 75 |
| <b>Cuadro 26.</b> Resumen del Diseño de las Alternativas de Pavimento Flexible .....                                 | 76 |
| <b>Cuadro 27.</b> Módulo Resiliente para Capa de Sub-base y Sub-rasante .....                                        | 78 |
| <b>Cuadro 28.</b> Parámetros para la Sub-base Inferior a la Losa de Concreto .....                                   | 78 |
| <b>Cuadro 29.</b> Módulo De Reacción K Sin Variación Estacional Con Sub-base.....                                    | 78 |
| <b>Cuadro 30.</b> Parámetros Iniciales de Diseño.....                                                                | 79 |
| <b>Cuadro 31.</b> Cálculo Del Espesor de La Losa De Concreto .....                                                   | 79 |
| <b>Cuadro 32.</b> Separación Juntas Transversales y Longitudinales .....                                             | 80 |
| <b>Cuadro 33.</b> Parámetros para el Cálculo de Dovelas .....                                                        | 80 |
| <b>Cuadro 34.</b> Cargas, Esfuerzos y Capacidad de las Dovelas.....                                                  | 81 |
| <b>Cuadro 35.</b> Cálculo de Acero de Amarre de la Junta Longitudinal .....                                          | 82 |
| <b>Cuadro 36.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga.....                                                       | 83 |
| <b>Cuadro 37.</b> Esfuerzos de carga.....                                                                            | 83 |
| <b>Cuadro 38.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos.....                                                       | 83 |
| <b>Cuadro 39.</b> Resumen de esfuerzos térmicos.....                                                                 | 84 |
| <b>Cuadro 40.</b> Esfuerzos de fricción .....                                                                        | 84 |
| <b>Cuadro 41.</b> Esfuerzos en la losa de concreto .....                                                             | 84 |
| <b>Cuadro 42.</b> Módulo Resiliente para Capa de Sub-base y Subrasante .....                                         | 85 |
| <b>Cuadro 43.</b> Parámetros para la Sub-base Inferior a la Losa de Concreto .....                                   | 85 |
| <b>Cuadro 44.</b> Módulo de Reacción K Sin Variación Estacional con Sub-base.....                                    | 85 |
| <b>Cuadro 45.</b> Parámetros Iniciales de Diseño.....                                                                | 85 |
| <b>Cuadro 46.</b> Cálculo del Espesor de la Losa de Concreto .....                                                   | 86 |
| <b>Cuadro 47.</b> Separación Juntas Transversales y Longitudinales .....                                             | 87 |
| <b>Cuadro 48.</b> Parámetros para el Cálculo de Dovelas .....                                                        | 87 |
| <b>Cuadro 49.</b> Cargas, Esfuerzos Y Capacidad de Las Dovelas.....                                                  | 88 |
| <b>Cuadro 50.</b> Cálculo de Acero de Amarre de la Junta Longitudinal .....                                          | 88 |
| <b>Cuadro 51.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga.....                                                       | 90 |
| <b>Cuadro 52.</b> Esfuerzos de carga.....                                                                            | 90 |
| <b>Cuadro 53.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos.....                                                       | 90 |
| <b>Cuadro 54.</b> Resumen de esfuerzos térmicos.....                                                                 | 91 |

|                                                                                                                  |     |                                                                                                                 |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Cuadro 55.</b> Esfuerzos de fricción.....                                                                     | 91  | <b>Cuadro 83.</b> Relación Beneficio Costo de las Alternativas de Proyecto (Costos en millones de colones)..... | 121 |
| <b>Cuadro 56.</b> Esfuerzos en la losa de concreto.....                                                          | 91  | <b>Cuadro 84.</b> Cálculo del Coeficiente de Drenaje Cm .....                                                   | 136 |
| <b>Cuadro 57.</b> Módulo Resiliente para Capa de Sub-base y Sub-rasante .....                                    | 92  | <b>Cuadro 85.</b> Ancho de la Calzada Promedio .....                                                            | 136 |
| <b>Cuadro 58.</b> Parámetros para el Lastre Inferior a la Losa de Concreto .....                                 | 92  | <b>Cuadro 86.</b> Propiedades de la capa superior de lastre.....                                                | 136 |
| <b>Cuadro 59.</b> Módulo de Reacción K Sin Variación Estacional .....                                            | 92  | <b>Cuadro 87.</b> Propiedades de la capa inferior de lastre.....                                                | 136 |
| <b>Cuadro 60.</b> Parámetros Iniciales de Diseño .....                                                           | 92  | <b>Cuadro 88.</b> Longitud de Losa Escenario 1 .....                                                            | 138 |
| <b>Cuadro 61.</b> Cálculo del Espesor de la Losa de Concreto .....                                               | 93  | <b>Cuadro 89.</b> Longitud de Losa Escenario 2 .....                                                            | 138 |
| <b>Cuadro 62.</b> Separación Juntas Transversales y Longitudinales .....                                         | 94  | <b>Cuadro 90.</b> Longitud de Losa Escenario 3 .....                                                            | 139 |
| <b>Cuadro 63.</b> Parámetros para el Cálculo de Dovelas .....                                                    | 94  | <b>Cuadro 91.</b> Costos de Mantenimiento en Lastre .....                                                       | 140 |
| <b>Cuadro 64.</b> Cargas, Esfuerzos y Capacidad de Las Dovelas .....                                             | 95  | <b>Cuadro 92.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 1.....                                                   | 140 |
| <b>Cuadro 65.</b> Cálculo de Acero de Amarre de La Junta Longitudinal .....                                      | 95  | <b>Cuadro 93.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 2.....                                                   | 141 |
| <b>Cuadro 66.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga .....                                                  | 97  | <b>Cuadro 94.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 3.....                                                   | 142 |
| <b>Cuadro 67.</b> Esfuerzos de carga .....                                                                       | 97  | <b>Cuadro 95.</b> Losa de Concreto .....                                                                        | 143 |
| <b>Cuadro 68.</b> Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos .....                                                  | 97  | <b>Cuadro 96.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 1.....                                                   | 143 |
| <b>Cuadro 69.</b> Resumen de esfuerzos térmicos .....                                                            | 98  | <b>Cuadro 97.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 2.....                                                   | 144 |
| <b>Cuadro 70.</b> Esfuerzos de fricción.....                                                                     | 98  | <b>Cuadro 98.</b> Costos de Mejoramiento del Escenario 3.....                                                   | 145 |
| <b>Cuadro 71.</b> Esfuerzos en la losa de concreto.....                                                          | 98  | <b>Cuadro 99.</b> Costos de Mantenimiento Rutinario de Pavimento Flexible .....                                 | 146 |
| <b>Cuadro 72.</b> Resumen del Diseño de las Alternativas de Pavimento Rígido .....                               | 99  | <b>Cuadro 100.</b> Costos de Mantenimiento Periódico de Pavimento Flexible .....                                | 146 |
| <b>Cuadro 73.</b> Intensidad de Tráfico Vehicular .....                                                          | 101 | <b>Cuadro 101.</b> Costos de Rehabilitación Vial de Pavimento Flexible .....                                    | 146 |
| <b>Cuadro 74.</b> Variación del Deterioro en los pavimentos flexible y rígido (Valores en términos de PSI) ..... | 107 | <b>Cuadro 102.</b> Costos de Mantenimiento Rutinario de Pavimento Rígido .....                                  | 147 |
| <b>Cuadro 75.</b> Resumen del Calendario de Actuaciones por Escenario.....                                       | 109 | <b>Cuadro 103.</b> Costos de Reparación Losa Espesor Parcial.....                                               | 147 |
| <b>Cuadro 76.</b> Resumen de Costes Económicos Totales Anuales .....                                             | 113 | <b>Cuadro 104.</b> Costos de Reparación de Losa en todo el Espesor .....                                        | 147 |
| <b>Cuadro 77.</b> Resumen del análisis económico Flexible Escenario 1 (en términos de millones de colones) ..... | 118 | <b>Cuadro 105.</b> Costos de Mantenimiento Periódico de Pavimento Rígido .....                                  | 147 |
| <b>Cuadro 78.</b> Resumen del análisis económico Flexible Escenario 2 (en términos de millones de colones) ..... | 119 | <b>Cuadro 106.</b> Insumos de Costos de Pavimento Flexible para Herramienta HDM-4 .....                         | 148 |
| <b>Cuadro 79.</b> Resumen del análisis económico Flexible Escenario 3 (en términos de millones de colones) ..... | 119 | <b>Cuadro 107.</b> Insumos de Costos de Pavimento Rígido para Herramienta HDM-4 .....                           | 148 |
| <b>Cuadro 80.</b> Resumen del análisis económico Rígido Escenario 1 (en términos de millones de colones) .....   | 119 | <b>Cuadro 108.</b> Velocidades de las curvas horizontales .....                                                 | 149 |
| <b>Cuadro 81.</b> Resumen del análisis económico Rígido Escenario 2 (en términos de millones de colones) .....   | 120 | <b>Cuadro 109.</b> Estándar SP1: Mantenimiento en Lastre.....                                                   | 149 |
| <b>Cuadro 82.</b> Resumen del análisis económico Rígido Escenario 3 (en términos de millones de colones) .....   | 120 | <b>Cuadro 110.</b> Estándar FLEX1: Mantenimiento Rutinario de Pavimento Flexible .....                          | 149 |
|                                                                                                                  |     | <b>Cuadro 111.</b> Estándar FLEX2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación .....                     | 150 |
|                                                                                                                  |     | <b>Cuadro 112.</b> Estándar RIG2: Mantenimiento Rutinario de Pavimento Rígido .....                             | 150 |

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Cuadro 113.</b> Estándares de Mejoramiento Lastre-Asfalto .....                                                                                                                  | 151 |
| <b>Cuadro 114.</b> Estándares de Mejoramiento Lastre-Concreto .....                                                                                                                 | 151 |
| <b>Cuadro 115.</b> Estándares de Trabajo asignadas a las Alternativas .....                                                                                                         | 152 |
| <b>Cuadro 116.</b> Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 1.....                                                                                                             | 153 |
| <b>Cuadro 117.</b> Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 2.....                                                                                                             | 154 |
| <b>Cuadro 118.</b> Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 3.....                                                                                                             | 155 |
| <b>Cuadro 119.</b> Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 1.....                                                                                                               | 156 |
| <b>Cuadro 120.</b> Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 2.....                                                                                                               | 157 |
| <b>Cuadro 121.</b> Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 3.....                                                                                                               | 158 |
| <b>Cuadro 122.</b> Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 1 .....                                                                                                     | 160 |
| <b>Cuadro 123.</b> Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 2 .....                                                                                                     | 162 |
| <b>Cuadro 124.</b> Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 3 .....                                                                                                     | 164 |
| <b>Cuadro 125.</b> Calendario de Actuaciones por año Lastre con Mantenimiento .....                                                                                                 | 167 |
| <b>Cuadro 126.</b> Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 1 .....                                                                                                       | 170 |
| <b>Cuadro 127.</b> Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 2 .....                                                                                                       | 173 |
| <b>Cuadro 128.</b> Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 3 .....                                                                                                       | 176 |
| <b>Cuadro 129.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 1 .....                                                                                               | 180 |
| <b>Cuadro 130.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 2 .....                                                                                               | 181 |
| <b>Cuadro 131.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 3 .....                                                                                               | 183 |
| <b>Cuadro 132.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 1 .....                                                                                                 | 184 |
| <b>Cuadro 133.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 2 .....                                                                                                 | 185 |
| <b>Cuadro 134.</b> Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 3 .....                                                                                                 | 187 |
| <b>Cuadro 135.</b> Factor de distribución por dirección .....                                                                                                                       | 209 |
| <b>Cuadro 136.</b> Factor de Distribución por carril.....                                                                                                                           | 209 |
| <b>Cuadro 137.</b> Chart for estimating structural layer coefficient of dense-graded asphalt concrete based on the elastic (resilient) modulus (AASHTO, 1993) .....                 | 209 |
| <b>Cuadro 138.</b> Correlations between structural layer coefficient $a_2$ and various strength and stiffness parameters for unbound granular bases (AASHTO, 1993).....             | 210 |
| <b>Cuadro 139.</b> Correlations between structural layer coefficient $a_2$ and various strength and stiffness parameters for cement-treated granular bases (AASHTO, 1993) .....     | 211 |
| <b>Cuadro 140.</b> Correlations between structural layer coefficient $a_2$ and various strength and stiffness parameters for bituminous-treated granular bases (AASHTO, 1993) ..... | 211 |
| <b>Cuadro 141.</b> Correlations between structural layer coefficient $a_3$ and various strength and stiffness parameters for unbound granular Sub-bases (AASHTO, 1993) .....        | 213 |
| <b>Cuadro 142.</b> Correlations between subgrade resilient modulus and other soil properties (1 psi = 6.9 kPa; from Huang, 1993, after Van Til et al., 1972) .....                  | 214 |
| <b>Cuadro 143.</b> Valores recomendados de coeficiente de drenaje $C_{mi}$ para las capas de base granular y Sub-base granular en Pavimentos Flexibles.....                         | 216 |
| <b>Cuadro 144.</b> Valores de Índice de Servicialidad (PSI) recomendados .....                                                                                                      | 216 |
| <b>Cuadro 145.</b> Niveles de confianza R recomendados.....                                                                                                                         | 216 |
| <b>Cuadro 146.</b> Niveles de Confianza e Índices terminales de servicio.....                                                                                                       | 217 |
| <b>Cuadro 147.</b> Desviación estándar en desempeño ( $S_o$ ).....                                                                                                                  | 217 |
| <b>Cuadro 148.</b> Valores del estadístico $Z_r$ en función del Nivel de Confianza R.....                                                                                           | 217 |
| <b>Cuadro 149.</b> Espesores mínimos sugeridos .....                                                                                                                                | 218 |
| <b>Cuadro 150.</b> Características de los suelos según su clasificación .....                                                                                                       | 219 |
| <b>Cuadro 151.</b> Rangos típicos de factores de pérdida de soporte (LS) para varios tipos de materiales .                                                                          | 220 |
| <b>Cuadro 152.</b> Correction of effective modulus of subgrade reaction for potential loss of Sub-base support (AASHTO, 1993) .....                                                 | 220 |
| <b>Cuadro 153.</b> Valores Promedio del Coeficiente de Drenaje $C_D$ para Pavimentos Rígidos .....                                                                                  | 221 |
| <b>Cuadro 154.</b> Valores de coeficiente de transmisión de carga J.....                                                                                                            | 222 |
| <b>Cuadro 155.</b> Recomendaciones de Diámetro y Largo de Dovela .....                                                                                                              | 222 |
| <b>Cuadro 156.</b> Factores de Fricción $F_a$ recomendados.....                                                                                                                     | 222 |
| <b>Cuadro 157.</b> Esfuerzo de Fluencia y Esfuerzo Permisible $f_s$ .....                                                                                                           | 223 |
| <b>Cuadro 158.</b> Propiedades Estándar de las Varillas Acero de Refuerzo .....                                                                                                     | 223 |
| <b>Cuadro 159.</b> Propiedades del suelo en estudio sin cal .....                                                                                                                   | 224 |
| <b>Cuadro 160.</b> Propiedades del suelo en estabilizado con un 4% de cal .....                                                                                                     | 224 |
| <b>Cuadro 161.</b> Técnicas de Conservación del Derecho de Vía .....                                                                                                                | 225 |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Cuadro 162.</b> Técnicas de Conservación de Estructuras Menores .....                         | 225 |
| <b>Cuadro 163.</b> Técnicas de Conservación de Pavimentos Flexibles.....                         | 226 |
| <b>Cuadro 164.</b> Técnicas de Conservación de Pavimentos Rígidos.....                           | 226 |
| <b>Cuadro 165.</b> Técnicas de Conservación de Vías Lastradas .....                              | 226 |
| <b>Cuadro 166.</b> Técnicas de Conservación de Estructuras Mayores.....                          | 227 |
| <b>Cuadro 167.</b> Técnicas de Conservación de Componentes de Seguridad Vial .....               | 228 |
| <b>Cuadro 168.</b> Extensión en km de los Distritos de El Guarco .....                           | 229 |
| <b>Cuadro 169.</b> Población por distrito (cantidad de habitantes) .....                         | 229 |
| <b>Cuadro 170.</b> Población económicamente activa                                               | 230 |
| <b>Cuadro 171.</b> Población económicamente inactiva .....                                       | 230 |
| <b>Cuadro 172.</b> Empresas y comercio de El Guarco .....                                        | 230 |
| <b>Cuadro 173.</b> Índices de Desarrollo Social de El Guarco .....                               | 231 |
| <b>Cuadro 174.</b> Capacidad de Maquinaria Instalada de la UTGVM .....                           | 232 |
| <b>Cuadro 175.</b> Tipo de Superficie de la Red Vial Cantonal .....                              | 232 |
| <b>Cuadro 176.</b> Estado de la Red Vial Cantonal.....                                           | 232 |
| <b>Cuadro 177.</b> Normas de Calidad y Normas de Intervención para cada clasificación de caminos | 235 |
| <b>Cuadro 178.</b> Promedios climáticos mensuales de Cartago .....                               | 236 |

# Lista de Figuras

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Localización del camino Guayabal-Guatuso. ....                                                  | 8  |
| <b>Figura 2.</b> Distribución de los esfuerzos a través de las capas del pavimento. ....                         | 12 |
| <b>Figura 3.</b> Sección típica de un pavimento flexible. ....                                                   | 13 |
| <b>Figura 4.</b> Sección típica de un pavimento rígido. ....                                                     | 13 |
| <b>Figura 5.</b> Sección de pavimento semi-rígido con base estabilizada con concreto. ....                       | 14 |
| <b>Figura 6.</b> Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto. .... | 16 |
| <b>Figura 7.</b> Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño. ....                                    | 17 |
| <b>Figura 8.</b> Número estructural para cada capa de pavimento. ....                                            | 18 |
| <b>Figura 9.</b> Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacente. ....                  | 19 |
| <b>Figura 10.</b> Prueba in situ del plato de carga. ....                                                        | 19 |
| <b>Figura 11.</b> Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos. ....                       | 20 |
| <b>Figura 12.</b> Tabla de selección del estabilizador de sub-rasante. ....                                      | 22 |
| <b>Figura 13.</b> Agrietamiento tipo piel de cocodrilo. ....                                                     | 23 |
| <b>Figura 14.</b> Agrietamiento en bloque. ....                                                                  | 23 |
| <b>Figura 15.</b> Agrietamiento de borde. ....                                                                   | 24 |
| <b>Figura 16.</b> Agrietamiento longitudinal. ....                                                               | 24 |
| <b>Figura 17.</b> Agrietamiento transversal. ....                                                                | 25 |
| <b>Figura 18.</b> Agrietamiento parabólico. ....                                                                 | 25 |
| <b>Figura 19.</b> Agrietamiento por reflexión. ....                                                              | 26 |
| <b>Figura 20.</b> Bache sobre la carretera. ....                                                                 | 26 |
| <b>Figura 21.</b> Ahuellamiento. ....                                                                            | 26 |
| <b>Figura 22.</b> Exudación. ....                                                                                | 27 |
| <b>Figura 23.</b> Levantamientos. ....                                                                           | 27 |
| <b>Figura 24.</b> Pérdida de áridos. ....                                                                        | 27 |
| <b>Figura 25.</b> Agrietamiento longitudinal de losa. ....                                                       | 28 |
| <b>Figura 26.</b> Agrietamiento transversal de losa. ....                                                        | 28 |
| <b>Figura 27.</b> Agrietamiento en la esquina de la losa. ....                                                   | 28 |
| <b>Figura 28.</b> Escalonamiento entre losas adyacentes. ....                                                    | 29 |
| <b>Figura 29.</b> Levantamiento entre losas adyacentes. ....                                                     | 29 |
| <b>Figura 30.</b> Desintegración superficial y fisuras capilares. ....                                           | 29 |
| <b>Figura 31.</b> Pérdida del sello en las juntas. ....                                                          | 30 |
| <b>Figura 32.</b> Separación de la junta longitudinal. ....                                                      | 30 |
| <b>Figura 33.</b> Surgencia de finos en la superficie del pavimento. ....                                        | 30 |
| <b>Figura 34.</b> Representación gráfica del modelo cuarto de carro. ....                                        | 31 |
| <b>Figura 35.</b> Escala del IRI para diferentes tipos de vías. ....                                             | 31 |
| <b>Figura 36.</b> Sellado de Juntas. ....                                                                        | 36 |
| <b>Figura 37.</b> Reparación de Losas en Espesor Parcial. ....                                                   | 37 |
| <b>Figura 38.</b> Estructura del Modelo HDM-4. ....                                                              | 42 |
| <b>Figura 39.</b> Esquema de ejemplo de la ubicación cartesiana de los puntos. ....                              | 47 |
| <b>Figura 40.</b> Esquema de ejemplo de la ubicación en el eje z de los puntos de estudio. ....                  | 47 |
| <b>Figura 41.</b> Esquema de vista en planta de los Cortes A y B. ....                                           | 50 |
| <b>Figura 42.</b> Esquema Corte A. ....                                                                          | 50 |
| <b>Figura 43.</b> Esquema de Corte B. ....                                                                       | 50 |
| <b>Figura 44.</b> Gráfica para obtener el factor de correlación de esfuerzos C. ....                             | 52 |
| <b>Figura 45.</b> Configuración de la herramienta HDM-4. ....                                                    | 54 |
| <b>Figura 46.</b> Zona Climática de Clima Cartaginés. ....                                                       | 54 |
| <b>Figura 47.</b> Características geométricas de la vía. ....                                                    | 54 |
| <b>Figura 48.</b> Creación de perfil de elevación. ....                                                          | 55 |
| <b>Figura 49.</b> Perfil de elevación de la ruta Guayabal-Guatuso. ....                                          | 56 |
| <b>Figura 50.</b> Propiedades geométricas horizontales de las curvas. ....                                       | 56 |
| <b>Figura 51.</b> Estándares de conservación y de mejora. ....                                                   | 56 |
| <b>Figura 52.</b> Definición de detalle de Proyecto. ....                                                        | 58 |
| <b>Figura 53.</b> Especificado de Alternativas. ....                                                             | 58 |
| <b>Figura 54.</b> Análisis de Proyectos. ....                                                                    | 59 |
| <b>Figura 55.</b> Generación de Informes de Resultados. ....                                                     | 60 |
| <b>Figura 56.</b> Configuración de las capas del pavimento flexible. ....                                        | 68 |
| <b>Figura 57.</b> Configuración de las capas del pavimento flexible. ....                                        | 71 |
| <b>Figura 58.</b> Configuración de las capas del pavimento flexible. ....                                        | 74 |
| <b>Figura 59.</b> Configuración de las capas del pavimento rígido. ....                                          | 80 |
| <b>Figura 60.</b> Configuración de las dimensiones de losa y dovelas. ....                                       | 82 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 61.</b> Configuración de las capas del pavimento rígido. ....                     | 86  |
| <b>Figura 62.</b> Configuración de las dimensiones de losa y dovelas. ....                  | 89  |
| <b>Figura 63.</b> Configuración de las capas del pavimento rígido. ....                     | 93  |
| <b>Figura 64.</b> Configuración de las dimensiones de losa y dovelas. ....                  | 96  |
| <b>Figura 65.</b> Intensidad Media Diaria por Escenarios .....                              | 100 |
| <b>Figura 66.</b> Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 1.....                 | 102 |
| <b>Figura 67.</b> Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 2.....                 | 102 |
| <b>Figura 68.</b> Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 3.....                 | 103 |
| <b>Figura 69.</b> Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 1.....                   | 103 |
| <b>Figura 70.</b> Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 2.....                   | 104 |
| <b>Figura 71.</b> Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 3.....                   | 104 |
| <b>Figura 72.</b> Gráfico de Variación del IRI de todos los escenarios .....                | 105 |
| <b>Figura 73.</b> Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 1 .....       | 105 |
| <b>Figura 74.</b> Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 2 .....       | 106 |
| <b>Figura 75.</b> Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 3 .....       | 106 |
| <b>Figura 76.</b> Curvas de deterioro anual en términos de PSI .....                        | 108 |
| <b>Figura 77.</b> Gráfico de Costo de Inversión Total de Intervención por año. ....         | 115 |
| <b>Figura 78.</b> Gráfico de Inversiones en Mejoramiento para todas las Alternativas. ....  | 116 |
| <b>Figura 79.</b> Gráfico de Costo de Inversión Total por Alternativa.....                  | 116 |
| <b>Figura 80.</b> Gráfico de Costo de Inversión en Mejoramiento y Conservación. ....        | 117 |
| <b>Figura 81.</b> Gráfico de Valor Actual Neto (VAN). ..                                    | 122 |
| <b>Figura 82.</b> Gráfico de Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).....                        | 122 |
| <b>Figura 83.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 137 del Anexo 3.....                  | 132 |
| <b>Figura 84.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 138 del Anexo 3.....                  | 132 |
| <b>Figura 85.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 139 del Anexo 3.....                  | 133 |
| <b>Figura 86.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 139 del Anexo 3.....                  | 133 |
| <b>Figura 87.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 140 del Anexo 3.....                  | 134 |
| <b>Figura 88.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 140 del Anexo 3.....                  | 134 |
| <b>Figura 89.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 141 del Anexo 3. ....                 | 135 |
| <b>Figura 90.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 142 del Anexo 3. ....                 | 135 |
| <b>Figura 91.</b> Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 151 del Anexo 3 .....                 | 137 |
| <b>Figura 92.</b> Distritos del cantón de El Guarco. ....                                   | 229 |
| <b>Figura 93.</b> Población por sexo.....                                                   | 229 |
| <b>Figura 94.</b> Porcentaje de población por grupos de edad.....                           | 229 |
| <b>Figura 95.</b> Nivel de Instrucción del Cantón de El Guarco.....                         | 229 |
| <b>Figura 96.</b> Organigrama de la UTGVM. ....                                             | 231 |
| <b>Figura 97.</b> Extensión de la Red Vial Cantonal. ..                                     | 232 |
| <b>Figura 98.</b> Flota Vehicular por distrito. ....                                        | 232 |
| <b>Figura 99.</b> Categorización de los caminos del Cantón de El Guarco.....                | 233 |
| <b>Figura 100.</b> Diagrama de criterio de intervención de los proyectos de El Guarco. .... | 234 |

# Prefacio

El proyecto del camino Guayabal-Guatuso de la Red Cantonal de El Guarco consiste en la pavimentación (mejoramiento) de un camino por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) actualmente con superficie de lastre.

De acuerdo con UTGVM (2016), la ruta 3-08-153 es un camino localizado en el distrito de San Isidro, clasificado como Ruta Tipo A, es decir, es una ruta de alta importancia para el Cantón de El Guarco, ya que, es una vía limítrofe cantonal, adicionalmente este camino es una ruta alterna de comunicación entre la Ruta 2 y Tejar de El Guarco.

Esta vía conecta a la comunidad de Guatuso con la comunidad de Guayabal; además, esta ruta es de gran importancia para el transporte de los pobladores de ambas comunidades. Según UTGVM (2016), el distrito de San Isidro presenta características tanto urbanas como rurales; dichos pobladores se dedican a la agricultura, floricultura y el cultivo de helechos, además del desarrollo del sector servicios; en esta fuente se menciona que las vías del cantón de El Guarco se utilizan para el desplazamiento de trabajadores a zonas fuera del cantón.

Algunas instituciones o pequeñas empresas beneficiadas con el mejoramiento del camino de lastre son la Estación Guatuso Terrena del ICE, el Tajo El Guayabal, Vegetales Fresquita S.A., Cabinas Lomas de San Francisco, Cabinas Guatuso del El Guarco, Escuela El Guayabal, Escuela de Guatuso, Sala de Eventos Terracota, etc.

Este proyecto brindará a la comunidad de El Guarco la posibilidad de una mejora y aumento de la calidad en la infraestructura vial de la zona.

Mediante este proyecto se pretende evaluar dos posibilidades de pavimento, con tres alternativas para cada una, ya que el MOPT está interesado en análisis comparativos previos entre diferentes alternativas de pavimentos. Además, es importante mencionar que a pesar de que la Municipalidad del El Guarco ha establecido el Plan de Conservación Vial y Desarrollo del cantón de El

Guarco, la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad no cuenta con una herramienta de gestión y evaluación de proyectos viales; por lo tanto, este proyecto puede ser el punto de partida para la implementación, en dicha municipalidad, de un software de gestión vial, como lo es el programa HDM-4, el cual es utilizado en este proyecto.

# Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto de graduación y por llenarme de tanta fortaleza y sabiduría, por acompañarme en los momentos difíciles y alegres, por ser la cimentación de mis preceptos y mis valores como persona.

Este proyecto es dedicado a mi Dios, a mi Virgencita de los Ángeles, a mi madre, Yaneth Acuña Zúñiga, que me ha dado su apoyo incondicional a lo largo de esta travesía y es un ejemplo de lucha para mí, a mi hermana Hellen Hurtado Acuña, por ser una gran amiga, a mi tía, María Eugenia Hurtado Hurtado, por ser como una segunda madre para mí, a mi abuela, María Agustina Hurtado Hurtado por sus grandiosas historias de vida, y en especial dedicatoria a mi padre Sebastián Hurtado Hurtado, quién Dios lo tiene en su Santa Gloria, gracias por ser un ejemplo para mí como persona, le estoy eternamente agradecido.

Agradezco también a mis amigos que han alegrado grandemente mis momentos a lo largo de mi carrera.

Agradezco a mi profesor guía el Ing. Pedro Castro Fernández PhD, quién ha sido una gran orientación a lo largo de este proyecto, gracias por su amabilidad y disposición.

Le agradezco también al MOPT y sobre todo al Laboratorio de Materiales, por la oportunidad de desarrollar mi práctica profesional en esta gran institución.

Al Ing. Hugo Chávez Gutiérrez por sus valiosos aportes en el tema de diseño de pavimentos.

A la Ing. Silvia Vásquez Álvarez quien me colaboró en cuanto al manejo de la herramienta HDM-4, gracias por su amabilidad.

Al Ing. Mariano Avilés Cisneros de la Municipalidad del El Guarco por sus aportes.

Al Ing. Daniel Gutiérrez S. del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), por sus consejos y sus aportes en tema de costos.

Finalmente agradezco al Instituto Tecnológico de Costa Rica, por ser mi segunda

casa, por desarrollar y amoldar mis conocimientos como profesional, y por brindarme la oportunidad de estudiar en esta Institución que es una Universidad de prestigio. Agradezco a la Escuela de Ingeniería en Construcción y a todos los profesores por compartirme tantos conocimientos valiosos.

# Resumen ejecutivo

El proyecto consistió en el estudio de varias alternativas de pavimento, tanto flexible como rígido, con la finalidad de comparar ambos tipos de pavimentos, además de obtener la alternativa de diseño estructural de mayor rentabilidad para el camino en lastre Guayabal-Guatuso; el cual, se encuentra en la Red Vial Cantonal, correspondiendo a la Ruta 3-08-153 del cantón de El Guarco, en el límite cantonal y distrital entre el distrito de San Isidro del cantón de El Guarco y el distrito de Aguacaliente del cantón de Cartago; por lo tanto, esta ruta es clasificada, de acuerdo con la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de El Guarco, como una vía de importancia A. Para lograr este objetivo es necesario abarcar dos importantes áreas: diseño de pavimentos y la gestión vial de pavimentos.

Se pretendió evaluar 3 alternativas de pavimento flexible y 3 alternativas de pavimento rígido; ya que, de acuerdo con los informes de laboratorio, el CBR de la sub-rasante fue de 1% y el tipo de suelo fue una arcilla de baja plasticidad. La primera alternativa o Escenario 1 radicó en la colocación de la estructura de pavimento sobre la sub-rasante sin ningún tipo de estabilización; esto implica la capa de la estructura de lastre existente. La segunda alternativa o Escenario 2 consistió en la colocación de la estructura de pavimento sobre la sub-rasante previa a la estabilización con cal, esta opción también conlleva la eliminación de la capa de lastre existente. Mientras que la alternativa o Escenario 3 implica la conservación del lastre existente, con la finalidad de colocar el pavimento sobre dicha capa; esto con el fin de aprovechar las propiedades de este material como una capa adicional al pavimento.

Es importante aclarar la definición de pavimento de forma generalizada; en el caso de los flexibles, está compuesto, de la capa superior a la inferior, en el siguiente orden: carpeta asfáltica, base granular o estabilizada y sub-base granular; con respecto a los rígidos están compuestos por una losa de concreto y una sub-base granular. Por lo general, el pavimento se

coloca sobre una sub-rasante compactada o estabilizada.

Primeramente, se realizó la medición del tránsito de la zona, de forma manual; con la finalidad de encontrar el Tránsito Promedio Diario (TPD), llamado IMD, y los Ejes Equivalentes de Diseño. Mediante el conteo de los vehículos tipo liviano, carga liviana, C2, C3 y tractor; dicho conteo se elaboró durante 3 días de la semana, de 7 a.m. hasta las 5 p.m.; mediante el coeficiente expansión vehicular de 1,71; que se obtiene del período horario en el que se realizó el conteo; dicho coeficiente permite que se aumentan estas mediciones para obtener la cantidad vehicular durante las 24 horas. Se obtuvo un TPD de 171, mientras que los Ejes Equivalentes de Diseño para pavimento flexible, con período de diseño de 15 años, son 181 825 EEq; en el caso de pavimento rígido, a un período de diseño de 20 años, son 276 765 EEq. Se aplicó un mayor período de diseño al pavimento rígido por cuanto espesores de losa muy pequeños de losa fallan prematuramente por fatiga.

Al obtener las cargas vehiculares se procedió a diseñar las alternativas de pavimento mediante la metodología de diseño AASHTO 1993; esto con la finalidad de obtener las características geométricas y mecánicas del pavimento como lo son: espesor de capas; módulo resiliente, CBR, coeficientes y números estructurales, coeficientes de drenaje, dimensiones de losa, módulo de reacción k, módulo de ruptura de la losa; finalmente en esencia, los productos finales de AASHTO 1993 son los espesores de capa.

En todos los escenarios se considera un CBR de base de 80% y un CBR de sub-base de 30%, en concordancia con la norma CR-2010.

En el Escenario 1 de pavimento flexible se consideró un CBR de sub-rasante de 1%. Se obtuvo una carpeta de 10cm, una base granular de 30cm y una sub-base de 40cm.

En el Escenario 2 de pavimento flexible se encontró que el mejor estabilizador para el tipo de

suelo de la sub-rasante es la cal. Se consideró un CBR de sub-rasante de 14%; ya que este valor es el adecuado estabilizando con un 4% de cal. Se obtuvo una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 25cm, y una sub-base granular de 30cm de espesor.

En el Escenario 3 de pavimento flexible se consideró que el lastre puede ser dividido en dos capas diferenciadas, una capa superior con 20% de CBR de un espesor promedio de 25cm, y una capa inferior con CBR de 10%, de un espesor promedio de 35cm; además de considerar la sub-rasante con CBR de 1%. A partir de lo anterior, mediante el diseño se obtuvo una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 25cm y una sub-base granular de 30cm de espesor.

Considerando que en los pavimentos flexibles se producen dos tipos de fallas, una por fatiga de la carpeta asfáltica y la otra por deformación plástica de la sub-rasante, los pavimentos flexibles fueron verificados por criterios mecanicistas, por medio de la herramienta 3D-Move-Analysis, encontrándose que en los tres escenarios el tipo de falla que rige es la falla por fatiga en la carpeta asfáltica; las deformaciones fueron convertidas a Ejes Equivalentes que producen la falla; dichos EEq debían ser mayores a los Ejes Equivalentes de diseño; lo cual se cumplió para los tres pavimentos flexibles.

En el Escenario 1 de pavimento rígido se tomó en cuenta un CBR de sub-rasante de 1%, se obtuvo un espesor de losa de 24cm. En el escenario 2 se consideró un CBR de sub-rasante de 14% y se obtuvo un espesor de losa de 22cm. En el escenario 3 se supuso que el CBR del lastre fue de 10%, con un espesor semi-infinito, esto con el fin de agilizar los cálculos; encontrándose que el espesor de losa es de 22cm.

En los tres escenarios de rígido se consideró un ancho de losa de 3,00m y un largo de losa de 3,80m. Las dovelas de junta transversal están compuestas por acero de 5/8 pulgadas de diámetro, con 30cm de largo, a cada 30cm para los tres escenarios. El acero de amarre de junta longitudinal está compuesto por varilla #3 con 40cm de largo, con una separación entre varillas de 50cm para el Escenario 1 y 55cm para el Escenario 2 y 3.

Posteriormente mediante la herramienta HDM-4 se planifican las intervenciones que son necesarias en ejecución de los escenarios, aplicadas en un período de análisis de 30 años.

En todos los escenarios se aplicó la intervención de mejoramiento en el año 2017, de acuerdo con los diseños obtenidos para cada tipo de alternativa; también se aplicó el mantenimiento rutinario a todos los escenarios, mientras que el mantenimiento periódico y rehabilitación de los pavimentos flexibles fue conformado por las tareas de bacheo, y sobre-capa de 25mm; el mantenimiento periódico que fue establecido para el análisis estaba compuesto por las tareas de sellado de juntas y conformación de cunetas y la rehabilitación estaba compuesta por reparación de la losa en espesor parcial y en espesor total.

Para los Escenarios 1 y 2 de pavimento flexible se requirió de bacheo en los años 2032, 2045 y 2046, y se requirió la colocación de sobre-capa en el año 2033.

Mientras que en el Escenario 3 de pavimento flexible se requirió de bacheo en los años 2033 y 2046 y una sobre-capa en el año 2034.

En lo respectivo a los escenarios de pavimento rígido, estos no requieren de rehabilitación; esto se debe en parte a la alta resistencia al deterioro de estos pavimentos y al bajo tránsito vehicular. Por lo tanto, en los pavimentos rígidos solamente se aplican tareas de mantenimiento rutinario cada año y mantenimiento periódico cada 2 años.

Luego se obtuviera los modelos de deterioro de las alternativas de pavimento; esto se logra mediante la herramienta HDM-4; se encontró que los pavimentos flexibles tienen una tasa de deterioro mayor a los pavimentos rígidos. Se encontró también en lo que respecta a los pavimentos flexibles, que el Escenario 3 presenta una menor tasa de deterioro que sus homólogos, además de poseer un IRI, al finalizar el período de análisis, menor que todas las alternativas de pavimento.

Posteriormente se definió un modelo de costos de vida a mediano y largo plazo de las alternativas de pavimento; lo anterior, se logró mediante la herramienta HDM-4, aplicando una tasa de descuento del 12%, considerando una alternativa base que considera el camino en estado de lastre sin ningún mejoramiento durante el período de análisis, únicamente con mantenimiento rutinario.

Los costos obtenidos totales sin descontar invertidos en conservación y mejoramiento fueron los siguientes: lastre con mantenimiento rutinario con un costo de ₡173 620 461; Flexible Escenario

1, con un costo de ₡440 009 917; Flexible Escenario 2, con un costo de ₡501 212 194; Flexible Escenario 3, con un costo de ₡343 834 585; Rígido Escenario 1 con un costo de ₡695 214 116; Rígido Escenario 2 con un costo de ₡741 134 936; Rígido Escenario 3, con un costo de ₡584 804 350.

Por lo tanto, los pavimentos rígidos, a pesar de no presentar tareas de mantenimiento periódico, son los pavimentos que necesitan mayor inversión de capital en comparación con los flexibles.

De las alternativas de pavimento rígido, el escenario que requiere menor inversión de capital es la alternativa 3; lo mismo aplica para la alternativa 3 de los pavimentos flexibles, ya que es la alternativa más económica entre sus homólogos.

Finalmente se obtienen los indicadores económicos de Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para todas las alternativas, con el fin de evaluar la rentabilidad de éstas. Los escenarios 1, 2 y 3 de pavimento rígido y los escenarios 1 y 2 de pavimento flexible presentaron valores de VAN negativos; por lo tanto, estas alternativas no son rentables.

El escenario 3 de pavimento flexible presentó un VAN positivo de 45 millones de colones, y una TIR de 14%; ya que, el VAN es mayor a cero y la TIR es mayor a la tasa de descuento, esto la define como rentable.

Por lo tanto, colocar la estructura de pavimento sobre la estructura de lastre existente es la alternativa óptima para el mejoramiento del camino Guayaba-Guatuso.

# Introducción

Debido a las características geológicas de los suelos costarricenses, los cuales en su mayoría están compuestos por materiales arcillosos de alta plasticidad, dichos suelos, por lo general, no son adecuados para ser utilizados como sub-rasantes de pavimentos sin tratamiento; por lo cual es de gran importancia considerar diferentes alternativas de mejoramiento y estabilización de sub-rasantes. Desdichadamente en Costa Rica no se ha explotado mucho las diferentes opciones utilizadas en otros países, en cuanto al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de sub-rasante.

En Costa Rica, cuando se desea construir una carretera y se encuentra una sub-rasante del tipo arcillosa de alta plasticidad, generalmente se recurre a la sustitución de sub-rasante; esto provoca que los costos de acarreo de materiales aumenten, encareciendo económicamente los proyectos de carreteras. El cemento, debido a sus características, tiene dificultades para mezclarse con los suelos arcillosos de alta plasticidad y suele requerirse en cantidades anti-económicas. En el caso de la cal, no se utiliza mucho en el país; ya que, los proveedores de cal no proporcionan un material de la calidad requerida para la estabilización de sub-rasantes, representa, sin embargo, una alternativa de menor costo para estabilizar sub-rasantes arcillosos.

Por lo tanto, mediante este proyecto se pretende evaluar 3 diferentes alternativas ingenieriles para cada tipo de pavimento (flexible y rígido), todo esto con la finalidad de encontrar cual opción es la más rentable económicamente.

Aunque el diseño de pavimento ha evolucionado gradualmente de un arte a una ciencia, el empirismo continúa jugando un rol importante aún en el presente. Anteriormente, en los años 20 el espesor de pavimento estaba basado en la experiencia. El mismo espesor fue usado para cualquier sección de carretera, a pesar de que los tipos de suelo, eran diferentes. Se fue ganando experiencia a través de los años y varios métodos fueron desarrollados por diferentes

agencias para determinar el espesor requerido de un pavimento. (Huang, 2004)

Como menciona FHWA (2006), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures es una de las guías más utilizadas para el diseño de pavimentos. Todas las versiones de esta guía (1972, 1986, 1993) están basadas en métodos empíricos obtenidos a partir de la AASHTO Road Test 1958-1986.

La guía de 1993, la cual es la base de diseño de este proyecto, es una de las primeras guías en diferenciar entre el diseño de pavimento nuevo y pavimento a rehabilitarse. Los otros parámetros geotécnicos y de diseño son los mismos desarrollados por la guía de 1986.

Utilizando la guía AASHTO de 1993 se diseñan los pavimentos flexibles y rígidos, para el camino 3-08-15 Guayabal-Guatuso; ubicado en el cantón de El Guarco, provincia de Cartago; es importante mencionar que dicha ruta se localiza en una sección del límite cantonal entre El Guarco y el cantón de Cartago. En la *Figura 1*, se muestra la ubicación del camino Guayabal-Guatuso.

Una vez obtenida la estructuración de las capas del pavimento, es necesario conocer el comportamiento del pavimento durante su vida útil; por lo tanto, se debe planificar el tipo de intervención que sufrirá el pavimento, para mantener la calidad funcional y estructural del mismo. Dicha intervención consistirá en el mejoramiento inicial, el mantenimiento rutinario y la rehabilitación; esta planificación se encuentra regida por el campo de la Ingeniería llamada Gestión de Pavimentos.

Con lo anterior es posible determinar un modelo de costos que se requerirán, tanto para la construcción del pavimento nuevo, como para las intervenciones en el pavimento a lo largo del período de análisis.

La gestión de los pavimentos se realiza mediante la herramienta HDM-4; con ésta se pretende realizar un análisis comparativo entre diferentes alternativas de pavimento; ya que, es de gran importancia en los proyectos viales comparar

diferentes alternativas de estructura de pavimento con el objetivo de obtener o encontrar la opción más acertada desde el punto de vista técnico, económico, y social.

El proyecto se divide en dos áreas específicamente: diseño de pavimentos, y gestión vial del pavimento a mediano y largo plazo.

## Objetivos

### Objetivo General

- Comparar el pavimento flexible con el pavimento rígido desde un punto de vista funcional, económico, y de durabilidad; mediante el diseño de la estructura de pavimento y de un modelo de costos y desempeño, con la finalidad de obtener cuál es el pavimento óptimo para el camino de la Red Cantonal de El Guarco.

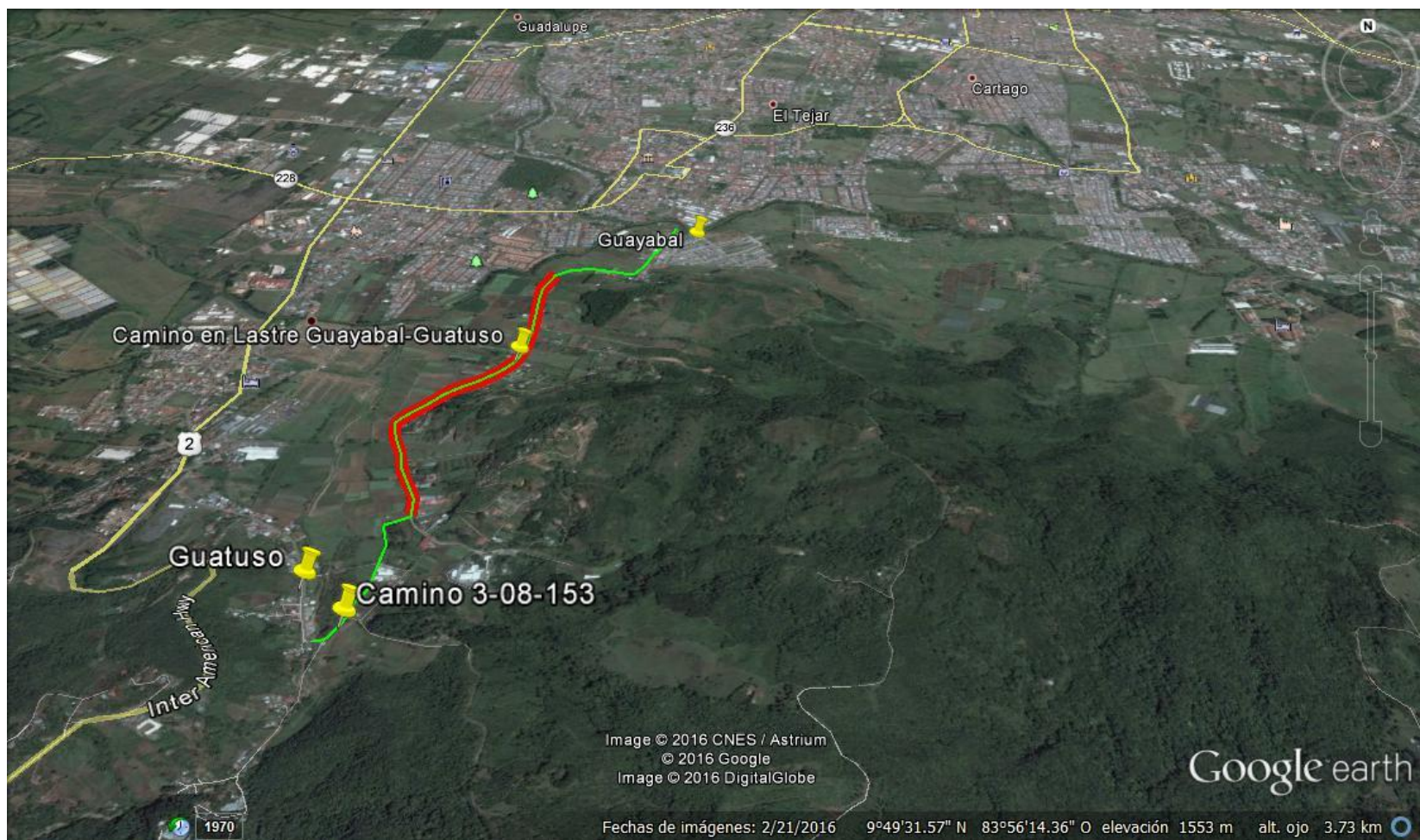
### Objetivos Específicos

- Estimar cargas vehiculares del camino de lastre de la ruta 3-08-153 de la red cantonal de El Guarco, mediante la medición del Tránsito Promedio Diario (TPD), así como mediante la obtención la cantidad de Ejes Equivalentes tanto para pavimento flexible como para pavimento rígido.
- Desarrollar tres diseños de pavimentos flexibles y otros de pavimentos rígidos del camino de la red cantonal de El Guarco, de acuerdo con la metodología AASHTO 1993, estableciendo espesores de capa, así como las dimensiones geométricas de losa.
- Verificar los diseños de pavimentos por criterios mecanicistas; en el caso de pavimento flexible, mediante la herramienta 3D-Move Analysis; y para el pavimento rígido, mediante ecuaciones de esfuerzos térmicos, de fricción y de carga.
- Crear un modelo del desempeño del pavimento flexible y del rígido, mediante la herramienta de gestión de pavimentos HDM-4; y determinar la proyección del deterioro a futuro de los pavimentos.
- Planificar, mediante la herramienta HDM-4, las medidas de intervención o conservación vial para la vía después de su construcción.

- Elaborar un modelo de costos del ciclo de vida a mediano y largo plazo de los pavimentos flexibles y rígidos por medio de la herramienta HDM-4.
- Establecer, mediante los indicadores económicos, ya sea VAN o TIR, cuál de los dos tipos de pavimentos (flexible o rígido) es la alternativa que genera mayor rentabilidad para su futura construcción en el camino de lastre de El Guarco.

### Limitaciones

- El laboratorio de materiales no elaboró pruebas de CBR, densidad máxima ni humedad óptima para el material de lastre encontrado en los muestreos.
- No se realizaron las pruebas de laboratorio respectivas a la estabilización de la subrasante con cal.
- Ante la imposibilidad de utilizar contadores vehiculares las 24 horas del día se recurrió al conteo visual del tránsito durante un intervalo de tiempo diario que abarcó la mayor cantidad de vehículos por día posible.



**Figura 1.** Localización del camino Guayabal-Guatuso.  
**Fuente:** Google Earth, 2016

# Marco Teórico

## Carretera

Una carretera es un conjunto de obras de infraestructura que permiten unir físicamente dos o más localidades entre sí, con el fin de promover la movilidad definiendo así lo que se conoce como tránsito vehicular. Una carretera está compuesta por una estructura de pavimento, sistemas de drenaje, señalización vertical y horizontal, puentes, pasos a desnivel, túneles, rotondas, entre otros.

Pero la finalidad de una carretera va mucho más allá que unir dos puntos; ya que, permite a la sociedad ser un agente de avance y progreso. En términos generales, la infraestructura vial tiene una gran influencia e impacto en el desarrollo urbano, económico y social de una comunidad, región o país

Como menciona MOPT/GTZ (1998), en el mundo, el transporte terrestre de bienes y personas por carreteras constituye un componente fundamental para el bienestar y desarrollo de la sociedad. Los caminos nos permiten tener acceso a los campos de explotación agrícola, agropecuaria, a los centros de producción y a los sitios de recreo. También facilitan la comunicación necesaria para la vida cotidiana, y nos permite movilizarnos a los centros de población y puntos de transferencia, tales como puertos marítimos y aeropuertos.

## Red Vial de C.R.

De acuerdo con la Ley General de Caminos Públicos, N° 5020 establece que los caminos públicos de Costa Rica se clasifican principalmente de dos formas: la Red Vial Nacional, y la Red Vial Cantonal. En el *Cuadro 1* se muestra la cantidad de kilómetros que conforman la Red Vial Nacional y Cantonal.

## Red Vial Nacional

Dicha Ley menciona que la Red Vial Nacional corresponde a la administración por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (M.O.P.T.); además la Red Vial Nacional a su vez se subdivide en carreteras primarias, secundarias y terciarias.

## Carreteras Primarias

Consiste en rutas troncales, para servir de corredores, caracterizados por volúmenes de tránsito relativamente altos y con una alta proporción de vías internacionales, interprovinciales o de larga distancia, de acuerdo con Dirección General de Educación Vial (2015), dichas vías poseen una numeración del 1 al 99, con el fin de identificarlas.

## Carreteras Secundarias

Son rutas que conectan cabeceras de cantonales importantes no servidas por carreteras primarias, así como otros centros de población, producción o turismo, que generan una cantidad considerable de viajes interregionales o inter-cantonales, estas vías son identificadas mediante la numeración que va del 100 al 299.

## Carreteras Terciarias

Las rutas terciarias consisten en rutas que sirven de colectoras del tránsito para las carreteras primarias y secundarias, y que constituyen las vías principales para los viajes dentro de una región, o entre distritos importantes. Dichas carreteras son identificadas con la numeración que va desde 300 en adelante.

## Red Vial Cantonal

Como afirma la Ley General de Caminos Públicos la Red Vial Cantonal corresponde su administración a las municipalidades de acuerdo a su correspondiente jurisdicción. Estará constituida por los siguientes caminos públicos, no incluidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes dentro de la Red Vial Nacional: caminos vecinales, calles locales, y caminos no clasificados.

### Caminos vecinales

Son caminos públicos que suministran acceso a fincas y a otras actividades económicas rurales; además, unen caseríos y poblados con la Red Vial Nacional, y se caracterizan por tener bajos volúmenes de tránsito y a altas proporciones de viajes locales de corta distancia.

### Caminos locales

Son vías públicas incluidas dentro del cuadrante de un área urbana, no clasificadas como travesías urbanas de la Red Vial Nacional.

### Caminos no clasificados

Son caminos públicos no clasificados dentro de las categorías descritas anteriormente, tales como caminos de herradura, sendas, veredas, que proporcionan acceso a muy pocos usuarios, quienes sufragarán los costos de mantenimiento y mejoramiento.

En el *Cuadro 1*, se muestra la cantidad de obra vial en términos de kilómetros, de acuerdo al tipo y condición de la superficie de rodadura, en el rango, del año 2005 al año 2011.

| <b>Cuadro 1. Longitud en kilómetros de carreteras y caminos según clase y tipo de superficie de rodamiento</b> |               |               |               |               |               |               |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Clase y tipo de superficie</b>                                                                              | <b>2005</b>   | <b>2006</b>   | <b>2007</b>   | <b>2008</b>   | <b>2009</b>   | <b>2010</b>   | <b>2011</b>   |
| <b>Costa Rica</b>                                                                                              | <b>36 000</b> | <b>36 608</b> | <b>39 042</b> | <b>39 043</b> | <b>38 919</b> | <b>39 039</b> | <b>42 430</b> |
| Total Pavimentada                                                                                              | 9 150         | 9 359         | 10 074        | 10 058        | 10 038        | 10 132        | 11 021        |
| Total Lastre y tierra                                                                                          | 26 849        | 27 249        | 28 969        | 28 985        | 28 882        | 28 907        | 31 409        |
| <b>Red Vial Nacional</b>                                                                                       | <b>7 506</b>  | <b>7 594</b>  | <b>7 636</b>  | <b>7 637</b>  | <b>7 513</b>  | <b>7 633</b>  | <b>7 906</b>  |
| Pavimentada                                                                                                    | 4 716         | 4 905         | 4 961         | 4 945         | 4 925         | 5 019         | 5 180         |
| Lastre y tierra                                                                                                | 2 790         | 2 690         | 2 675         | 2 692         | 2 588         | 2 614         | 2 725         |
| <b>Red Vial Cantonal</b>                                                                                       | <b>28 493</b> | <b>29 014</b> | <b>31 406</b> | <b>31 406</b> | <b>31 406</b> | <b>31 406</b> | <b>34 524</b> |
| Pavimentada                                                                                                    | 4 435         | 4 454         | 5 113         | 5 113         | 5 113         | 5 113         | 5 841         |
| Lastre y tierra                                                                                                | 24 059        | 24 560        | 26 293        | 26 293        | 26 293        | 26 293        | 28 683        |

Fuente: INEC, 2013.

# Pavimento

Un pavimento es una estructura-cimiento colocada sobre la superficie de un suelo o terreno natural (sub-rasante). El principal objetivo del pavimento es de ser un medio de transferencia de esfuerzos y cargas de tránsito y del ambiente, a la sub-rasante de manera de que ésta no supere su capacidad soportante durante un período de diseño establecido.

Las funciones de un pavimento son las siguientes:

1. Poseer el suficiente espesor y capacidad estructural para soportar las cargas debidas al tráfico.
2. Prevenir el acceso o la acumulación interna de humedad.
3. Proporcionar una superficie de ruedo que sea resistente a agentes ambientales como: deterioro, desgaste, abrasión, humedad, erosión, etc.
4. Proveer una superficie de ruedo que sea durable, económica, cómoda, segura y confortable.

## Capas de pavimento

La estructura de pavimento es una combinación de diferentes capas como lo son la carpeta asfáltica, carpeta de concreto, base granular, base estabilizada, sub-base granular.

Cada capa recibe los esfuerzos de la capa superior y los distribuye a la capa inferior, las capas están colocadas de manera que distribuyan de manera eficiente toda la carga vehicular.

Por lo general, las capas superiores poseen mayor capacidad estructural que las capas inferiores, esto se debe a que las capas superiores soportan mayores esfuerzos y las capas inferiores reciben esfuerzos menores debido a la distribución de esfuerzos de las capas superiores

## Sub-rasante

La sub-rasante es el suelo natural in situ sobre el cual será colocada la estructura de pavimento. Ésta debe estar libre de material orgánico y vegetación. La principal función de la sub-rasante es de proveer un emplazamiento para la

construcción del pavimento, además de soportarlo sin llegar excesivas deformaciones.

A pesar de que la sub-rasante no se considera parte del pavimento, la resistencia que posee es importante para soportarlo, por lo tanto, cuando el suelo de la sub-rasante tiene una capacidad muy baja, es de alta plasticidad o susceptible a cambios volumétricos; se debe mejorar las características mecánicas de la sub-rasante mediante algún método de estabilización o sustituyéndolo por otro material de mejores condiciones.

## Sub-base

La sub-base es la capa que se coloca sobre la sub-rasante y que se encuentra inferior a la base. Está compuesta por material granular y es de menor calidad granulométrica que la base. En algunos pavimentos rígidos no es necesaria una sub-base dentro de la estructura.

Además, proveer de capacidad estructural al pavimento, la sub-base tiene funciones secundarias como controlar los cambios volumétricos y de elasticidad, evitar que el material fino de la sub-rasante viaje hasta la base; proporcionar un medio drenante del agua libre, evitando que ésta, deteriore el pavimento.

Según CR-2010 en su sección 301.03 el CBR mínimo que debe tener el material de sub-base debe ser de 30%.

## Base

La base es la capa de pavimento que se encuentra entre la sub-base y la carpeta de ruedo. La base aporta una cantidad importante de la capacidad de estructural del pavimento y posee las mismas funciones secundarias que la sub-base.

La base está compuesta por material granular, caracterizada por agregados duros y durables como escoria triturada, roca triturada, grava y arena triturada.

Adicionalmente cuando la capacidad de una base granular se queda corta o si el diseño arroja resultados con espesores de base o carpeta muy elevados se puede llegar a requerir la estabilización de la base utilizando asfalto, cemento, cal, emulsiones, aditivos, o combinaciones de éstos. Por lo tanto, por medio

de la estabilización de la base, se puede llegar a disminuir los espesores de base y/o carpeta de rudo.

Las especificaciones para las bases son aún más rigurosas; ya que, según CR-2010 en su sección 301.03 el CBR mínimo para bases es de 80%. Por lo tanto, los materiales para las bases deben de ser de alta calidad.

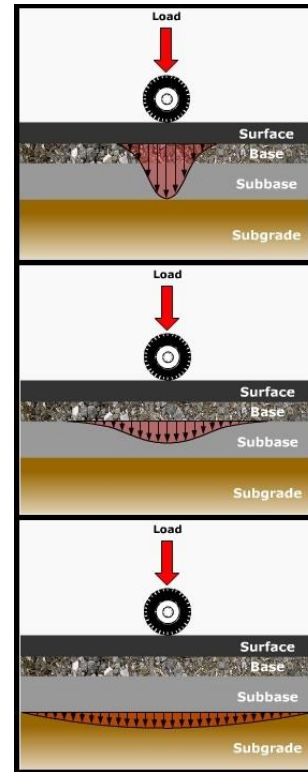
## Carpeta de rudo

La carpeta de rudo es la superficie superior que está en contacto con las cargas de tránsito. Es la capa de mayor capacidad de soporte de la estructura de pavimento.

Entre las funciones de la carpeta de rudo se encuentran: soportar los esfuerzos y deformaciones causadas por el tránsito, resistir al clima, la abrasión y el desgaste, proveer una superficie que sea lo suficientemente lisa para que facilite la movilidad de los vehículos y lo suficientemente rugosa para evitar los derrapes, además de ser un medio impermeabilizante protegiendo las otras capas del pavimento de la humedad superficial.

La carpeta de rudo debe ser construida con ligeras pendientes transversales (bombeo) con el fin de evacuar el agua superficial y evitar que ésta se acumule.

Existen dos tipos de carpetas de rudo: las elaboradas con mezcla asfáltica y las compuestas por concreto y acero. Igualmente, los requerimientos para los materiales son altamente exigentes.



**Figura 2.** Distribución de los esfuerzos a través de las capas del pavimento.

**Fuente:** Muench, 2010.

## Tipos de pavimento

Los pavimentos generalmente se clasifican en tres tipos:

- 1- Pavimento flexible.
- 2- Pavimento rígido.
- 3- Pavimento semi-rígido.

## Pavimento Flexible

El pavimento flexible está caracterizado por poseer una carpeta de rudo elaborada con concreto asfáltico, o también llamada mezcla asfáltica en caliente, el cual es producido en plantas asfálticas. Además, está compuesta por una base granular y una sub-base granular. En los pavimentos flexibles las capas están colocadas de manera que las superiores tienen mayor rigidez que las capas inferiores.

El pavimento flexible es uno de los más utilizados cuando la vía tiene demandas bajas de tránsito.

Algunos pavimentos que son sometidos a tratamientos superficiales con asfalto también pueden ser clasificados como pavimentos flexibles.

Entre las ventajas de utilizar este pavimento se encuentran:

1. Recomendable para cargas vehiculares bajas.
2. Es el pavimento que resulta más económico de los tres.
3. Facilidad de intervención a las capas del pavimento.
4. Permite una impermeabilización completa de la superficie de ruedo.
5. La falla por fatiga se genera en la carpeta de ruedo, por lo que se puede intervenir la carpeta con facilidad.
6. No es necesario diseñar acero de refuerzo o dovelas.

Las desventajas del pavimento flexible son las siguientes:

1. No es recomendable para altas cargas vehiculares.
2. Es un pavimento menos durable.
3. Requiere mayor mantenimiento o intervención.
4. Es un pavimento que posee menor capacidad estructural que el pavimento rígido.

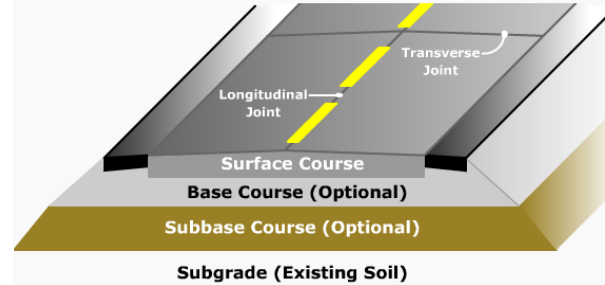


**Figura 3.** Sección típica de un pavimento flexible.

**Fuente:** Figueroa et al., s.f.

## Pavimento Rígido

El pavimento rígido está compuesto por una carpeta de ruedo elaborada con concreto hidráulico. La carpeta de concreto puede ser colocada directamente sobre la sub-rasante, pero en algunos casos se provee de una sub-base granular y/o base granular, para evitar que la losa entre en contacto con los finos de la sub-rasante.



**Figura 4.** Sección típica de un pavimento rígido.

**Fuente:** Hoffman, 2009.

Los pavimentos rígidos a su vez se clasifican en:

1. Pavimento de concreto con juntas (JPCP).
2. Pavimento reforzado y con juntas (JRCP)
3. Pavimento continuamente reforzado

Las ventajas que proporciona el pavimento rígido son las siguientes:

1. Posee mayor capacidad estructural que el pavimento flexible.
2. Recomendable para cargas vehiculares altas.
3. Pavimento más durable.
4. Requiere menos mantenimiento del pavimento durante su vida útil.

Las desventajas de este pavimento son las siguientes:

1. No es recomendable para cargas vehiculares bajas porque se vuelve una solución muy costosa económicamente.
2. Es posible que se genere bombeo de materiales finos por las juntas hacia la superficie de la losa, cuando no existe sub-base.
3. Se requiere el diseño de acero y/o dovelas, a excepción de algunos pavimentos rígidos que no los tienen.

## Pavimento Semi-rígido

Un pavimento semi-rígido es el tipo de pavimento que es similar al flexible en cuanto a los tipos de capas que poseen, la principal diferencia entre los dos radica en que el semi-rígido posee una base estabilizada por cemento o asfalto, la cual puede ser mucho más rígida que la carpeta asfáltica.



**Figura 5.** Sección de pavimento semi-rígido con base estabilizada con concreto.

**Fuente:** Hoffman, 2009.

Este tipo de pavimento es de gran utilidad cuando la cantidad de tránsito no es tan alta como para recurrir al pavimento rígido, ni tan baja como para utilizar el flexible; o cuando es imposible adquirir material de base que sea superior a la calidad requerida.

Las ventajas de este tipo de pavimento son las siguientes:

1. Es utilizable para cargas medias de tránsito.
2. Es un pavimento mucho más económico que el pavimento rígido para cargas medias de tránsito.
3. Evita que se genera infiltración de finos a la estructura de pavimento.
4. Una estructura de pavimento semi-rígido con la misma capacidad que un pavimento flexible, posee menos espesores de capa.

Las desventajas del pavimento semi-rígido son:

1. En el pavimento semi-rígido se provocan fallas por fatiga en la base, por lo tanto, es más caro realizar una intervención con la finalidad de repararlo.
2. Este pavimento no es útil para cargas vehiculares altas.

# Método AASHTO para el diseño estructural de pavimentos

El diseño de pavimentos consiste en la obtención de los espesores de cada una de las capas de la estructura de pavimento, ya sea, flexible, rígido o semi-rígido. Estos espesores obtenidos mediante la metodología AASHTO 1993 son espesores teóricos; por lo tanto, el diseñador, de acuerdo su criterio, puede tener un parámetro para decidir cuáles serán los espesores reales que a colocar.

Como menciona Huang (2004), el procedimiento de diseño recomendado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) está basado en los resultados de la AASHTO Road Test realizado en Ottawa, Illinois a finales de los años 50's y principios de los años 60's.

## Variables de diseño

### Ejes Equivalentes (ESAL's)

La carga vehicular está compuesta por una gran variedad de tipos de ejes y vehículos, por lo tanto, es necesario convertirlos a una única unidad de medida llamada eje equivalente de 18kips (8200kg), esto con fin de realizar una sumatoria de todos los ejes equivalentes anuales.

Los ejes equivalentes se obtienen mediante dos tipos de procesos, el primero consiste en obtener el tipo, cantidad, y peso de los ejes simples y tandem que transitan por la vía; AASHTO (1993) en su apéndice D ofrece tablas con factores de equivalencia de carga (LEF) con el fin de convertir los diferentes tipos de ejes en ejes equivalentes.

El segundo consiste en realizar conteos diarios de los vehículos que transitan de acuerdo al tipo de vehículo, por ejemplo, liviano, C2, C3. Por lo tanto, mediante factores camión se transforman los diferentes tipos de vehículos en ejes equivalentes.

Los factores camión tienen su origen en los LEF, ya que, para obtenerlos es necesario, realizar mediciones de peso de cada eje por

vehículo en estaciones de pesaje, luego se obtienen los LEF para los ejes de un determinado vehículo, el factor camión es la suma de los LEF de cada eje por vehículo.

Posteriormente a los ejes equivalentes se les aplica factores de dirección y factor carril con el fin de obtener los ejes equivalentes del carril de diseño.

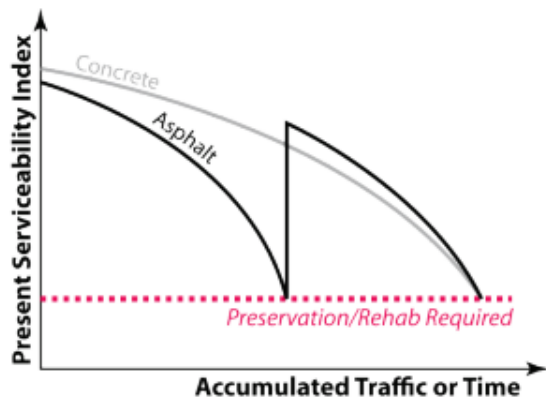
## Índice de Servicio (PSI)

El Índice Presente de Serviciabilidad (PSI) es un indicador de la calidad funcional del pavimento, que determina la confortabilidad de un pavimento al tránsito.

EL PSI está basado en el AASTO Road Test PSR. El PSR o Present Serviciability Rating es una valoración de la calidad de la circulación elaborada por un panel de evaluación. Dichos evaluadores conducían por una sección del tramo experimental de la AASHTO con el fin de categorizar el pavimento de acuerdo a su calidad en un rango de 0 a 5, donde 0 es un pavimento intransitable y 5 es un pavimento perfecto.

Posteriormente se buscó la transición de PSR (evaluado por panelistas), a PSI (no evaluado por panelistas); por lo tanto, se realizaron evaluaciones de PSR en tramos experimentales en Illinois, Minnessota e Indiana, entre los años entre 1958 y 1960.

Estas mediciones se empezaron a correlacionar con deterioros de pavimentos como rugosidades, roderas, baches y agrietamiento, a partir de aquí se obtuvieron las primeras ecuaciones empíricas de PSI.



**Figura 6.** Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto.

Fuente: ACPA, 2012.

## Módulo Resiliente

Es bien conocido que los materiales de pavimento no son elásticos, debido a deformaciones permanentes después de cada aplicación de carga. Sin embargo, si la carga es pequeña comparada con la resistencia del material y es repetida por un gran número de veces, la deformación bajo cada repetición de carga es casi completamente recuperable (y proporcional a la carga), por esto, se puede considerar este comportamiento como elástico. (Huang, 2004)

Según Huang (2004), el módulo elástico basado en deformaciones recuperables bajo repeticiones de carga es llamado módulo resiliente.

El módulo resiliente es obtenido de laboratorio mediante la prueba triaxial la cual esta normada bajo la AASHTO T 292. Debido a la dificultad de la mayoría de los laboratorios de poseer el equipo de la prueba triaxial, se han encontrado varias correlaciones entre el módulo de resiliente y otros parámetros como lo son: coeficiente estructural, R-Value, CBR, Triaxial de Texas, entre otros.

El módulo resiliente de una sub-rasante puede variar a lo largo del año, ya que la humedad en los suelos no es constante y ésta tiene un gran impacto en módulo resiliente, ya que disminuye cuando la humedad es alta y viceversa; por lo tanto, es importante recopilar variaciones del módulo por cada época del año o por cada mes del año.

## Índice de Soporte de California (CBR)

El California Bearing Ratio o mejor conocido como CBR es una prueba de laboratorio con el fin de obtener la resistencia a la penetración de un espécimen de material granular siendo capaz de medir también materiales cohesivos. Fue desarrollado por la California División of Highways aproximadamente en los años 30.

El equipo de laboratorio para la prueba de CBR es bastante común entre los laboratorios; ya que, tiene un valor económico bastante menor que el equipo triaxial y es sencillo de manejar por el personal de laboratorio.

En términos generales, la prueba consiste en obtener la resistencia a la penetración de la muestra y compararla con la muestra patrón. Es decir, el CBR es el porcentaje de resistencia que posee la muestra con respecto a la muestra patrón, donde un CBR de 100 es una muestra con la misma resistencia a la penetración que la muestra patrón. Esta prueba está regida por las normas AASHTO T 193: The California Bearing Ratio y ASTM D1993: Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils.

## Coeficiente de Drenaje

Según AASHTO (1993) El drenaje es tratado en dicho manual considerando los efectos del agua en las propiedades de las capas del pavimento y de las consecuencias a la capacidad estructural del pavimento.

Para un diseño nuevo, el efecto del drenaje está en función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el pavimento sea drenado), y el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad de saturación inminente. (AASHTO, 1993)

En el Cuadro 2, se presenta los tiempos de drenado de las capas granulares que permiten clasificarlas de acuerdo a calidad de drenaje.

| Cuadro 2. Tiempos de Drenaje para Capas Granulares |                   |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| Calidad del drenaje                                | Tiempo de drenado |
| Excelente                                          | 2 horas           |
| Bueno                                              | 1 día             |
| Aceptable                                          | 1 semana          |
| Pobre                                              | 1 mes             |
| Muy pobre                                          | No hay drenado    |

Fuente: SIECA 2002.

El efecto del drenaje en la capacidad estructural del pavimento es afectado mediante el coeficiente de drenaje, el cual, para pavimentos flexibles es expresado por medio de  $C_m$ , mientras que para pavimentos rígidos es expresado por  $C_D$ . Estos valores pueden ser mayores o menores a la unidad y esto dependerá de la condición del drenaje. Mientras que el  $C_D$  es aplicado a la ecuación de diseño, el  $C_m$  es aplicado a la ecuación del número estructural. Este coeficiente no es aplicado a las carpetas de rueda ya que éstas no están compuestas de drenajes.

## Confiabilidad (R)

La confiabilidad se refiere a la probabilidad que al final del período de diseño se logre llegar al PSI terminal, por ejemplo, si el diseñador desea considerar en su diseño un 95% de confianza esto quiere decir que finalizar el período de diseño hay una probabilidad del 95% de que el pavimento llegue a un PSI mayor o igual al PSI terminal.

El grado de confianza que se quiera lograr dependerá de la importancia de la vía, es decir, una vía primaria requerirá una confiabilidad mucho más rigurosa que una vía terciaria o cantonal.

La confiabilidad es representada en el diseño mediante el estadístico de normalidad  $Z_R$ , AASHTO (1993) provee correlaciones entre porcentajes de confianza y estadísticos  $Z_R$ .

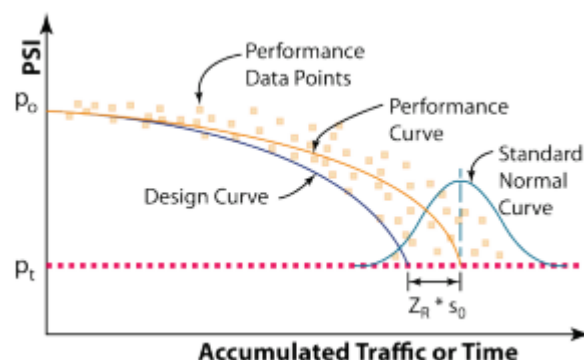


Figura 7. Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño.

Fuente: ACPA, 2012.

## Desviación Estándar $S_0$

La desviación estándar está relacionada con el grado de dispersión que generan los factores o variables que intervienen en el diseño.

Según ACPA (2012), la desviación estándar es la sumatoria de los errores estadísticos presentes en las ecuaciones de diseño debido a la variabilidad en los materiales, construcción, etc. Representa el acumulado de dispersión entre el comportamiento predicho y el desempeño real.

La desviación estándar está ligada al tipo de pavimento, AASHTO (1993) recomienda utilizar un  $S_0$  de 0,45 para pavimentos flexibles y de 0,35 para pavimentos rígidos.

## Coefficiente estructural $a_i$

El coeficiente estructural  $a_i$  es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de capa de un material dado de funcionar como un componente estructural del pavimento. (Huang, 2004)

El coeficiente estructural se orienta a valorar la invariabilidad de la resistencia de la capa de pavimento conforme éste es sometido a las cargas correspondientes.

Según FHWA (2006), se debe enfatizar que los coeficientes estructurales no son fundamentalmente propiedades ingenieriles del material. No existen procedimientos de laboratorio ni de campo para medir el coeficiente estructural directamente. Los coeficientes estructurales son originalmente definidos como simples índices de sustitución, por ejemplo, un coeficiente puede

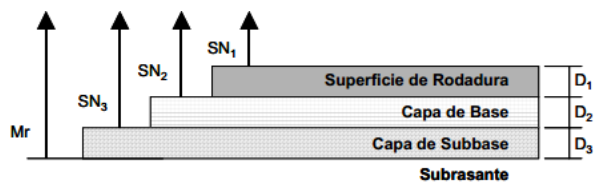
definir cuanto de espesor adicional de base debe ser agregado si una unidad de espesor de concreto asfáltico es removida, manteniendo la misma deflexión bajo una carga estandarizada.

El coeficiente estructural es únicamente utilizado durante el procedimiento del diseño de pavimentos flexibles, mientras en que el diseño de los rígidos no es considerado.

## Número Estructural SN

Es un indicador de la capacidad soportante y resistencia al deterioro que puede tener una capa o el pavimento en general. El SN está en función del coeficiente estructural, coeficiente de drenaje, espesor de la capa. El número

Un pavimento con un mayor número estructural SN tarda más tiempo en alcanzar el PSI terminal, porque posee mayor capacidad estructural y resistencia al deterioro a agentes como cargas vehiculares, clima, presencia de agua.

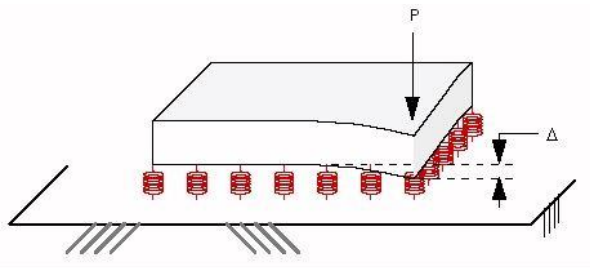


**Figura 8.** Número estructural para cada capa de pavimento.  
**Fuente:** SIECA, 2002.

## Módulo de Reacción k

El módulo de reacción  $k$  es uno de los parámetros más importantes en el diseño de pavimentos rígidos y representa la capacidad de soporte de la capa inferior a la losa de concreto, por lo tanto, este módulo es debida a la interacción entre la losa de concreto y la capa inferior a ésta, la cual puede ser la misma sub-rasante o una capa de Sub-base.

Según ACPA (2012), el módulo de reacción  $k$  es determinado por la prueba del plato de carga y esta normado por AASHTO T235 o ASTM D1194 (Nonrepetitive Static Plate Load for Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements). El modelo de dicha prueba está basado en que la reacción entre la losa y el suelo es como una cama de resortes entre ambas y el valor  $k$  es la constante elástica del resorte. La prueba está compuesta por un plato de unas 30 pulgadas (762mm) de diámetro colocado sobre el suelo. Éste es sometido a cargas altas por medio del plato de carga, el cual distribuye la carga al suelo.



**Figura 9.** Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacente.

**Fuente:** Hoffman, 2007.

El valor de  $k$  es obtenido de la división entre el esfuerzo aplicado de 12 psi, y la deflexión a dicho esfuerzo, por lo tanto, el valor  $k$  tiene unidades de psi/in (pci).



**Figura 10.** Prueba in situ del plato de carga.

**Fuente:** Hoffman, 2007.

Ya que muchos laboratorios no cuentan con el equipo para realizar la prueba, se han encontrado correlaciones entre el valor  $k$  y otros parámetros de laboratorio. Por lo tanto, hay procedimientos para encontrar el módulo de reacción  $k$  sin necesidad de elaborar la prueba de laboratorio.

Según AASHTO (1993), el módulo de reacción debe ser corregido por la presencia de una fundación rígida, y por pérdida de capacidad de soporte debida a la erosión y movimientos diferenciales de la Sub-base o sub-rasante.

## Módulo de Elasticidad del concreto

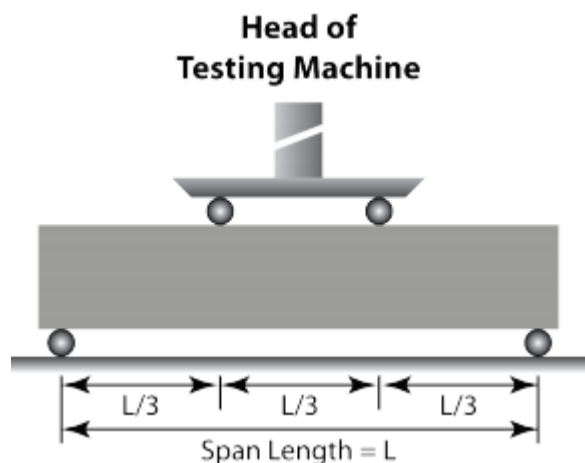
El módulo de elasticidad del concreto  $E_c$  representa que tanto se comprime el concreto al estar sometido a cargas. Un concreto con un módulo de elasticidad alto indica que el concreto es rígido y, por lo tanto, tiene deformaciones bajas; mientras que un concreto con un módulo de elasticidad bajo es un concreto más deformable.

En la ecuación de pavimento rígido,  $E_c$  es el parámetro que tiene menor impacto en el espesor de diseño o en el desempeño proyectado. El  $E_c$  puede ser obtenido mediante la prueba ASTM C469 y su equivalente, pero extrañamente es realizado en la práctica. Éste es usualmente

estimado a partir de la resistencia a la compresión  $f'_c$ , o la resistencia a la flexión  $S'_c$ . (ACPA, 2012)

## Módulo de Ruptura del concreto

Según ACPA (2012), el módulo de ruptura del concreto se obtiene mediante la prueba AASHTO T97 o ASTM C78 (Flexural Strength of Concrete using Simple Beam with Third-Point Loading)



**Figura 11.** Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos.  
**Fuente:** ACPA, 2012.

Dicha prueba determina la resistencia a la flexión a los 28 días o llamada también módulo de ruptura  $S'_c$ . Esta prueba consiste en colocar dos cargas en una viga de concreto distanciadas del borde a  $1/3$  de la longitud de la viga, y medir el esfuerzo a la cual la viga falla por flexión. Esta prueba es el mejor simulador de los esfuerzos de flexión a los que está sometido una losa de concreto en un pavimento rígido.

Existe otra prueba para obtener la resistencia a la flexión, la cual es la AASHTO T177 o ASTM C293 (Flexural Strength of Concrete using Center-Point Loading), en esta prueba la carga es colocada en el centro del claro de la viga, este punto generalmente no es el punto más susceptible a la falla. El hecho de forzar a la viga a la falla en su centro provoca que se obtengan resistencias a la flexión mayores que la prueba del tercer punto en un 15% adicional. (ACPA, 2012)

Generalmente los diseñadores correlacionan el módulo de ruptura  $S'_c$ , con la resistencia a la compresión a los 28 días  $f'_c$ . Por lo tanto, se realizan pruebas de compresión de

cilindros de concreto como una alternativa a la prueba de resistencia a la flexión.

## Coeficiente de transmisión de carga J

El coeficiente de transmisión de carga J es un factor usado en los diseños de pavimentos rígidos para considerar la capacidad de una estructura de pavimento de concreto de transferir (distribuir) carga a través de discontinuidades como juntas, grietas, dispositivos de transferencia de carga, transferencia por trabazón y fricción de los agregados, y la presencia de espaldones. (AASHTO, 1993)

El valor J es condicionado por varios factores como lo son la existencia de dispositivos de transferencia de carga, tipo de espaldón, y tipo de pavimento rígido (JPCP, JRCP, CRCP).

# Estabilización de sub-rasante

Como menciona Elizondo (2009), la estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente, el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo.

Los dos principales usos de la estabilización son:

- Mejoramiento de la calidad: Consiste en logra reducir el Índice de Plasticidad y disminuir el potencial de expansividad.
- Reducción del espesor: Consiste en el mejoramiento de la rigidez y la dureza del suelo, los espesores de base y sub-base puede ser reducidos.

Los tipos de estabilización se pueden clasificar en dos:

- Estabilización mecánica: Es la combinación o mezcla de suelos con dos o más graduaciones, para obtener un “nuevo” material, ya sea para material de base, sub-base o cualquier otro material deseado complementando así las características de ambos suelos
- Estabilización con aditivos: Son productos que cuando son agregados al suelo en las cantidades apropiadas mejoran algunas de sus propiedades ingenieriles, tales como resistencia, textura, trabajabilidad y plasticidad

## Estabilización con aditivos

### Tipo de suelos y aditivos

El cemento Portland es utilizado en una gran variedad de tipos de suelos; sin embargo, dado

que es sumamente importante que esté íntimamente mezclado con la fracción fina del suelo ( $<0,074$  mm), los materiales más plásticos deben ser evitados. Generalmente aquellos materiales granulares bien graduados que posean suficientes finos que produzcan o permitan una matriz de agregado homogénea, son los más deseados para la estabilización con Cemento Portland. (Elizondo, 2009)

Por su parte, la cal reaccionará con los suelos de mediana y alta plasticidad produciendo un decremento en el índice de plasticidad, aumento de trabajabilidad, disminución de expansión y aumento de resistencia. La cal es utilizada para la estabilización de una gran variedad de materiales, incluyendo suelos de muy baja resistencia, transformándolos en una “superficie de trabajo” o sub base; además con cantidades marginales de materiales granulares de base como las gravas arcillas o gravas “sucias” pueden formar una base de alta resistencia y calidad. En la práctica es común la utilización de pequeñas cantidades de cemento Portland junto con la cal para aumentar resistencia. (Elizondo, 2009)

Como especifica Elizondo (2009) el bitumen y materiales bituminosos son empleados para impermeabilizar y aumentar la resistencia, generalmente los suelos deseables para una estabilización con materiales bituminosos son las arenas y los materiales granulares, ya que se requiere que las partículas de suelo queden completamente cubiertas.

## Selección de aditivo optimo

De acuerdo con FHWA (2006), la selección de las opciones de aditivos para la modificación, se realiza mediante los criterios de granulometría (el porcentaje de material de sub-rasante pasando la malla No. 200 ( $75\ \mu\text{m}$ ) y Índice de Plasticidad) y el Índice de Plasticidad. En la *Figura 12* se entran con ambos valores y se define estabilizador que es el usualmente apropiado, medianamente apropiado o inapropiado.

|                                                                                                             | MORE THAN 25% PASSING 75µm |              |         | LESS THAN 25% PASSING 75µm               |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|---------|------------------------------------------|---------|---------|
| Plasticity Index                                                                                            | PI ≤ 10                    | 10 < PI < 20 | PI ≥ 20 | PI ≤ 6<br>PI x %<br>passing<br>75µm ≤ 60 | PI ≤ 10 | PI > 10 |
| <b>Form of Stabilisation</b>                                                                                |                            |              |         |                                          |         |         |
| Cement and Cementitious Blends                                                                              |                            |              |         |                                          |         |         |
| Lime                                                                                                        |                            |              |         |                                          |         |         |
| Bitumen                                                                                                     |                            |              |         |                                          |         |         |
| Bitumen/<br>Cement Blends                                                                                   |                            |              |         |                                          |         |         |
| Granular                                                                                                    |                            |              |         |                                          |         |         |
| Miscellaneous<br>Chemicals*                                                                                 |                            |              |         |                                          |         |         |
| <div> <div>Key</div> <div>Usually suitable</div> <div>Doubtful</div> <div>Usually not Suitable</div> </div> |                            |              |         |                                          |         |         |

**Figura 12.** Tabla de selección del estabilizador de sub-rasante.  
**Fuente:** FHWA, 2006.

# Deterioros

De acuerdo con Sánchez (2009), las causas del deterioro de pavimento son las siguientes:

- Cumplimiento del período útil del pavimento.
- Diseño deficiente.
- Deficiencias durante la construcción (calidad inadecuada de materiales y mezclas, espesores insuficientes, operaciones de construcción deficientes, drenajes inapropiados, etc.).
- Factores climáticos excesivamente desfavorables.
- Deficiencias en la implementación del mantenimiento.

## Deterioros Pavimentos Flexibles

De acuerdo a Sánchez (2009) los deterioros de los pavimentos flexibles se clasifican de siguiente manera:

- Agrietamientos.
- Deformaciones.
- Desprendimientos.
- Afloramientos.
- Otros tipos de deterioros.

Los deterioros en pavimentos flexibles son definidos a continuación.

### Agrietamiento tipo piel de cocodrilo



**Figura 13.** Agrietamiento tipo piel de cocodrilo.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

De acuerdo a Sánchez (2009), este tipo de agrietamiento está caracterizado por unas series

de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos generalmente con un diámetro menor a 30cm.

El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo debido a la fatiga debido a las cargas de tránsito. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de carga, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada que asemeja el cuero de un cocodrilo.

### Agrietamiento en bloque



**Figura 14.** Agrietamiento en bloque.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Consiste en una serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30cm con un área variable de 0,10 a 9,0 m<sup>2</sup>.

Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento portland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, dicha contracción provoca agrietamientos que son reflejados en la superficie del pavimento. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a cargas de tráfico, sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras.

## Agrietamiento de borde



**Figura 15.** Agrietamiento de borde.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Como menciona Miranda (2010), este tipo de agrietamiento está caracterizado por grietas con tendencia longitudinal semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de espaldón o por la diferencia de nivel entre el espaldón y la calzada. Generalmente se ubican dentro de la franja paralela al borde.

La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de espaldón insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con el espaldón; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde.

## Agrietamiento longitudinal



**Figura 16.** Agrietamiento longitudinal.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Este tipo de agrietamiento consiste en una fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas por las que transitan los vehículos, en el eje o en los bordes del pavimento. (Sánchez, 2009)

Las posibles causas de este tipo de agrietamiento se presentan a continuación.

- Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por fatiga estructural.
- Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción.
- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debida a altos gradientes térmicos.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento, debidas a capas estabilizadas, losa de concreto, etc.
- Deficiente confinamiento lateral, por falta de espaldones, cordones.

## Agrietamiento transversal



**Figura 17.** Agrietamiento transversal.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Entre las posibles causas se encuentran:

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de las grietas en la capa subyacente incluyendo pavimentos de concreto con excepción de reflexión de sus juntas.
- Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

## Agrietamiento parabólico



**Figura 18.** Agrietamiento parabólico.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Son fisuras en forma de media luna que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito.

Dicho agrietamiento se produce cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie del pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combina una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura de pavimento. La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos son factores que con frecuencia conducen tales fallas

## Agrietamiento por reflexión



**Figura 19.** Agrietamiento por reflexión.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Como menciona Miranda (2010) este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido. Estas fisuras aparecen por la proyección en la superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.

## Baches



**Figura 20.** Bache sobre la carretera.  
**Fuente:** Miranda, 2010.

Según Miranda (2010) es una cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones debe tener como mínimo 150mm. Los baches pueden deberse a una estructura de pavimento insuficiente, drenaje inadecuado, defecto

constructivo, o por derrame de solventes como por ejemplo aceite, bencina, etc.

## Ahuellamiento o Roderas



**Figura 21.** Ahuellamiento.  
**Fuente:** Miranda, 2010.

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.

El ahuellamiento puede deberse a la deformación permanente de alguna de las capas del pavimento de la sub-rasante, generada por deformación plástica de la sub-rasante y/o carpeta asfáltica debido a las repeticiones de carga.

## Exudación



**Figura 22.** Exudación.  
**Fuente:** Miranda, 2010.

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento. (Miranda, 2010)

La exudación se genera debido a que la mezcla bituminosa posee cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sea más bajo, sucede en épocas o zonas muy calurosas.

## Levantamientos



**Figura 23.** Levantamientos.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

De acuerdo con Sánchez (2009), este tipo de deterioro consiste en un abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que se distorsiona en el perfil de la carretera. Dichos levantamientos son causados

fundamentalmente por la expansión de los suelos de sub-rasante del tipo expansivo, en muchos casos puede ir acompañado por el fisuramiento de la superficie.

## Pérdida de áridos (desprendimientos)



**Figura 24.** Pérdida de áridos.  
**Fuente:** Miranda, 2010.

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva a los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales.

## Deterioros en Pavimentos Rígidos

### Agrietamiento longitudinal



**Figura 25.** Agrietamiento longitudinal de losa.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

De acuerdo con Miranda (2010), el fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos. Este agrietamiento es causado por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.

### Agrietamiento transversal



**Figura 26.** Agrietamiento transversal de losa.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

El agrietamiento transversal es el fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a éste, dividiendo la misma en dos planos.

Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de carga pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud/ ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas, la ausencia de juntas transversales y la variación significativa en el espesor de las losas. (Miranda, 2010)

### Agrietamiento en la esquina



**Figura 27.** Agrietamiento en la esquina de la losa.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Como menciona Miranda (2010), este tipo de deterioro consiste en fisuras que intersecan la junta o el borde que delimita la losa a una distancia menor de 1,30m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa. Este deterioro es causado por la repetición de cargas pesadas combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

## Escalonamiento



**Figura 28.** Escalonamiento entre losas adyacentes.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Según Sánchez (2009), dicho deterioro es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina, también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.

Además, éste deterioro es el resultado del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa; como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Lo anterior se debe a manifestaciones del fenómeno de bombeo.

## Levantamiento localizado (Blow up)



**Figura 29.** Levantamiento entre losas adyacentes.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

De acuerdo con Miranda (2010), este deterioro está caracterizado por la sobreelevación

abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal. Es causado por la falta de libertad de expansión de las losas de concreto.

## Desintegración



**Figura 30.** Desintegración superficial y fisuras capilares.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Es la progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del concreto. Este deterioro se debe al efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de pobre calidad, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente dosificación, curado defectuoso, etc.). (Miranda, 2010)

## Pérdida de sello en las juntas



**Figura 31.** Pérdida del sello en las juntas.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

Como menciona Sánchez (2009), la pérdida de sello en las juntas se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. Este deterioro se debe al endurecimiento por oxidación del material de sello, pérdida de adherencia con los bordes de las losas, levantamiento del material del sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas, escasez o ausencia del material de sello, material de sello inadecuado.

## Separación de la junta longitudinal



**Figura 32.** Separación de la junta longitudinal.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

De acuerdo con Miranda (2010), este deterioro corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los pavimentos rígidos. Se debe principalmente a la contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de dovelas; también al desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la sub-rasante.

## Surgencia de finos



**Figura 33.** Surgencia de finos en la superficie del pavimento.  
**Fuente:** Sánchez, 2009.

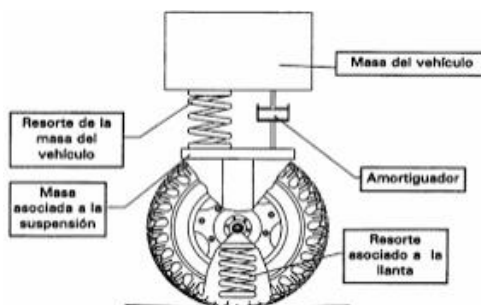
Es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, dicho fenómeno se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua ésta arrastra partículas de grava, arena, arcillas o limos generando la pérdida de capacidad de soporte de las losas de concreto. El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento. (Sánchez, 2009)

## Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Con el objetivo de unificar los diferentes parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto “International Road Roughness Experiment” (IRRE), promocionado por el Banco Mundial. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para un número de vías de dicho proyecto se seleccionó un único parámetro medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index). El IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajeros típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. (Badilla, 2009)

Como menciona el autor; primer paso para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consisten en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) para generar un nuevo perfil con el fin de reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

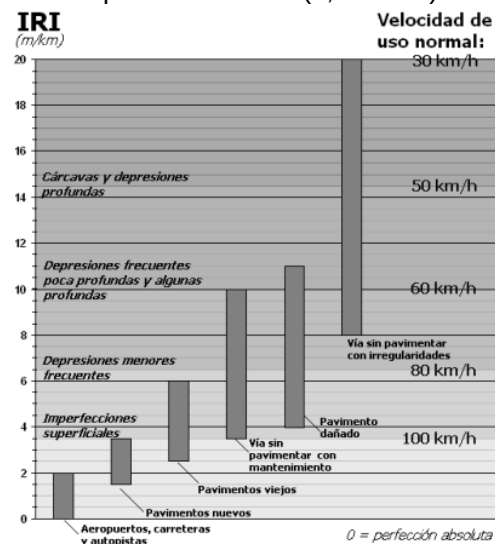
El nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a 80 km/h, éste es un modelo de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas que lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino. (Badilla, 2009)



**Figura 34.** Representación gráfica del modelo cuarto de carro  
**Fuente:** Badilla, 2009.

De acuerdo con Badilla (2009); el movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida se calcula y se acumula. El valor en m/km es la medida final de regularidad del camino. Para caminos pavimentados el rango de escala de IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta un valor de 20.

En un perfil real de una carretera recién construida es difícil alcanzar un valor de 0m/km desde el punto de vista constructivo; por lo tanto, la normativa CR-2010 establece que el control de la regularidad del IRI en carpetas tanto asfálticas como de concreto hidráulico deben tener un IRI promedio de 1,85m/km con una desviación estándar de 0.39m/km, a excepción de las autopistas y vías concesionadas (IRI=1,69m/km) y otras capas bituminosas (2,35m/km).



**Figura 35.** Escala del IRI para diferentes tipos de vías  
**Fuente:** Badilla, 2009.

# Conservación Vial

Se entiende por conservación vial, el conjunto de actividades destinadas a preservar de forma continua y sostenida el buen estado de las vías, de forma tal, que se garantice un óptimo servicio al usuario. La conservación comprende actividades tales como el mantenimiento (rutinario y periódico), la rehabilitación y el refuerzo de la superficie de ruedo sin alterar la estructura existente. La conservación vial no comprende la construcción de vías nuevas o partes de ella, ni la reconstrucción, ni el mejoramiento de vías. La restauración de vías provocada por emergencias no forma parte de la conservación. (MOPT/GTZ, 1998)

## Mantenimiento Vial

MOPT/GTZ (1998) menciona que mientras que la conservación vial se refiere a la totalidad de actividades de mantenimiento y rehabilitación que es necesario realizar para preservar una vía, el mantenimiento se limita a aquellas obras que en forma periódica o rutinaria deben llevarse a cabo para una carretera, calle o camino se mantengan en su condición oficial. El mantenimiento vial puede clasificarse de la siguiente manera: mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico.

## Mantenimiento Rutinario

De acuerdo con MOPT/GTZ (1998), el mantenimiento rutinario se entiende como el conjunto de labores de limpieza de drenajes, control de vegetación, reparaciones menores y localizadas del pavimento y restitución de la demarcación, que se deben efectuar de una manera continua y sostenida, a través del tiempo, para preservar la condición operativa, nivel de servicio y seguridad de las vías.

Comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deterioros o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje

menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines. (SIECA, 2004)

## Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico es el conjunto de actividades programables cada cierto período, tendientes a renovar la condición original de los pavimentos mediante la aplicación de capas adicionales de tratamientos superficiales o sobre-capas asfálticas o de secciones de concreto, según el caso, sin alterar la estructura de las capas del pavimento subyacente. El mantenimiento periódico de los puentes incluye la limpieza, pintura y reparación o cambio de elementos estructurales dañados o de protección. (MOPT, 2015)

De acuerdo con SIECA (2004), el mantenimiento periódico abarca las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para elevar la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado. Está considerada la colocación de sobre-capas sobre pavimentos deteriorados.

## Rehabilitación Vial

Como menciona MOPT/GTZ (1998) la rehabilitación vial es la reparación selectiva y el refuerzo del pavimento o de la calzada, previa demolición parcial de la estructura existente, con el objeto de restablecer la solidez estructural y la calidad de ruedo originales; además de incluir, por única vez en cada caso, la construcción o la reconstrucción del sistema de drenaje, que no implique la construcción de alcantarillas o puentes mayores. Incluye también el mejoramiento del pavimento o de las estructuras, cuyo costo sea inferior al 10% del costo anual de conservación de la vía (mantenimiento rutinario más mantenimiento periódico prorrateado de un año). Previo a la realización de cualquier actividad de rehabilitación de la superficie de ruedo, debe verificarse que el sistema de drenaje se encuentre en buen estado de funcionamiento.

## **Mejoramiento Vial**

De acuerdo con MOPT (2015), son mejoras o modificaciones de estándar horizontal o vertical de los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, a fin de incrementar la capacidad de la vía, la velocidad de circulación y aumentar la seguridad de los vehículos. También se incluyen dentro de esta categoría, la ampliación de la calzada, la elevación del estándar de la superficie (“upgrade”) de tierra a lastre o de lastre a asfalto, entre otros, y la construcción de estructuras tales como alcantarillas grandes, puentes o intersecciones. Esta actividad está fuera del alcance de la conservación vial.

## **Reconstrucción**

Es la renovación completa de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento o las estructuras de puente. Esta actividad está fuera del alcance de la conservación vial. (MOPT, 2015)

# Técnicas de Conservación Vial

Las técnicas de conservación son especificadas en el Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes, especificada en la fuente MOPT (2015) regidas para este país, a continuación, se presentan algunas técnicas de conservación vial de las cuales algunas son referentes a este proyecto.

## Conservación del derecho de vía

### Limpieza de la zona del derecho de vía

Esta actividad consiste en la remoción de toda basura, desperdicio, construcciones, entre otros que se encuentren en el área comprendida dentro de los límites del derecho de vía legal del proyecto; con la finalidad de asegurar una adecuada visibilidad en la vía, dejando al descubierto las señales de tránsito y asegurar el eficiente drenaje de las aguas superficiales de la lluvia con la eliminación de cualquier obstrucción que afecte el flujo del agua además de mantener el área del derecho de vía libre para dar seguridad al usuario.

### Manejo de la vegetación menor en la zona de derecho de vía

Esta actividad abarca el corte y le remoción del exceso de “vegetación menor” cuya altura sea superior a 30cm dentro del derecho de vía y mayor a 20cm en el separador central de la vía. Para el desarrollo de todos los trabajos asociados a esta actividad, se deberán considerar todas las medidas requeridas de mitigación, prevención y protección del medio ambiente.

### Manejo de la vegetación menor en la zona de derecho de vía

Este trabajo consiste en podar los árboles eliminando las ramas que hayan crecido dentro de la zona del derecho de vía, que afecten la visibilidad y la seguridad de los usuarios de la carretera, considerando que la distancia mínima

de aproximación de ramas y árboles es de 3m a partir de la cuneta y con una altura libre de 6m; para el desarrollo de los trabajos asociados a esta actividad, se deberán considerar todas las medidas requeridas de prevención y protección al medio ambiente. Es prohibido ejecutar los trabajos haciendo uso del fuego, herbicidas, o cualquier otro material no aprobado.

## Conservación de estructuras menores

### Limpieza de canales, cunetas y contra cunetas

Esta actividad consiste en la remoción, recolección y acarreo de todo tipo de material extraño que se encuentre depositado en los canales, las cunetas y contra cunetas, de manera tal que permanezcan libres de basuras y sedimentos, para asegurar la adecuada evacuación de las aguas.

### Reparación menor de canales, cunetas y contra cunetas revestidas

Esta actividad consiste en realizar reparaciones menores de canales, cunetas y contra cunetas revestidas en concreto o mampostería; con el fin de dejarlos en condiciones similares a la construcción original. Esta actividad se hará siempre y cuando las reparaciones sean puntuales o localizadas y no requieran una intervención a nivel estructural que, de ser así, se deberá atender por medio de una conservación periódica o una rehabilitación.

## Reacondicionamiento de espaldones en material granular

La actividad se refiere reacondicionamiento de espaldones en material granular existentes en calzadas con pavimento flexible o rígido, que se encuentren desnivelados respecto del borde del pavimento, deformados por cuya geometría no se ajuste a un plano liso con una pendiente uniforme y adecuada, con el fin de evitar accidentes de tránsito por esta causa.

## Limpieza del sistema de alcantarillas

Esta actividad consiste en la limpieza de todo material extraño que se encuentre en el sistema de alcantarillas (tubería, accesorios, estructuras de entrada y salida; y muros y aletones de cabezal), de manera tal que permanezcan libres de basuras y sedimentos.

## Conservación de pavimentos flexibles

### Sello de Fisuras y Grietas

El sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 6mm) y de grietas (aberturas mayores a 6mm) en una superficie de ruedo asfáltica, es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar cuando éstas se han reflejado claramente en el pavimento. El objetivo del sellado de fisuras y grietas es impedir la entrada de agua y de materiales incomprensibles (piedras, metales, entre otros) en la superficie de ruedo asfáltico, de esta manera, minimizar y retardar la formación de agrietamientos más severos como los de cuero de lagarto y la posterior aparición de huecos.

### Bacheo

El bacheo consiste en la reparación de huecos, deformaciones o agrietamientos reemplazando las áreas del pavimento que se encuentran deterioradas, que puede comprender la capa asfáltica y la capa subsiguiente a ésta, con los

materiales originales con los que fueron contruidos, asegurando una buena compactación de las mismas, siempre que se encuentren en buenas condiciones las otras capas del pavimento y la sub-rasante.

La actividad de bacheo, se debe realizar de forma tal que minimice su efecto en la rugosidad superficial de la superficie de ruedo, medido a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI), para no afectar negativamente el nivel de servicio ni la vida útil remanente del pavimento.

El objetivo del bacheo es minimizar o retardar la formación de daños severos en el pavimento, además de impermeabilizar la superficie de ruedo de manera que no permita el paso de agua hacia la estructura y recuperar las condiciones originales de la superficie de ruedo.

El bacheo se puede clasificar en bacheo superficial y bacheo profundo.

- Bacheo superficial: Está conformado por áreas agrietadas en forma de arco o conformadas por bloques pequeños muy pequeños con anchos de grieta mayores a 20mm, de cuero de lagarto de severidad baja, con grietas no conectadas o poco conectadas que no provienen de la base granular, con una profundidad menor de 50mm.
- Bacheo profundo: Conformada por áreas agrietadas por fatiga (cuero de lagarto) de la estructura del pavimento, con grietas y fisuras interconectadas de severidad media y alta (trozos formados por dimensiones menores de 20cmx20cm) con una profundidad mayor de 50mm.

## Sellos y tratamientos superficiales asfálticos

Los sellos y tratamientos asfálticos se colocan como una alternativa económica para la conservación de pavimentos asfálticos para su protección, impermeabilización y mejoramiento de la capa de ruedo evitando la desintegración de superficies asfálticas deterioradas y proporcionando una superficie antideslizante. El objetivo de esta actividad es proteger de forma oportuna la superficie de ruedo del efecto que puede provocar la aparición de pequeñas fisuras y resquebrajamientos que normalmente son precursores de daños graves.

- Sello con lechada asfáltica: Los sellos con lechada asfáltica o Slurry Seal son una mezcla compuesta de emulsión asfáltica, agregados, filler mineral, agua y otros aditivos, dosificado en proporciones, mezclada y aplicada sobre la superficie del pavimento, en concordancia con especificaciones y procedimientos autorizados.
- Tratamiento superficial: Es un revestimiento delgado que consiste en la distribución uniforme de un agregado fino sobre un ligante bituminoso, aplicado sobre una superficie. Puede estar compuesto por una o varias capas de ligante y agregado fino.

## Sustitución de capa asfáltica o colocación de sobre capa asfáltica

Esta actividad consiste en la colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente, ya sea para sustituir una capa existente o bien, colocarla sobre ella, lo anterior previo al tratamiento de los daños puntuales presentes tales como fisuras, grietas y huecos, entre otros. Este tipo de intervención se justifica cuando se presentan los siguientes tipos de deterioro:

- Áreas agrietadas por fatiga (cuero de lagarto) de la estructura de pavimento. Caracterizado por grietas interconectadas entre sí, con una severidad medio y alto (trozos de menores de 20cm x 20cm); siempre que no provengan de capas subyacentes.
- Áreas agrietadas en forma de arco o conformadas por bloques muy pequeños con anchos de grieta mayores a 20mm.
- Deformaciones de la superficie tales como roderas, corrimientos, entre otros, con más de 2cm de desnivel, siempre que no provengan de las capas subyacentes.
- Pulimiento o desprendimiento de agregado que cubran áreas significativas de la capa de mezcla asfáltica.

Estos trabajos consisten en el suministro, transporte y colocación, tendido y compactación de la mezcla asfáltica en caliente; el suministro, transporte e incorporación de; emulsión asfáltica, aditivos para las mezclas en caliente, la regulación del tránsito, así como el control de laboratorio y

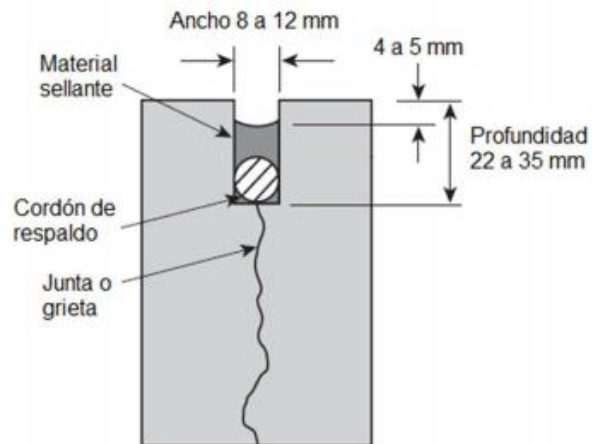
toda la ejecución de los controles de calidad correspondientes.

El espesor de capa, se determina a partir del diseño, en el cual se toma en consideración la estructura de pavimento existente, ajustándose a los alineamientos horizontales y secciones transversales originales de la ruta.

## Conservación de pavimentos rígidos

### Sellado de Juntas y Grietas

El objetivo de esta actividad es impedir la entrada de agua y de materiales incomprensibles (piedras, metales, entre otros), en la superficie de ruedo de concreto hidráulico, de esta manera, minimizar o retardar la formación de agrietamientos más severos y la posterior aparición de huecos; lo que permite mejorar las condiciones de servicio o adecuarlas a los sub-siguientes trabajos de rehabilitación. Por otra parte, se busca impedir que el agua penetre a las capas subyacentes de la capa de ruedo, la cual podría saturar los materiales existentes y causar pérdida de capacidad de soporte.



**Figura 36.** Sellado de Juntas.  
**Fuente:** MOPT, 2015.

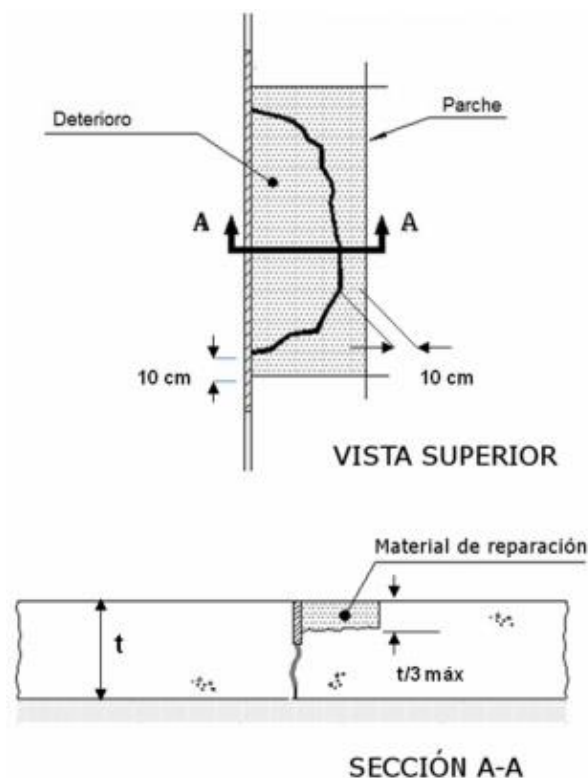
Los tipos de juntas y grietas son las siguientes:

- Junta Tipo 1: espesor de hasta 12mm de ancho. Se sellan con productos que tengan una deformación admisible entre 20% y el 30%. Los imprimantes y

- cordones de respaldo serán los adecuados y compatibles con el sellante.
- Junta Tipo 2: espesor entre 12mm y 20mm. Se sellan con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre 10% y 20.
  - Junta Tipo 3: espesor entre 20mm y 30mm. Se sella con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero.
  - Junta Tipo 4: espesor superior a 30mm. Se sellan con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión.
  - Juntas Longitudinales: cualquier espesor. Se sella con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero.
  - Grietas Tipo 1: espesor entre 3mm y 30mm. Se sella con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero.
  - Grietas Tipo 2: espesor superior a 30mm. Se sellan con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión.

## Reparación de Losas en Espesores Parciales

Este trabajo consiste en la reparación de fracturas en los bordes y esquinas de las losas, baches, desniveles, desnudamientos, elevada rugosidad u otros desperfectos superficiales en un pavimento de concreto de cemento hidráulico.



**Figura 37.** Reparación de Losas en Espesor Parcial.  
Fuente: MOPT, 2015.

En términos generales el procedimiento constructivo consiste en:

- 1) Demarcar el área a reparar.
- 2) Remoción del concreto deteriorado.
- 3) Limpieza de la superficie.
- 4) Preparación de las juntas.
- 5) Colocación, terminación y curado del material de relleno.
- 6) Sellado de las juntas
- 7) Apertura al tránsito.

## Reparación de Losas en todo el Espesor

La actividad de reparación de losas en todo el espesor se debe realizar como parte de la conservación periódica del pavimento rígido. Se considera profundidad en todo el espesor cuando los deterioros tengan una profundidad mayor a un tercio del espesor de la losa o a 100mm.

El objetivo de esta actividad es reemplazar las losas o la parte de ellas que se encuentra deteriorada del pavimento de concreto, para lo

cual independientemente de la zona dañada, el área de reparación debe abarcar como mínimo el ancho de un carril en dirección transversal y no tener menor de 1,8m en el sentido longitudinal. Lo anterior, con el fin de recuperar las condiciones estructurales y funcionales del pavimento y, de esta manera, garantizar la transitabilidad cómoda y segura a los usuarios.

Este trabajo consiste en la demolición de la losa y el acarreo de material removido, el suministro, transporte, colocación y tendido de la mezcla asfáltica en todo el espesor, la colocación de barras de acero de amarre y de dovelas de transferencia de carga en los bordes de la zona por tratar, la reparación de la base o sub-base, aserrado y sello de las juntas, si corresponde, regulación del tránsito, así como control de calidad y limpieza final.

## Recalce localizado de losas

El objetivo de esta actividad es levantar las de concreto hidráulico a los niveles y pendientes originales, con el fin de recuperar el adecuado funcionamiento estructural y funcional del pavimento, de manera tal que permita garantizar la transitabilidad cómoda y segura a los usuarios.

Para justificar esta intervención debe darse un escalonamiento de severidad baja (menor a mm) y/o una pérdida de soporte de la base (vacíos debajo de las losas a 3mm)

Esta actividad comprende el suministro, acarreo, preparación, perforación, bombeo de lechada cementante y equipo necesario para levantar las losas de concreto a su nivel y pendiente original, o rellenar los vacíos entre el fondo de la losa de concreto existente, además de los controles de calidad durante todo el proceso constructivo.

## Conservación de vías lastradas

### Bacheo manual en rutas de lastre

Es esta actividad rutinaria que consiste en la reparación de la superficie compuesta por baches pozos e irregularidades en zonas puntuales por medio de bacheo con material de lastre (tajo, río o préstamo), en sectores localizados del camino que no presenten buenas condiciones de

transitabilidad. Esta actividad puede realizarse ya sea de forma manual o mecanizada, según el nivel de deterioro.

Esta actividad consiste en la remoción por bacheo manual del material existente en la zona deteriorada, para luego cortar, colocar y compactar el material de lastre nuevo.

## Reconformación de una ruta en lastre (bacheo mecanizado)

Es una actividad periódica que consiste en la reconformación de la capa existente de lastre para la nivelación y eliminación de las irregularidades de la superficie de ruedo, espaldones y cunetas, que afectan las condiciones de transitabilidad de la ruta de lastre.

Los parámetros que justifican este tipo de intervención son los siguientes:

- Sección transversal inadecuada con superficie nivelada, pero con pequeños pozos de agua.
- Corrugaciones menores a 2,5cm de profundidad.
- Roderas con depresiones menores a 2,5cm.
- Agregados gruesos sueltos en la superficie de ruedo y carencia de agregados en zonas de menos de 5 cm de profundidad.
- La fracción fina del material está dentro del rango indicado por las especificaciones.

## Reposición de lastre o colocación de sobre capa de lastre

Actividad periódica que consiste en la reparación de aquellos tramos donde haya pérdida de más de la mitad del espesor original de la capa de rodamiento, tramos con estado crítico de espesores deficientes o que presentan importantes problemas de corrugaciones o rodaderas.

Esta actividad abarca la extracción, suministro, acarreo de material de lastre, así como el reacondicionamiento de la superficie de rodadura, espaldones y cunetas. Además, incluye

la ejecución de los controles de calidad durante todo el proceso de construcción.

## **Conservación de estructuras mayores**

### **Limpieza manual de puentes**

El objetivo de esta actividad es que los puentes de concreto, de acero y de madera, estén libres de basuras, maleza, vegetación, materiales extraños y colonia de animales, tales como insectos, roedores, murciélagos, aves, moluscos, entre otros que puedan afectar la estructura, la seguridad y la comodidad de los usuarios.

Consiste en limpiar con herramientas manuales todos los elementos expuestos de la superestructura, subestructura y accesorios de los puentes, en especial la superficie de desgaste, aceras, pasarelas peatonales, barandas y los elementos de apoyo, contempla además la limpieza de los drenajes, bordillos y juntas de expansión del puente, además de vigas de cajón de acero y concreto.

### **Limpieza de superficies de puentes de concreto o acero con agua a presión**

En el caso de puentes de concreto, esta actividad consiste en la limpieza de la superficie expuesta de los puentes con agua a presión, hasta obtener una superficie sana y limpia. Por otro lado, en el caso de puentes de acero, consiste en la limpieza de la superficie expuesta de acero p de otro tipo de material que conforma el puente con agua a presión, además de la eliminación de todo óxido y mancha hasta obtener una superficie sana y limpia, incluyendo el uso de inhibidores de óxido para las superficies de acero.

Asimismo, en los puentes de concreto se debe aprovechar el proceso de limpieza para realizar una inspección detallada y el respectivo levantamiento de daños, tales como fisuras, grietas, y otros defectos similares.

## **Limpieza y sellado de grietas en elementos de concreto en puentes**

Esta actividad consiste en ejecutar la limpieza y la reparación de las grietas no estructurales en los elementos de concreto de puentes; con el fin de dejarlos en condiciones similares a la construcción original. Esta actividad se hará siempre y cuando las reparaciones sean puntuales o localizadas y no requieran una intervención a nivel estructural que, de ser así, se deberá atender por medio de una conservación periódica o una rehabilitación.

## **Remplazo de las juntas de expansión de puentes**

Esta actividad comprende el retiro de todo el pavimento y el concreto deteriorado en la zona de las juntas de expansión, remoción de la junta existente, la reposición de los bordes deteriorados de la losa de concreto adyacentes a la junta de expansión, la instalación de las nuevas juntas de expansión, el suministro, el acarreo y colocación de acero estructural, acero de refuerzo, material adhesivo, entre otros.

Se ejecuta esta actividad periódicamente a partir de la observación de su condición defectuosa y del deterioro que amenace con ocasionar daños mayores en la estructura y afectar la normal circulación vehicular, se planifica para efectuarse con cierres a tránsito por la noche.

## **Mantenimiento o remplazo de dispositivos de apoyo de puentes**

La finalidad de esta actividad es colocar nuevos dispositivos de apoyo reemplazando los existentes preservando el comportamiento estructural del puente y evitando que se produzcan daños mayores. El remplazo de dispositivos de apoyo es una actividad necesaria para evitar el riesgo de la estructura y de los usuarios, debido al deterioro presentado por los apoyos debido al interperismo o eventos sísmicos.

Esta actividad consiste en proveer la plataforma de trabajo, efectuar la limpieza, apoyar provisionalmente sobre gatos hidráulicos la superestructura y el retiro de los apoyos existentes, preparar las bases, suplir y colocar los dispositivos de apoyo nuevos.

El criterio para definir si se debe hacer un mantenimiento del apoyo o la sustitución del mismo se basará en inspeccionar si el apoyo permite los movimientos para los que fue concebido (rotación, traslación, ambas o ninguna). Si el apoyo no permite los desplazamientos para los que fue diseñado debe ser reemplazado.

## **Reparación de puentes de acero mediante reposición o adición de elementos de acero**

Esta actividad consiste en ejecutar los trabajos necesarios para la fabricación, el suministrar, acarreo y erección de acero estructural nuevos para la sustitución parcial o total de los elementos de acero deteriorados en puentes metálicos. Esta actividad se realiza para aquellos elementos que presenten deterioros como pandeos, corrosión, fatiga, entre otros. El fin de esta actividad es mantener el comportamiento estructural de los puentes y, evitar que se produzcan daños mayores en sus elementos y garantizar el tránsito y la seguridad de los usuarios.

## **Restitución del contacto suelo-cimentación en puentes**

Esta actividad consiste en restituir el contacto de la cimentación del puente con el suelo, con relleno de concreto ciclópeo agregado grueso, sacos de suelo-cemento y mortero que permita rellenar la cavidad existente debajo de la placa de fundación de la pila o del bastión afectado por socavación. Esta actividad se debe realizar como parte del mantenimiento periódico del puente y lo más pronto posible cuando los daños por socavación sean severos y amenacen con la caída del puente.

Esta actividad incluye la delimitación del sitio de trabajo, la excavación, el encofrado, la colocación de material de relleno (concreto ciclópeo, agregado grueso o sacos de suelo-cemento) para formar la restitución del contacto suelo-cemento, así como los controles de calidad durante todo el proceso de construcción.

## **Conservación de seguridad vial**

### **Conservación de señales verticales y elevadas**

Esta actividad consiste en limpiar, reparar, suministrar e instalar las señales verticales identificadas, así como remover los desechos producto de la limpieza, con el fin de que se permita apreciar con suficiente antelación y claridad el señalamiento vertical. Se debe inspeccionar permanentemente las señales para verificar su estado y periódicamente hacer su limpieza o reparación parcial de sus elementos deteriorados o su instalación nueva.

### **Conservación de señales verticales y elevadas**

Esta actividad consiste en mantener limpios, visibles y en buen estado los sistemas de contención que fueron instalados en sitios críticos para proveer seguridad vial. Adicionalmente, en caso que sea requerido, esta actividad incluye realizar todos los trabajos necesarios para reparar o instalar sistemas de contención nuevos, ya sea en lugares donde previamente no existía un elemento de este tipo o para reemplazar completamente una barrera destruida o colisionada.

Se deberá inspeccionar periódicamente el estado y la condición de los sistemas de contención y repararlos o reponerlos, de forma inmediata a partir de la identificación de su condición defectuosa.

### **Mantenimiento de la demarcación vial horizontal**

Esta actividad consiste en la conservación de la demarcación vial horizontal que se coloque sobre el pavimento flexible o sobre el pavimento rígido; manteniendo limpia la superficie de rodamiento, de forma que se garantice la visibilidad de la demarcación vial horizontal y un adecuado nivel de retro-reflectividad.

El trabajo de mantenimiento también incluye volver a demarcar cuando la demarcación

vial pierde retro-reflectividad. Se debe inspeccionar periódicamente el estado y la condición de la demarcación vial horizontal, de modo que las marcas se mantengan en un nivel mínimo de retro-reflectividad y que sean sustituidas una vez que se hagan reparaciones en la calzada que hayan afectado su funcionamiento.

## Reemplazo o instalación de delineadores

Esta actividad consiste en el suministro y colocación de elementos delineadores, sea por reemplazo o instalación, con el fin de remarcar o delinear segmentos del camino que por su peligrosidad o condiciones de diseño o visibilidad requieran ser resaltados para advertir al usuario de su presencia. Los parámetros que justifican este tipo de intervención son los siguientes:

- Poste doblado, cortado o cualquier otro daño severo que altere su finalidad.
- Pérdida de retro-reflexión de las láminas o de las cintas, según el tipo de delineador.
- Ausencia de postes en sitios donde de acuerdo con estudios realizados por profesionales en seguridad vial, se requieran.
- Vandalismo que roba o daña los delineadores.

## Reparación, Instalación o demolición de reductores de velocidad

Esta actividad consiste en la reparación, suministro y colocación de elementos físicos sobre la calzada, ya sea que obliguen o que inciten a los conductores a disminuir la velocidad de circulación en un tramo de la vía.

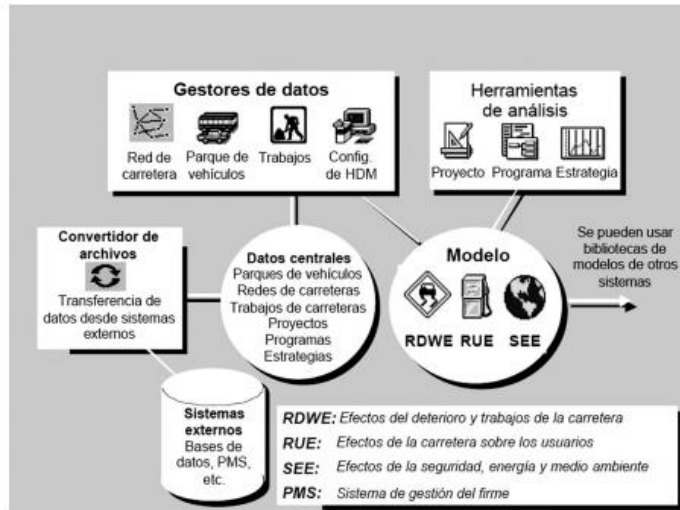
En general se utilizan como medidas operacionales para disminuir posibles conflictos de tránsito existentes en determinados sitios como el cruce de la carretera por sitios poblados, en zonas urbanas con presencia de peatones que cruzan la vía, en zonas escolares y en la llegada a estaciones de peaje y pesaje, entre otras.

Los parámetros para justificar este tipo de intervención son los siguientes:

- Pérdida o ausencia de pintura.
- Deterioro, ondulamiento y agrietamiento.

- Ausencia de reductores de velocidad en sitios donde, de acuerdo con estudios realizados por profesionales en seguridad vial, se requieran.
- Reubicación por no estar de conformidad con los estudios y el reglamento vigente.
- Pérdida de funcionalidad.
- Exposición de refuerzo de acero en reductores de concreto, en cuyo caso se debe sustituir por otro sin refuerzo.
- Vandalismo que provoca daños al reductor.

# Modelo HDM-4



**Figura 38.** Estructura del Modelo HDM-4.  
**Fuente:** Pradena, M., & Posada, J., 2007.

El análisis de inversiones en carreteras requiere determinar los costos y beneficios en el ciclo de vida del camino para lo cual es necesario modelar el comportamiento del pavimento tomando en cuenta la relación existente entre la calidad de rodadura y los costos de los usuarios, los costos de conservación, construcción, y el valor residual de la vía. Los modelos HDM permiten realizar lo anterior y se han utilizado ampliamente en diversos países. (Pradena, M., & Posada, J.; 2007)

El modelo HDM (Highway Development and Management) nace en 1968 impulsado por el Banco Mundial y apoyado a lo largo de los años por una serie de instituciones entre las que destacan el Massachusetts Institute of Technologies (MIT), el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) y la Universidad de Birmingham. (Crespo, R., & Yarza, P.; s.f.)

El marco analítico de HDM-4 se basa en el concepto del análisis del ciclo de vida de un camino. Es decir, HDM-4 simula las condiciones del camino durante el ciclo de vida y los costos asociados a tales condiciones (básicamente costos de construcción, conservación y usuarios) para un período de análisis dentro de un escenario de circunstancias especificado por el usuario del

software, este período suele ser de 15 a 30 años. (Pradena, M., & Posada, J.; 2007)

De acuerdo a Pradena, M., & Posada, J. (2007) este modelo es capaz de predecir las cargas de tráfico, los efectos de las obras de mantenimiento, el deterioro del pavimento, los efectos para usuarios del camino, y los efectos socioeconómicos y medioambientales.

Como consecuencia de lo anterior los costos de conservación y los costos de los usuarios (básicamente operación de vehículos y tiempo de viaje) dependerán de los estándares de conservación aplicados. Los beneficios económicos de las inversiones en carreteras se determinan luego comparando los flujos totales de costos para las distintas alternativas de construcción y mantenimiento con una situación base o sin proyecto que normalmente representa el estándar mínimo de conservación rutinario. (Pradena, M., & Posada, J.; 2007)

El análisis del coste global de cada alternativa se obtiene considerando por un lado los costes de la administración de carreteras (costes de construcción y de conservación) y por otro los costes de los usuarios (coste de operación de los vehículos, costes del tiempo, coste de los accidentes). (Crespo, R., & Yarza, P.; s.f.)

La bondad de los proyectos se determina por medio de indicadores económicos, en

particular del cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). (Pradena, M., & Posada, J.; 2007)

De acuerdo con Crespo, R., & Yarza, P. El sistema HDM-4 se basa fundamentalmente en los siguientes modelos internos:

- Deterioro de la carretera (RD-Road Deterioration): Este modelo prevé cuál va a ser el deterioro del firme, en función del tráfico y del estado actual.
- Efectos de las obras (WE-Work Effects): Este modelo simula los efectos de las obras en el estado del firme y determina los costes correspondientes.
- Efectos para los usuarios (RUE-Road User Effects): Mediante este modelo se determinan los costes de operación de los vehículos, accidentes y tiempo de viaje.
- Efectos sociales y medioambientales. (SEE-Social and Environment Effects): Determina los efectos de las emisiones de los vehículos y el consumo de energía.

# Metodología

## Medición Vehicular

Primeramente, se determina la capacidad vehicular que tiene el camino en la actualidad; esto se logra mediante mediciones de los tipos de vehículos que transitan por el camino, los cuales pueden clasificarse en: Livianos, Bus, CL, C2, C3, T3-S2, entre otros. Los conteos de flujo vehicular se realizaron de forma visual; es decir, sin la utilización de contadores vehiculares ni ningún otro instrumento similar; durante tres días por Eduardo Delgado Brenes, Kevin Montiel Roque y mi persona, durante el horario de 7am a 5pm, esto, con el fin de obtener el tránsito en dicho período de tiempo.

Ya que las mediciones de tránsito se toman en un lapso de tiempo del día (7:00-17:00) es necesario amplificar el tránsito para obtener el tránsito diario, para esto es necesario conocer el porcentaje aproximado de vehículos diarios que circulan en ese período de tiempo.

El Cuadro 3 presenta datos obtenidos del Anuario de Tránsito del MOPT 2013, en dicho cuadro se presenta los porcentajes de vehículos promedio anual que transitan por cada hora del día en la estación permanente de Turrialba, Juan Viñas. Ésta fue elegida por el motivo que es la estación de tránsito permanente más cercana al camino Guayabal-Guatuso

| Cuadro 3. Porcentaje Horario Vehicular |      |             |
|----------------------------------------|------|-------------|
| Estación                               |      | Juan Viñas  |
| Período                                |      | % Vehicular |
| 0:00                                   | 1:00 | 0,68%       |
| 1:00                                   | 2:00 | 0,51%       |
| 2:00                                   | 3:00 | 0,45%       |
| 3:00                                   | 4:00 | 0,66%       |
| 4:00                                   | 5:00 | 1,66%       |
| 5:00                                   | 6:00 | 3,84%       |
| 6:00                                   | 7:00 | 5,40%       |
| 7:00                                   | 8:00 | 5,62%       |

|       |       |         |
|-------|-------|---------|
| 8:00  | 9:00  | 5,42%   |
| 9:00  | 10:00 | 5,38%   |
| 10:00 | 11:00 | 5,37%   |
| 11:00 | 12:00 | 5,49%   |
| 12:00 | 13:00 | 5,58%   |
| 13:00 | 14:00 | 5,86%   |
| 14:00 | 15:00 | 6,27%   |
| 15:00 | 16:00 | 6,59%   |
| 16:00 | 17:00 | 6,85%   |
| 17:00 | 18:00 | 6,84%   |
| 18:00 | 19:00 | 6,10%   |
| 19:00 | 20:00 | 5,08%   |
| 20:00 | 21:00 | 3,87%   |
| 21:00 | 22:00 | 3,13%   |
| 22:00 | 23:00 | 2,15%   |
| 23:00 | 0:00  | 1,20%   |
| TOTAL |       | 100,00% |

Fuente: MOPT, 2013.

Posteriormente se debe hacer una conversión de Tránsito Promedio Diario a Ejes Equivalentes Diarios, mediante la aplicación del Factor Camión para cada tipo de vehículo, y luego se obtienen los Ejes Equivalentes del primer año multiplicándolos por 365 días.

Los ejes equivalentes generalmente se incrementan debido al aumento del tránsito a lo largo de los años; por lo tanto, es necesario obtener el porcentaje de crecimiento anual, con el fin de obtener los ejes equivalentes al final del período de diseño. Según el Anuario de Tránsito (2013) el porcentaje de crecimiento para vías terciarias pavimentadas y en estado de lastre es de un 4,78%; por lo tanto, se utiliza este porcentaje para incrementar el tránsito anualmente.

Posteriormente se obtiene el factor de crecimiento a partir del porcentaje de crecimiento anual, mediante la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{(1 + g)^n + 1}{g}, \text{Ecuación 1}$$

Donde:

FC=Factor de Crecimiento.

g=Porcentaje de Crecimiento Anual.

n=Período de diseño del pavimento (años).

Por medio de dicho factor se proyectan a futuro los ejes equivalentes del primer año y se obtienen los ejes equivalentes de diseño

Se elabora una proyección de los ejes equivalentes anuales a ejes equivalentes de diseño, esto se logrará mediante la aplicación de factores de crecimiento.

Finalmente, a los ejes equivalentes de diseño se les aplica el factor carril y el factor sentido con el fin de obtener los Ejes Equivalentes del Carril de Diseño.

## Diseño del pavimento

Para generar los diseños es necesario tener los insumos requeridos; todos los insumos a excepción de los ejes equivalentes son brindados por el MOPT.

Los insumos requeridos para el diseño de pavimento son los siguientes: ejes equivalentes, confiabilidad R, estadístico Z, desviación estándar, PSI inicial, PSI terminal,  $\Delta$ PSI, módulo resiliente o elástico, módulo de reacción k, coeficiente de drenaje, coeficiente estructural, CBR, módulo de elasticidad y módulo de ruptura del concreto, coeficiente de transmisión J.

Al poseer los insumos requeridos se procede al diseño de los pavimentos, ambos pavimentos se diseñan de acuerdo con la metodología AASHTO 1993

## Pavimento Flexible

En el caso del pavimento flexible, primeramente, se deben obtener los módulos resilientes de las capas que conforman el pavimento como lo son: la carpeta asfáltica, la base, y la sub-base; además, es necesario obtener el módulo resiliente de la sub-rasante; es muy importante considerar las características mecánicas de la sub-rasante como capacidad soportante, tipo de suelo, plasticidad, hinchamiento, entre otros.

Los módulos resilientes de las capas pueden obtenerse directamente del laboratorio o mediante correlaciones con otros parámetros como, por ejemplo, CBR, R-Value, Triaxial, etc., obtenidos a partir de gráficos que proporciona AASHTO (1993).

Para efectos de este proyecto es importante mencionar que Nichols (2015) proporciona tablas con los valores tabulados de los gráficos de AASHTO (2006) antes mencionados, los cuales se muestran en el Anexo 3; por lo tanto, a partir de estos valores tabulados se obtienen ecuaciones de mejor ajuste del comportamiento de dichos valores, la obtención de estas ecuaciones se muestra en el Apéndice 1.

De acuerdo con la especificación CR-2010, el CBR mínimo para las bases es de 80% mientras que las sub-bases deben tener un mínimo de 30%; mismos que se asumen para este proyecto.

Según AASHTO (1993), el módulo resiliente de la sub-rasante para CBR menores a 10% está definido por la Ecuación 2, para CBR mayores a 10% se definirá el módulo de acuerdo con la ecuación de mejor ajuste que se propone en la Figura 90 del Apéndice, y se aprecia en la Ecuación 3.

$$MR_4 = 1500 * CBR; \text{ Si } CBR < 10\%; \text{ Ecuación 2}$$

$$MR_4 = 1917,2 * CBR^{0,6846}; \text{ Si } CBR > 10\%; \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

$MR_4$ =Módulo Resiliente de la subrasante (psi)

CBR=Índice de Soporte California

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9,36 * \log_{10}(SN_i + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{[SN_i + 1]^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10} M_R - 8,07$$

*Ecuación 4*

Posteriormente, se obtienen los coeficientes de drenaje, para cada una de las capas, a partir del *Cuadro 143* del *Anexo 3*, dicho coeficiente es en función de la calidad de drenaje de la capa y del porcentaje de tiempo en el cual la capa se encuentra en estado de saturación. Para efectos de este proyecto se considera más del 25% en estado de saturación y drenaje aceptable para todas las capas.

Se establece el índice de servicio inicial  $PSI_{inicial}$ ; este valor para pavimentos flexibles es de 4,2; a pesar de que la ruta es cantonal se toman los datos de ruta terciaria de la directriz DVOP-5070-07, que se muestra en el *Cuadro 146* del *Anexo 3*; ya que, posee un TPD menor a 500 de acuerdo con dicho cuadro; el Índice de servicio terminal  $PSI_{terminal}$  y el Nivel de confianza R, tienen un valor de 2 y 70%, respectivamente

Luego se obtiene el estadístico z a partir del nivel de confianza R mediante el *Cuadro 148* del *Anexo 3*; y la desviación estándar  $S_o$  mediante el *Cuadro 147*; la cual, para pavimentos flexibles es de aproximadamente 0,45.

Se obtienen los números estructurales (SN) de cada capa del pavimento mediante nomogramas o mediante la *Ecuación 4* que brinda AASHTO (1993).

Donde:

$W_{18}$ =Ejes equivalentes del carril de diseño.

$Z_R$ = Estadístico normal z.

$S_o$ =Desviación Estándar.

$SN_i$ =Número estructural de la capa (in).

$\Delta PSI$ = Diferencia entre el  $PSI_{inicial}$  y el  $PSI_{terminal}$ .

$M_R$ =Módulo de Resiliencia de la capa inferior a la capa de estudio (psi).

Al obtener el SN de cada capa se aplica la ecuación del número estructural, la cual contempla que el número estructural es directamente proporcional al coeficiente estructural, coeficiente de drenaje y espesor de la capa.

$$\begin{aligned} SN_1 &= a_1 * H_1 \\ SN_2 &= SN_1 + a_2 * Cm_2 * H_2 \\ SN_3 &= SN_2 + a_3 * Cm_3 * H_3 * Cm_3 * H_3 \end{aligned}$$

*Ecuación 5*

Donde:

$SN_i$ =Número estructural de la capa (in).

$a_i$ =Coeficiente estructural de la capa.

$Cm_i$ =Coeficiente de drenaje para pavimento flexible.

$H_i$ =Espesor de la capa (in).

Por lo tanto, mediante el despeje se pueden obtener los espesores de capa mediante la *Ecuación 6*.

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{SN_1}{a_1} \\ H_2 &= \frac{SN_2 - a_1 * Cm_1 * H_1'}{a_2 * Cm_2} \\ H_3 &= \frac{SN_3 - a_2 * Cm_2 * H_2' - a_1 * Cm_1 * H_1'}{a_3 * Cm_3} \end{aligned}$$

*Ecuación 6*

Donde:

$SN_i$ =Número estructural calculado (in).

$H_i$ =Espesor de la capa calculado (in).

$H_i'$ =Espesor de la capa real a colocar (in).

Como se aprecia en la *Ecuación 6*, la ecuación brinda un espesor necesario de carpeta ( $H_1$ ), para el cálculo del siguiente espesor ( $H_2$ ), no necesariamente se debe utilizar el espesor de la carpeta que generó la ecuación, sino que es posible usar un espesor de carpeta ( $H_1'$ ) que sea de mayor conveniencia para efectos constructivos. Por lo tanto, para el cálculo del espesor de base ( $H_2$ ), se utiliza el espesor real a colocar de la carpeta ( $H_1'$ ) y no el espesor de carpeta calculado ( $H_1$ ), ya que el  $H_i$  calculado es apenas una

referencia para el diseñador. Lo anterior se aplica para el cálculo del espesor de la sub-base ( $H_3$ ).

Posteriormente se deben verificar las deformaciones unitarias de la estructura del pavimento propuesta. Principalmente se debe comprobar que los ejes equivalentes de diseño no sobrepasen los ejes equivalentes correlacionados a las deformaciones de la falla por fatiga de la carpeta, ni los que provoquen la falla por deformación plástica de la sub-rasante.

Por lo tanto, se recurre a un programa de análisis de esfuerzos y deformaciones llamado 3D-Move Analysis, versión 2.1, mediante el cual se introducen los insumos del pavimento, como lo son espesores de capa, módulos de resiliencia, módulos de Poisson, los cuales se muestran en el Cuadro 4 y se procede a realizar un análisis estático.

| Cuadro 4. Módulos de Poisson de diferentes tipos de materiales de pavimento |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Material                                                                    | Módulo de Poisson $\mu$ |
| Concreto Hidráulico                                                         | 0,15                    |
| Estabilización con Cal                                                      | 0,20                    |
| Base Estabilizada con cemento                                               | 0,25                    |
| Concreto Asfáltico                                                          | 0,35                    |
| Sub-bases y bases granulares                                                | 0,40                    |
| Sub-rasantes                                                                | 0,45                    |

Fuente: Huang, 2004.

Es de gran importancia mencionar que en la sección del programa llamado "Axle Configuration" se selecciona la opción B; además se utiliza como referencia el eje equivalente ya que este ha sido el tipo de eje que se utiliza para el diseño de los espesores; como el peso de un eje equivalente es de 18 000 libras, en el parámetro de Tire Load se coloca 9000 libras, el cual es el peso de una llanta de un eje equivalente simple. En el parámetro de Tire Pressure se coloca 120psi, ya que éste es la máxima presión de una llanta según Dirección General De Educación Vial (2015). En los parámetros de L1, L2 y S1 se mantienen con un valor de en cero, ya que sólo se analiza una llanta.

Luego se elige la localización de los puntos de estudio para la obtención de las deformaciones. Los puntos de estudio más importantes son: un punto en la fibra inferior de

carpeta a una profundidad  $z$  de  $H_{\text{carpeta}} - 0,001$ ; y un segundo punto en la fibra superior de la sub-rasante a una profundidad  $z$  de  $H_{\text{carpeta}} + H_{\text{base}} + H_{\text{sub-base}} + 0,001$ . Dichos puntos tienen como coordenadas eje X y en el eje Y, " $X_c$ " y " $Y_c$ " respectivamente; ya que, se considera que la carga se aplica en el centroide de la llanta.

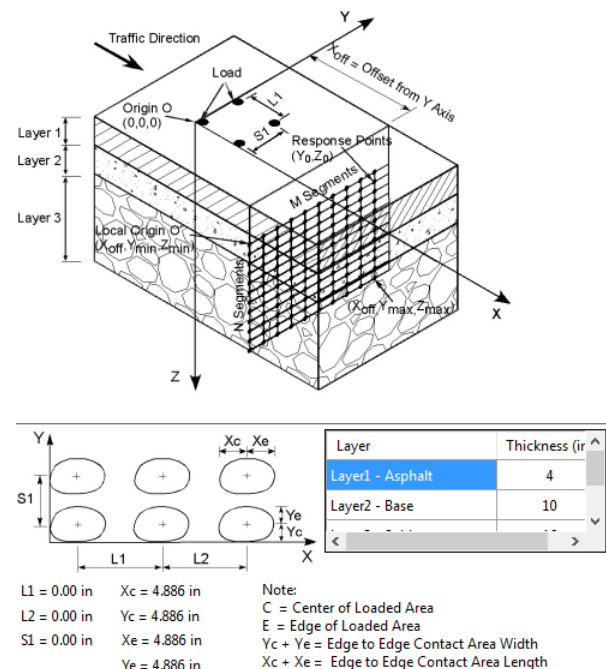


Figura 39. Esquema de ejemplo de la ubicación cartesiana de los puntos.

Fuente: Programa 3D-Move Analysis.

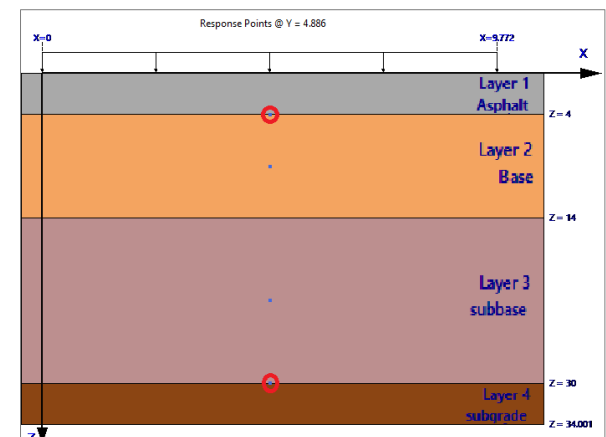


Figura 40. Esquema de ejemplo de la ubicación en el eje  $z$  de los puntos de estudio.

Fuente: Programa 3D-Move Analysis.

Posteriormente se corre el análisis; luego en la sección de resultados se selecciona el parámetro Tabular Mode – (Excel Files) para obtener los resultados en una hoja de Excel; en la pestaña de Normal Strain (Deformaciones Normales) se encuentran las deformaciones en unidades micro. Se seleccionan las deformaciones en el eje X y en el eje Y del punto de la carpeta y se elige la mayor en términos absolutos, ya que éste será el esfuerzo radial en la carpeta “ $\epsilon_t$ ,” además de la deformación en el eje Z del punto ubicado en la sub-rasante ya que esta será la deformación “ $\epsilon_{vs}$ ”.

A partir de la deformación “ $\epsilon_t$ ” se obtiene, mediante una ecuación de predicción, la cantidad de ejes equivalentes que ocasionarán la falla por fatiga de la sub-rasante, Huang (2004) propone las ecuaciones de PDMAP con un 10% y un 45% de agrietamiento las cual se muestran a continuación.

$$\begin{aligned}\log EEq_{fatiga}(10\%) \\ &= 15,947 - 3,291 \\ &\quad * \log(\epsilon_t) - 0.854 * \log(E_1) \\ &\text{Ecuación 7}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log EEq_{fatiga}(45\%) \\ &= 16,086 - 3,291 \\ &\quad * \log(\epsilon_t) - 0.854 * \log(E_1) \\ &\text{Ecuación 8}\end{aligned}$$

Donde:

$EEq_{fatiga}$ =Cantidad de repeticiones de ejes equivalentes que ocasionan la falla por fatiga del pavimento.

$\epsilon_t$ =Deformación unitaria horizontal de la fibra inferior de la carpeta (in/in  $\times 10^{-6}$ ).

$E_1$ =Módulo elástico de la carpeta (ksi)

Mediante la deformación “ $\epsilon_{vs}$ ” se obtiene la cantidad de ejes equivalentes que provocan la falla por deformación plástica del pavimento según Asphalt Institute (1982). La ecuación está dada por:

$$\begin{aligned}EEq_{def.plástica} &= 1,365 \times 10^{-9} * (\epsilon_{vs})^{-4.477} \\ &\text{Ecuación 9}\end{aligned}$$

Donde:

$EEq_{def. plástica}$ =Cantidad de repeticiones de ejes equivalentes que ocasionan la falla por deformación plástica del pavimento.

$\epsilon_{vs}$ =Deformación unitaria vertical de la fibra superior de la sub-rasante (in/in).

$$\begin{aligned}\ln k_{\infty} &= -2,807 + 0,1253 * [\ln D_{SB}]^2 + 1,062 * \ln M_R + 1,1282 * \ln D_{SB} * \ln E_{SB} - 0,4114 * \ln D_{SB} - 0,0581 \\ &\quad * \ln E_{SB} - 0,1317 * \ln D_{SB} * \ln M_R \\ &\text{Ecuación 12}\end{aligned}$$

Finalmente se toma el menor entre  $EEq_{fatiga}$  y  $EEq_{def. plástica}$ , ya que dicho valor será la cantidad de ejes equivalentes requeridos que ocasionan la falla del pavimento; por lo tanto, los ejes equivalentes de diseño no deben sobrepasar a los ejes equivalentes requeridos.

## Pavimento Rígido

El diseño del pavimento rígido difiere del flexible en que no es necesario obtener números estructurales SN para obtener espesores, sino, que se somete a un proceso iterativo, ya que se supone un espesor de losa y, mediante nomogramas o ecuaciones, se obtiene otro espesor de losa el cual debe ser igual al que se supuso; en caso de que no sea así, se continua con el proceso iterativo hasta que haya convergencia.

Es primordial obtener los insumos necesarios, primeramente, se supone un módulo de ruptura del concreto de la losa de  $45 \text{ kg/cm}^2$ , con lo cual se obtiene el Módulo de Elasticidad del concreto  $E_c$ , mediante la Ecuación 10 y Ecuación 11; ambas ecuaciones definidas por AASHTO (1993).

$$S'c = C * (f'c)^{0.5}, \text{Ecuación 10}$$

$$E_c = 57000 * (f'c)^{0.5}, \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$E_c$ =Módulo de elasticidad del concreto (psi).

$S'c$ =Módulo de Ruptura del concreto (psi).

$f'c$ =Resistencia a la compresión a los 28 días.

$C$ =Valor que se encuentra en un rango entre 8 y 10.

Posteriormente se determina el módulo de reacción  $k$ , para esto se supone que la losa de concreto se coloca directamente sobre la sub-base. Por lo tanto, según FHWA (2006) el módulo de reacción  $k$ , está definida por la Ecuación 12.

Donde:

$K_{\infty}$ =Módulo de reacción compuesto asumiendo subrasante semi-infinita (pci).

$D_{SB}$ =Espesor de la sub-base (in).

$E_{SB}$ =Módulo Resiliente de la Sub-base (psi).

$M_R$ =Módulo Resiliente de la Subrasante (psi)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 7,35 * \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 * p_t) * \log_{10} \left[ \frac{S'_c * C_d * [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J * \left[ D^{0,75} - \frac{18,42}{\left( \frac{E_c}{k} \right)^{0,25}} \right]} \right]$$

Ecuación 13

Luego el módulo de reacción k debe ser modificado por pérdida de capacidad de soporte; se define un factor de pérdida de soporte LS; según AASHTO (1993) éste factor está relacionado con el tipo de capa inferior a la losa de concreto y es definido mediante el *Cuadro 151 del Anexo 4*; para efectos de este proyecto se utiliza un LS de 3 para material de sub-rasante. Para obtener el módulo de reacción k modificado por LS se utiliza la ecuación de mejor ajuste de acuerdo al LS de la *Figura 91 del Apéndice 2*.

El diseño de los pavimentos rígidos también está regido por un coeficiente de drenaje para la capa inferior a la losa llamado  $C_D$ , dicho coeficiente se obtiene a partir del *Cuadro 153 del Anexo 4*. Se considera, al igual que en el pavimento flexible, 25% o más de exposición a la saturación y drenaje aceptable.

De forma similar al pavimento flexible se define el nivel de confianza R, estadístico z y desviación estándar. En el caso de pavimentos rígidos, la desviación estándar es generalmente de 0,35.

Luego se define el  $PSI_{inicial}$ , que para pavimentos rígidos es de 4,5, mientras que los valores de  $PSI_{terminal}$  y nivel de confianza R se mantienen con respecto al flexible; 2 y 70% respectivamente.

Se define el tipo de pavimento rígido (JPCP), el tipo de espaldón (concreto) y la existencia de dispositivos de transmisión de carga hacia los espaldones que para este proyecto no es aplicable, a partir de estos parámetros se accede al *Cuadro 154, Anexo 4*; para definir el coeficiente de transmisión de carga J.

Finalmente se procede a un proceso iterativo mediante la *Ecuación 13*, con el fin de obtener el espesor de losa D.

Donde:

$W_{18}$ =Ejes equivalentes del carril de diseño.

$Z_R$ = Estadístico normal z.

$S_0$ =Desviación Estándar.

D=Espesor de la losa de concreto.

$\Delta PSI$ =Diferencia entre el  $PSI_{inicial}$  y el  $PSI_{terminal}$ .

$p_t$ = Este es el  $PSI_{terminal}$ .

$S'_c$ =Módulo de ruptura del concreto de losa (psi).

$C_D$ =Coeficiente de drenaje de pavimento rígido.

$E_c$ =Módulo de Elasticidad del concreto de losa (psi).

K=Módulo de reacción de la sub-rasante.

Los pavimentos rígidos en este proyecto estarán compuestos por juntas longitudinales con varillas de amarre y juntas transversales con dovelas.

Se diseña la separación de las juntas transversales y longitudinales del pavimento rígido siguiendo las recomendaciones de la metodología AASHTO. El ancho de la losa será el equivalente a la separación de las juntas longitudinales, mientras que el largo de la losa será la separación entre juntas transversales.

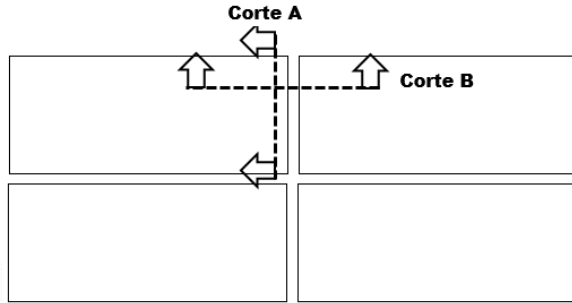
El ancho de la losa también llamado separación entre juntas longitudinales, deberá ser el ancho de un carril, el cual fluctúa entre 5,00m y 7,80m como se muestra en el *Anexo 1*. Mientras que el largo de las losas, también llamada separación entre juntas transversales, se rige por el valor menor del siguiente criterio:

- 18 a 21 veces el espesor de losa.
- 2 veces el espesor de losa en pulgadas (ejemplo: espesor de losa=8in; largo de losa=16ft).
- Relación ancho/longitud máxima de 1,25.
- 5 veces la relación de rigidez relativa.

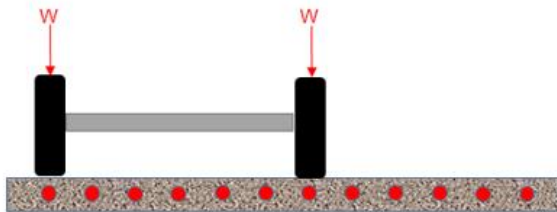
Además, la profundidad de la junta transversal es una cuarta parte del espesor de losa, mientras que la profundidad de la junta longitudinal es un tercio del espesor de losa.

Finalmente se diseña el acero de las dovelas considerando un eje equivalente de 18 000 libras; como se muestra en la *Figura 42*, cada

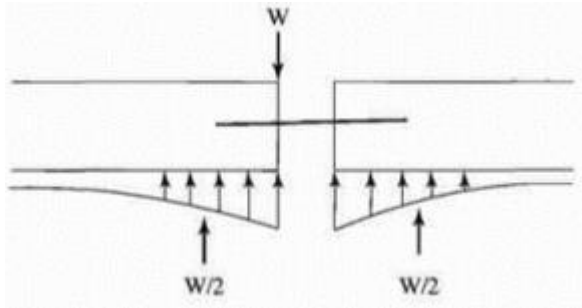
llanta del eje equivalente tiene un peso de “w”; el cual, es de 9000 lb; de acuerdo con la *Figura 43*, cuando se aplica la carga w, cada borde de losa conectada por medio de dovela, reacciona con w/2 para contrarrestar dicha carga. Cada dovela recibe una porción de la carga w/2; a esta porción se le conoce como contribución relativa.



**Figura 41.** Esquema de vista en planta de los Cortes A y B.



**Figura 42.** Esquema Corte A.



**Figura 43.** Esquema de Corte B.  
**Fuente:** Huang (2004).

Para lograr lo anteriormente mencionado es importante obtener la contribución relativa de cada dovela.

$$RC_i = \frac{1}{1,8l} * (1,8l - |x|), \text{Ecuación 14}$$

Donde:

RC<sub>i</sub>=Contribución relativa de la dovela.  
L=Razón de rigidez relativa (in).  
X=Distancia desde la primera dovela hasta la dovela de estudio (in).

La razón de rigidez relativa viene dada por la ecuación de Huang (2004) que se presenta a continuación:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c * [H_{losa}]^3}{12 * (1 - \mu^2) * k}}, \text{Ecuación 15}$$

Donde:

L=Razón de Rigidez Relativa (in).  
E<sub>c</sub>=Módulo de Elasticidad del concreto (psi).  
H<sub>losa</sub>=Espesor de la losa de concreto (in).  
μ=Módulo de Poisson del concreto.  
K=Módulo de reacción de la capa inferior a la losa de concreto (pci).

Luego mediante la contribución relativa es posible conocer la carga que es soportada por cada dovela de la siguiente manera:

$$Pd_i = P_{w/2} * \frac{RC_i}{\sum RC_i}, \text{Ecuación 16}$$

Donde:

P<sub>di</sub>= Carga en la dovela debida a la carga de las llantas (lb).  
P<sub>w/2</sub>= Mitad de la carga de una llanta de eje equivalente (lb).  
RC<sub>i</sub>=Contribución relativa de la dovela.  
ΣRC<sub>i</sub>=Sumatoria de las contribuciones relativas de las dovelas.

Se debe tener en cuenta que en el caso de que alguna dovela contribuya para las dos llantas del eje equivalente, dichas contribuciones deben ser sumadas, ya que, ambas son soportadas por la dovela.

Posteriormente se deben calcular los esfuerzos debidos a las cargas soportadas por cada dovela; según Huang (2004) el esfuerzo por dovela esta dado de la siguiente forma:

$$\sigma_b = \frac{K_d * Pd_i}{4 * \beta^3 * E * I} * [2 + \beta * z], \text{Ecuación 17}$$

Donde:

σ<sub>b</sub>=Esfuerzo soportado por dovela (psi).  
K<sub>d</sub>=Módulo de Interacción concreto-dovela (pci), 300 000 pci para pavimentos nuevos, 700 000 pci para pavimentos viejos.  
P<sub>di</sub>= Carga en la dovela debida a la carga de las llantas (lb).  
E=Módulo de Elasticidad del acero de dovela (psi).  
I=Momento de Inercia de la dovela (in<sup>4</sup>).

Z=Ancho del sello de la junta (in).

Mientras que  $\beta$  ésta dada de la siguiente manera:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_d * b}{4 * E * I}} \text{ Ecuación 18}$$

Donde:

$K_d$ =Módulo de Interacción concreto-dovela (pci)

b=diámetro de la dovela (in).

E=Módulo de Elasticidad del acero de dovela (psi).

I=Momento de Inercia de la dovela (in<sup>4</sup>).

Finalmente se debe calcular la capacidad resistente de la dovela con el fin de que el esfuerzo soportado por la dovela no sobrepase el esfuerzo resistente.

$$f_b = \left[ \frac{4 - b}{3} \right] * f'_c; \text{ Ecuación 19}$$

Donde:

$f_b$ =Esfuerzo resistente de la dovela (psi).

$f'_c$ =Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días (psi).

b=diámetro de la dovela (in).

Después de encontrar las propiedades de las dovelas es necesario calcular las características del acero de amarre de las juntas longitudinales; como lo es el calibre; longitud de la varilla y el espaciamiento entre estas. De acuerdo con Huang (2004), el área de acero requerida para acero de amarre está dada por la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{\gamma_c * h * L' * f_a}{f_s}, \text{ Ecuación 20}$$

Donde:

$A_s$ =Área de acero requerida in<sup>2</sup>/in.

h=Espesor de la losa de concreto (in).

$L'$ =Distancia de la junta longitudinal hasta la esquina libre (in).

$f_a$ =Factor de fricción de la losa.

$f_s$ =Esfuerzo de tensión permisible en el acero (psi).

Luego se selecciona el calibre de la varilla y se obtiene el área de ésta; con el fin de calcular el espaciamiento entre varillas de amarre, mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{A_{varilla}}{A_s}, \text{ Ecuación 21}$$

Donde:

S=Separación entre las varillas de amarre (in).

$A_{varilla}$ =Área transversal del acero de la varilla (in<sup>2</sup>).

$A_s$ = Área de acero requerida (in<sup>2</sup>/in).

Finalmente, como menciona Huang (2004), se calcula la longitud de cada varilla de amarre mediante la Ecuación 22

$$t = \frac{1}{2} \left( \frac{f_s * \phi_{varilla}}{\mu} \right), \text{ Ecuación 22}$$

Donde:

t=Longitud de la varilla de amarre (in).

$f_s$ =Esfuerzo de tensión permisible del acero (psi).

$\phi_{varilla}$ =Diámetro de la varilla de amarre (in).

$\mu$ =Esfuerzo de adherencia permisible (psi).

Posteriormente se debe verificar que los esfuerzos que interactúan con la losa no supere la capacidad resistente de la losa, con el fin de que no se genere la falla por fractura del concreto por flexión.

Por lo tanto, se deben obtener tres tipos de esfuerzos:

- Esfuerzo debido a las cargas.
- Esfuerzo térmico.
- Esfuerzo friccional.

Tanto los esfuerzos debidos a las cargas, como los esfuerzos térmicos se subdividen en:

- Esfuerzo en la esquina.
- Esfuerzo en el borde.
- Esfuerzos interiores.

El esfuerzo debido a cargas en la esquina, según Huang (2004), por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ce} = \frac{3 * P}{h^2} * \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right], \text{ Ecuación 23}$$

Donde:

$\sigma_{ce}$ =Esfuerzo debido a cargas en la esquina de la losa (psi).

P=Carga de una llanta de eje equivalente (lb).

h=Espesor de la losa de concreto (in).

a=Radio de carga (in).

L=Razón de Rigidez Relativa (in).

El esfuerzo debido a cargas interiores según Huang (2004), está dada por:

$$\sigma_{ci} = \frac{3 * (1 + \mu) * P}{2 * \pi * h^2} * \left[ \ln\left(\frac{l}{b}\right) + 0.6159 \right]$$

Sí  $a < 1.724 * h$ ; entonces,  
 $b = \sqrt{1.6 * a^2 + h^2} - 0.675 * h$   
 Sí  $a \geq 1.724 * h$ ; entonces,  $b = a$   
 Ecuación 24

Donde:

$\sigma_{ci}$ =Esfuerzo debido a cargas en el interior de la losa (psi).

$\mu$ =Módulo de Poisson del concreto.

P=Carga de una llanta de eje equivalente (lb).

h=Espesor de la losa de concreto (in).

L=Razón de Rigidez Relativa (in).

a=Radio de carga (in).

Como menciona Huang (2004), el esfuerzo debido a cargas de borde se calcula mediante la Ecuación 25:

Donde:

$\sigma_{cb}$ =Esfuerzo debido a cargas en el borde de la losa (psi).

$\mu$ =Módulo de Poisson del concreto.

P=Carga de una llanta de eje equivalente (lb).

h=Espesor de la losa de concreto (in).

L=Razón de Rigidez Relativa (in)

a=Radio de carga (in).

MR=Módulo de Elasticidad del concreto (psi).

K=Módulo de reacción de la capa inferior a la losa de concreto (pci).

Posteriormente se calcula el esfuerzo térmico en el borde el cual según Huang (2004) está dado de la siguiente manera:

$$\sigma_{tb} = \frac{C * E * \alpha * \Delta t * h}{2}, \text{Ecuación 26}$$

Donde:

$\sigma_{tb}$ =Esfuerzo térmico en el borde de la losa (psi).

h=Espesor de la losa de concreto (in).

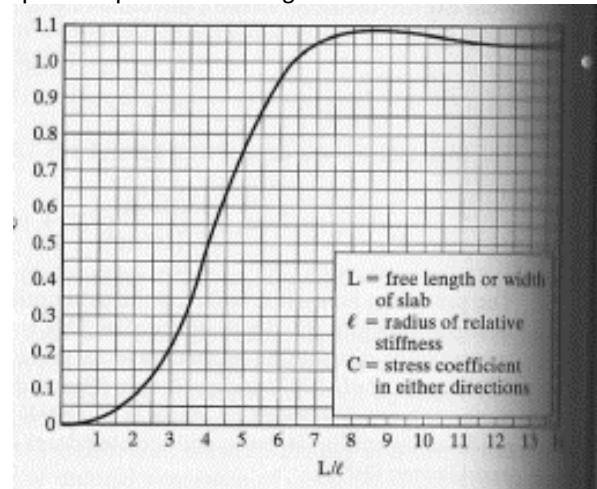
E=Módulo de Elasticidad del concreto (psi).

C=Factor de Correlación de Esfuerzos mayor entre  $C_1$  y  $C_2$ .

$\alpha$ =Coeficiente de dilatación térmica (1/°F).

$\Delta t$ =Gradiente de temperatura (°F/in).

El factor C se obtiene a partir de la gráfica que se aprecia en la Figura 44.



**Figura 44.** Gráfica para obtener el factor de correlación de esfuerzos C.

**Fuente:** Huang, 2004.

$$\sigma_{cb} = \frac{3 * (1 + \mu) * P}{\pi * (3 + \mu) * h^2} * \left[ \ln \left( \frac{MR * h^3}{100 * k * a^4} \right) + 1.84 - \frac{4 * \mu}{3} + \frac{1 - \mu}{2} + \frac{1.18 * (1 + 2 * \mu)}{l} * a \right], \text{Ecuación 25}$$

Los esfuerzos térmicos en el interior de la losa se calculan de la siguiente manera:

$$\sigma_{ti} = \frac{E * \alpha * \Delta t * h}{2} * \left[ \frac{C_1 + \mu * C_2}{1 - \mu^2} \right] \text{Ecuación 27}$$

Donde:

$\sigma_{ti}$ =Esfuerzo térmico en el interior de la losa (psi).

h=Espesor de la losa de concreto (in).

$C_1$ =Factor de Correlación de Esfuerzos en el eje x.

$C_2$ =Factor de Correlación de Esfuerzos en el eje y.

$\mu$ =Módulo de Poisson del concreto.

E=Módulo de Elasticidad del concreto (psi).

$\alpha$ =Coeficiente de dilatación térmica (1/°F).

$\Delta t$ =Gradiente de temperatura (°F/in).

Posteriormente se procede a obtener el esfuerzo de fricción; según Huang (2004) es esfuerzo se debe al movimiento horizontal que se puede generar entre la losa de concreto la capa inferior a ésta, la ecuación se presenta a continuación:

$$\sigma_{fr} = \frac{\gamma_c * L * f_a}{2}, \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$\sigma_{fr}$ =Esfuerzo de fricción en la losa de concreto (psi).

$\gamma_c$ =Peso específico del concreto (lb/ft³).

L=Longitud de la losa de concreto (ft)

$f_a$ =Coeficiente de fricción.

En el Cuadro 156, se muestra el coeficiente de fricción de acuerdo con el tipo de material inferior a la losa de concreto.

Finalmente se deben sumar: todas las cargas de borde, dicha sumatoria no debe superar la capacidad de la losa de concreto, la cual, es manifestada por medio del módulo de ruptura aplicándole un Factor de Seguridad de 1,5. Lo anterior también se aplica para la sumatoria de las cargas interiores y las de esquina.

$$\sigma_{Total} < \frac{S'c}{F.S.}, \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$\sigma_{Total}$ =Total de cargas (de esquina, de interior o de borde) (psi).

$S'c$ =Módulo de Ruptura de la losa de concreto (psi).

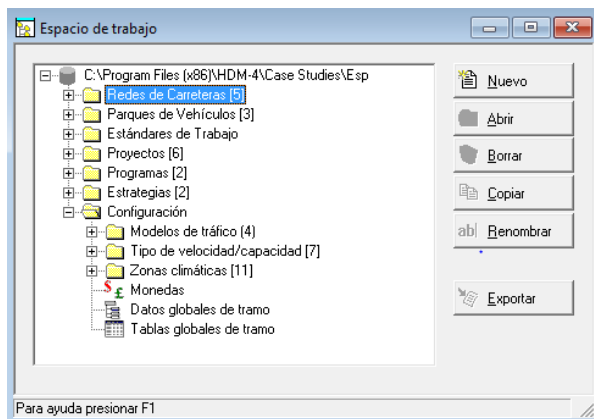
F.S.=Factor de Seguridad

## Modelación de desempeño con HDM-4

De forma general, para obtener un modelo de desempeño mediante la herramienta HDM-4, primeramente, se debe configurar el modelo de tráfico, el modelo de velocidad y capacidad, y la zona climática. Posteriormente en “Red de Carreteras”, se introduce la información de la condición actual del camino. En la sección de “Parque de Vehículos” se introducen los tipos de vehículos, y los costos asociados a éstos. Luego se accede a “Estándares de Trabajo” con el fin de crear los estándares de conservación y mejora de la vía. Después se accede a “Proyectos”, donde se crea un nuevo proyecto y se seleccionan los parámetros creados: la “Red de Carreteras”, el “Parque de Vehículos” y las alternativas con sus respectivos estándares de trabajo. Se introduce el período de análisis, la alternativa base, así como la tasa de descuento. Se corre el análisis económico con la finalidad de generar los informes de los cuales se obtiene la variación del tráfico anual, deterioros anuales, calendario de actuaciones, beneficios netos anuales, e indicadores económicos como VAN y TIR, con la finalidad de determinar cuál alternativa es más rentable.

Primeramente se debe acceder al menú de configuración con la finalidad de definir el Modelo de Tráfico, el Tipo de Velocidad/Capacidad y la Zona Climática, como se aprecia en la Figura 45. El Modelo de Tráfico, que se aplica al proyecto, es el llamado “Free Flow”; el cual, es un modelo que incorpora el programa por defecto, en este modelo los vehículos circulan libremente por la vía sin ningún tipo de atraso debido a las presas como si ocurre en vías urbanas o principales. Durante la medición del

tránsito vehicular se apreció que los vehículos circulan libremente sin atrasos; por lo tanto, es aplicable este modelo de tráfico. Con respecto al Tipo de Velocidad/Capacidad, uno de los modelos por defecto es “Two Lane Narrow”, que consiste en un tipo de modelo de dos carriles, con un ancho y capacidad vehicular bajas. Dicho modelo se acopla a este proyecto; ya que, el camino Guayabal-Guatuso está compuesto por un carril por sentido, en total dos carriles, con un ancho de calzada promedio de 6m como se muestra en la Cuadro 85.



**Figura 45.** Configuración de la herramienta HDM-4.  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

Con respecto a la Zona Climática, se crea una nueva zona con las características propias de la región donde se ubica el proyecto. Por lo tanto, se accede a la página oficial de Instituto Meteorológico de Nacional de Costa Rica (IMN), y se obtienen los datos meteorológicos, los cuales se muestran en el Cuadro 178 ; a partir de lo anterior se crea la zona climática “Clima Cartaginés”, como se aprecia en la Figura 46.

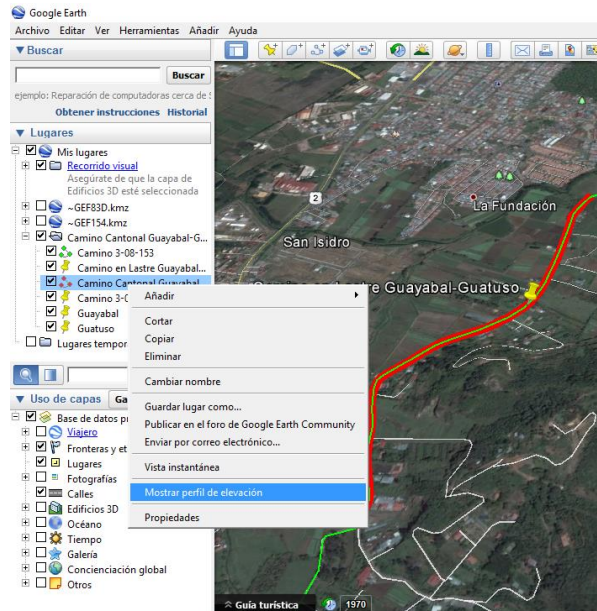
**Figura 46.** Zona Climática de Clima Cartaginés.  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

Posteriormente se accede al menú de “Nuevo” en la sección superior derecha, y se accede en Red de Carreteras y se crea la Red del Cantón de El Guarco; en el menú de Añadir Nuevo se crea el tramo del Camino Guayabal-Guatuso; en el Anexo 8 se muestran los insumos de datos necesarios para introducir en esta sección.

#### Tramo: Camino Cantonal Guayabal-Guatuso

**Figura 47.** Características geométricas de la vía.  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

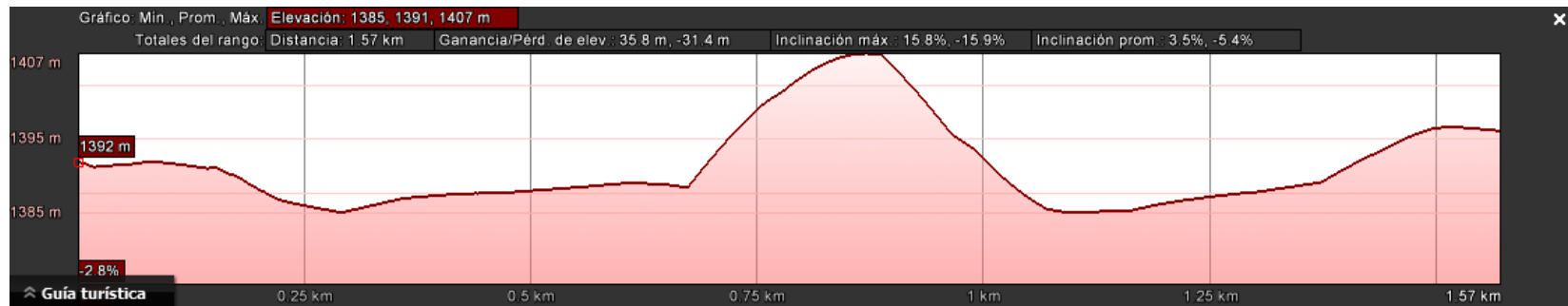
Los insumos que requieren mayor trabajo son los relacionados con la geometría del camino, ya que no se cuenta con información geométrica de la vía. Por lo tanto, se accede a la herramienta Google Earth. Se crea una nueva ruta y se traza la vía en la herramienta. Luego se accede a mostrar perfil de elevación como se muestra en la *Figura 48*.



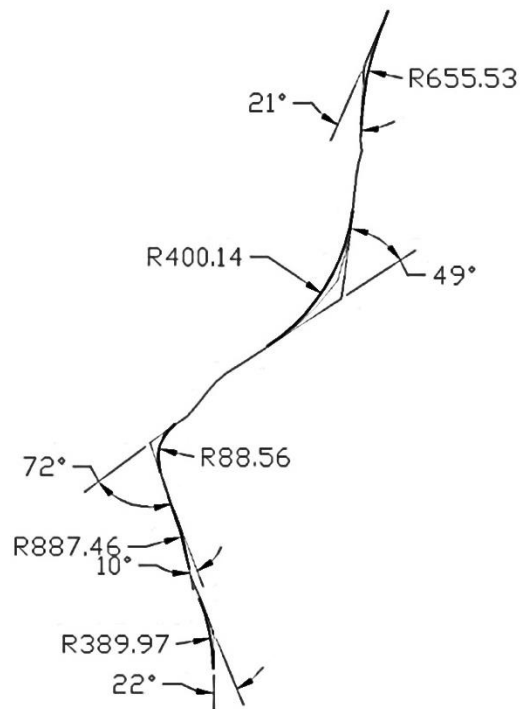
**Figura 48.** Creación de perfil de elevación.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

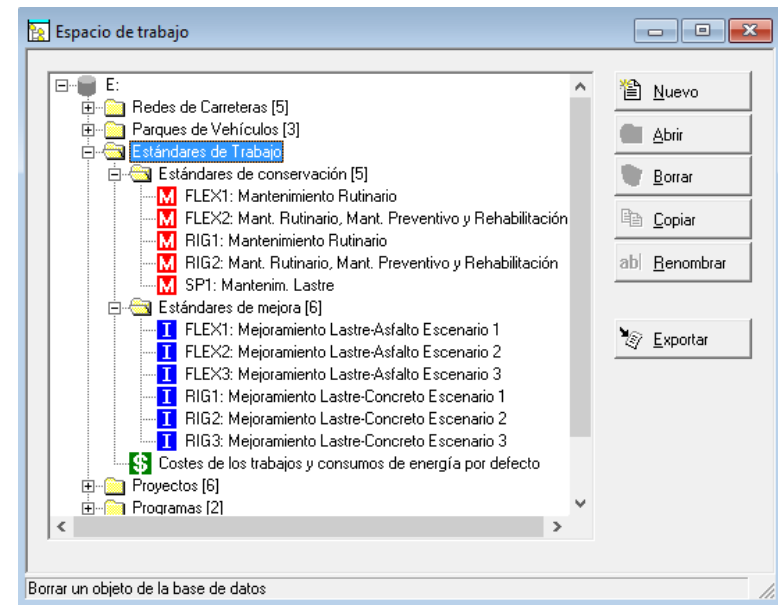
En la *Figura 49*, se muestra el perfil de elevación obtenido de la herramienta, de la cual se obtienen la información geométrica vertical de elevación promedio, ganancia/perdida de elevación, e inclinación promedio. El dato de rampas+pendientes del HDM-4 se obtiene de ganancia/pérdida de elevación de Google Earth.



**Figura 49.** Perfil de elevación de la ruta Guayabal-Guatuso.  
Fuente: Google Earth.



**Figura 50.** Propiedades geométricas horizontales de las curvas.  
Fuente: AutoCAD 2016.



**Figura 51.** Estándares de conservación y de mejora.  
Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

Posteriormente, con el fin de obtener las características geométricas horizontales, se accede al programa de sistema de información geográfica QGIS 2.14.3; se traza la ruta Guayabal-Guatuso en esta herramienta, luego se exporta la ruta al formato DXF, con el fin de editarlo mediante el programa AutoCAD 2016; en este programa se dibujan las curvas en la vista en planta, lo más aproximadas a la ruta exportada de QGIS, y se dimensionan las curvas en cuanto a radio de curva y ángulos de deflexión de las tangentes, como se aprecia en la *Figura 50*.

Mediante los radios de las curvas se calcula la velocidad de desplazamiento a la que debe transitar un vehículo por esta curva; de acuerdo con Cárdenas (2013), la *Ecuación 30* relaciona la velocidad con el radio de curva, a saber:

$$R = \frac{V^2}{127,15 * (f' + i)}, \text{Ecuación 30}$$

Donde:

R=Radio de la curva horizontal (m).

V=Velocidad de diseño (km/h).

f'=Coeficiente de Fricción Transversal.

i=Peralte de la Curva.

Por lo tanto, mediante la ecuación anterior se despeja la velocidad y se obtiene la *Ecuación 31*

$$V = \sqrt{127,15 * R * (f' + i)}, \text{Ecuación 31}$$

En el *Cuadro 108* se muestran los cálculos de las velocidades y ángulos de deflexión de cada curva, de las cuales se obtiene la velocidad y ángulo de curva promedio, dichos valores son los que se introducen como velocidad límite y curvatura horizontal media respectivamente en las características del camino Guayabal-Guatuso de la herramienta HDM-4.

Continuando con la herramienta HDM-4, se crea una Flota Vehicular, se accede en Nuevo, Parque de Vehículos, y se agregan los vehículos que transitan en dicha vía de acuerdo a la medición del tránsito requerida. A cada vehículo se introduce información como: ESAL o EEq; cantidad de ruedas y de ejes; peso promedio; costos de combustible, lubricantes, repuestos, neumáticos; consumo de tiempo en mantenimiento, entre otros. Las características de dichos vehículos se muestran en el *Anexo 8*. Las propiedades físicas y económicas de dichos

vehículos fueron proporcionados por la Dirección de Planificación de Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Posteriormente se accede a “Estándares de Trabajo” y se crean los estándares de conservación y mejoramiento, como se muestra en la *Figura 51*. Cada estándar está asociado con una o más tareas; por ejemplo, se crea el estándar de conservación para pavimentos flexibles llamado “Mantenimiento Rutinario, Mantenimiento Preventivo y Rehabilitación”, al cual se le incorporan tareas como; Mantenimiento Rutinario, Bacheo, Sobre capa de 25mm.

En cada tarea de los estándares de conservación se debe especificar el tipo de intervención, ya sea “Programada” o “Correctiva”; en el caso de “Programada” se deben especificar la periodicidad de aplicación de la tarea (ej. cada dos años); en el caso de “Correctiva” se especifica la cuantificación del deterioro; a partir de la cual, se debe aplicar la tarea (ej. bacheo cuando se generen 15 baches por kilómetro). Y finalmente se debe especificar el costo unitario asociado a cada tarea.

Los estándares de mejoramiento no están compuestos por tareas como los estándares de conservación. Los estándares de mejoramiento que ofrece la herramienta HDM-4 son: upgrading (cambio del tipo de superficie de ruedo), realineamiento, ampliación del ancho de la vía y adición de nuevos carriles. Por ejemplo, si se aplica un “upgrading” se debe especificar el nuevo tipo de pavimento, el año de intervención, detalles constructivos, costo económico, entre otros.

Las características o los insumos de los estándares de trabajo se muestran el *Cuadro 109*, *Cuadro 110*, *Cuadro 111*, *Cuadro 112*, *Cuadro 113*, *Cuadro 114*.

Luego de crear los estándares de trabajo, se debe crear un proyecto; por lo tanto, se accede al Menú de “Nuevo-Proyecto”; posteriormente aparece una ventana y se accede a la sección “Definir Proyecto en Detalle” como se aprecia en la *Figura 52*. Se introducen el período de análisis y se selecciona la “Red de Carreteras” el “Parque de Vehículos” y el tipo de moneda; para la corrida del programa HDM-4 se utiliza preferiblemente el dólar estadounidense como moneda

En esta misma sección se accede a “Selección de Tramos” se eligen los tramos que se desean aplicar en la corrida; por lo tanto, se selecciona el tramo creado, llamado “Camino Guayabal-Guatuso”; en “Selección de Vehículos”

se eligen los vehículos de la flota vehicular que se incorporan al análisis; en “Definir Tráfico Normal” se introduce en detalle el IMD, o también llamado TPD, para cada vehículo; a partir de la medición de tránsito.

Posteriormente en la sección de “Especificar Alternativas” se agregan las tres alternativas de pavimento flexible y las tres alternativas de pavimento rígido; la Alternativa Base consiste en la continuación de la ruta en

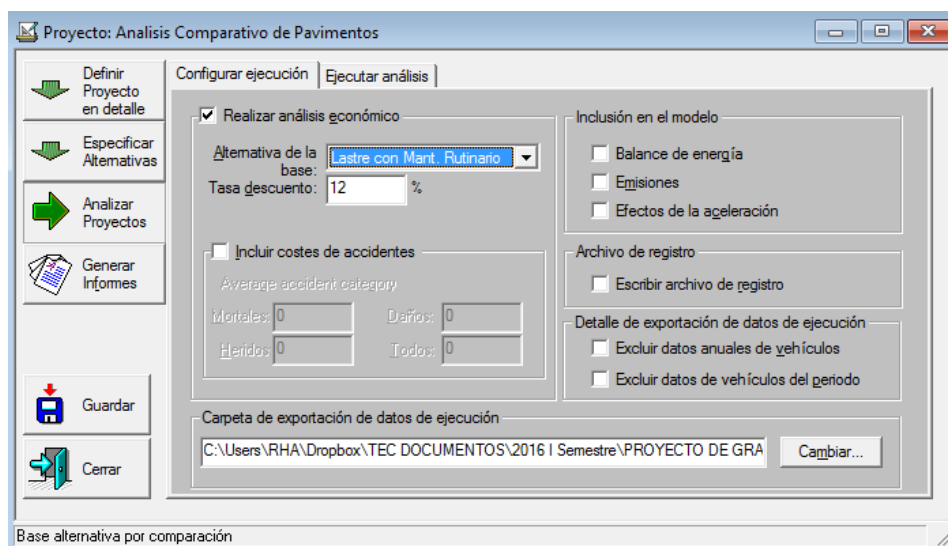
estado de lastre sin aplicarle ningún mejoramiento; dicha alternativa es llamada Lastre con Mant. Rutinario; lo anteriormente mencionado se muestra en la *Figura 53*. En cada alternativa se deben agregar los estándares de conservación y de mejora correspondientes. Los estándares de trabajo asignados a cada alternativa se presentan en el *Cuadro 115*

**Figura 52.** Definición de detalle de Proyecto.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

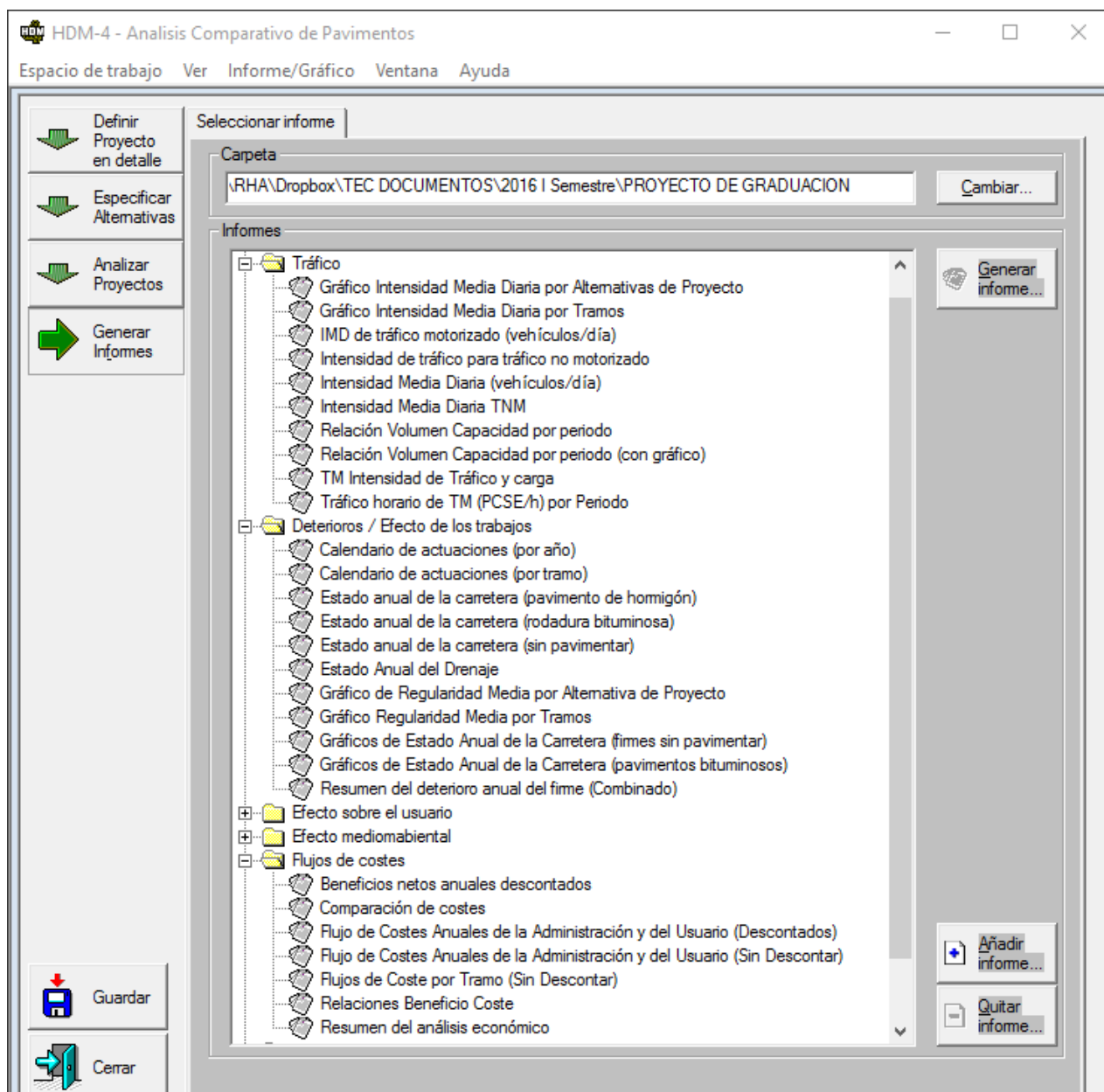
**Figura 53.** Especificado de Alternativas.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 54.** Análisis de Proyectos.  
**Fuente** Programa HDM-4 Versión 1.3.

Se continúa con la opción de “Analizar Proyectos” como se observa en la *Figura 54*. En esta sección se selecciona, con un check, en Realizar Análisis Económico. Con respecto a la tasa de descuento, de acuerdo con MIDEPLAN (2012), para evaluaciones económicas de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica, actualmente se utiliza una tasa de descuento del 12%. Además, se selecciona como Alternativa de la Base: Lastre con Mantenimiento Rutinario. Luego se inicia el análisis en Ejecutar Análisis.



**Figura 55.** Generación de Informes de Resultados.

**Fuente** Programa HDM-4 Versión 1.3

Finalmente, se accede en Generar Informes, con el fin de obtener los resultados del análisis de la herramienta HDM4.

Mediante los informes de HDM-4 es posible obtener la variación anual del deterioro mediante el parámetro "IRI", de las seis alternativas. Con el fin de visualizar la variación del deterioro del pavimento durante el período de

análisis desde otra perspectiva, se procede obtener el deterioro en términos de "PSI". De acuerdo con Barrantes, Badilla, & Sibaja, (2010), es posible correlacionar los valores de IRI generados con valores de PSI.

Como menciona dicho autor la ecuación de correlación entre "IRI" y "PSI" para pavimentos flexibles está dada de la siguiente forma:

$$PSI = 5 - 0,2937X^4 + 1,1771X^3 - 1,4045X^2 - 1,5803X$$

$$R^2 = 96,5\%$$

*Ecuación 32*

Mientras que la correlación para pavimentos rígidos se muestra a continuación:

$$PSI = 5 + 0,6046X^3 - 2,2217X^2 - 0,0434X$$

$$R^2 = 96,5\%$$

*Ecuación 33*

Donde:

$$SV = 2,2704 * IRI^2$$

$$X = \log(1 + SV)$$

Los informes más importantes generados por HDM-4 para este proyecto son los relacionados con el Tráfico, Deterioros, Efectos de los Trabajos, y Flujo de Costes.

De la pestaña de "Tráfico" de los informes de HDM-4, se escogen los informes: "Gráfico de Intensidad Media Diaria por Alternativa de Proyecto" y "TM Intensidad de Tráfico y Carga"; en ambos informes se presenta la variación anual del IMD durante el período de análisis.

De la pestaña de "Deterioro/Efecto de los Trabajos", se escogen los informes: "Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)", "Gráfico de Regularidad Media por Alternativa de Proyecto", y "Calendario de Actuaciones (por año)".

De la pestaña de "Flujo de costes" se escogen los informes: "Beneficios netos anuales descontados", "Resumen del análisis económico" y "Relaciones Beneficio Coste"

Del informe "Relaciones Beneficio Coste" se obtiene el valor de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de cada alternativa; de acuerdo con MIDEPLAN (2012), las alternativas de proyecto con un VAN positivo son rentables, mientras que las alternativas con un VAN negativo no son rentables; así mismo, las alternativas con una TIR mayor a la tasa de descuento son rentables, mientras que las que presentan una TIR menor a la tasa de descuento, no son rentables.

Como menciona MIDEPLAN (2012), el Valor Actual Neto está dado por la siguiente ecuación

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{(B_i - C_i)}{(1 + TREMA)^i} - I_0, \text{Ecuación 33}$$

Donde:

VAN=Valor Actual Neto.

I<sub>0</sub>=Valor de Inversión Inicial en el año 0.

B<sub>i</sub>=Beneficio en el año i del proyecto.

C<sub>i</sub>=Costo en el año i del proyecto.

TREMA=Tasa de descuento o Tasa de Retorno Mínima Atractiva.

Mientras que HDM-4 utiliza la siguiente ecuación para el VAN:

$$VAN = B + E - C, \text{Ecuación 34}$$

Donde:

VAN=Valor Actual Neto.

B=Beneficio Social Directo.

E=Beneficio Exógeno.

C=Costo incurrido.

# Resultados

## Medición Vehicular

Es importante mencionar que la Municipalidad de El Guarco ya había elaborado un conteo vehicular de la zona, al momento de desarrollarse esta investigación, pero se encontró que la medición, no está acorde ni es representativa de este proyecto por tres aspectos principalmente.

El primero consiste en que el material proporcionado por la municipalidad no cuenta con el horario en el que realizó el aforo, por lo tanto, no se conoce si el tiempo de medición abarcó las horas pico, o si la medición fue continua o por períodos parciales durante el día.

El segundo aspecto está relacionado con el lugar de medición, ya que, las mediciones se

hicieron en estaciones diferentes y no se realizó ninguna conversión a estación permanente.

La tercera razón es que dos de las tres estaciones de medición no están relacionadas directamente con la vía de este proyecto. Es decir, estas dos estaciones de medición no correspondían a la vía de estudio.

Por lo anteriormente mencionado se procedió a realizar una medición o conteo vehicular de la vía. Dicho conteo se realizó los días martes 8 de marzo, jueves 10 de marzo y sábado 19 de marzo del 2016. Las mediciones en dichos días se realizaron de 7am hasta las 5pm.

A partir de la información de tránsito obtenida de las mediciones de los tres días se obtiene el Cuadro 5, Cuadro 6, y Cuadro 7.

| Cuadro 5. Medición del Tránsito Día 1 |                  |    |    |    |       |     |         |
|---------------------------------------|------------------|----|----|----|-------|-----|---------|
| Hora/Sentido                          | Guatuso-Guayabal |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 10               | 6  | 1  | 0  | 0     | 0   | 1       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 7                | 5  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 3                | 4  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 4                | 2  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 4                | 2  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 28               | 19 | 1  | 0  | 0     | 0   | 1       |
| Hora/Sentido                          | Guayabal-Guatuso |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 7                | 5  | 1  | 1  | 0     | 0   | 0       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 12               | 5  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 5                | 5  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 2                | 5  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 6                | 2  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 32               | 22 | 2  | 1  | 0     | 0   | 0       |
|                                       |                  |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| TOTAL DÍA                             | 60               | 41 | 3  | 1  | 0     | 0   | 1       |

| Cuadro 6. Medición del Tránsito Día 2 |                  |    |    |    |       |     |         |
|---------------------------------------|------------------|----|----|----|-------|-----|---------|
| Hora/Sentido                          | Guatuso-Guayabal |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 12               | 6  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 3                | 4  | 1  | 0  | 0     | 0   | 1       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 3                | 2  | 2  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 1                | 6  | 2  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 3                | 3  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 22               | 21 | 5  | 0  | 0     | 0   | 1       |
| Hora/Sentido                          | Guayabal-Guatuso |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 9                | 9  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 4                | 5  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 10               | 3  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 1                | 1  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 4                | 4  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 28               | 22 | 3  | 0  | 0     | 0   | 0       |
|                                       |                  |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| TOTAL DÍA                             | 50               | 43 | 8  | 0  | 0     | 0   | 1       |

| Cuadro 7. Medición del Tránsito Día 3 |                  |    |    |    |       |     |         |
|---------------------------------------|------------------|----|----|----|-------|-----|---------|
| Hora/Sentido                          | Guatuso-Guayabal |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 9                | 3  | 2  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 9                | 1  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 8                | 0  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 2                | 1  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 4                | 3  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 32               | 8  | 3  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| Hora/Sentido                          | Guayabal-Guatuso |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| 7 a.m.-9 a.m.                         | 10               | 3  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 9 a.m.-11 a.m.                        | 8                | 2  | 1  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 11 a.m.-1 p.m.                        | 4                | 2  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 1 p.m.-3 p.m.                         | 2                | 3  | 0  | 0  | 0     | 0   | 0       |
| 3 p.m.-5 p.m.                         | 2                | 2  | 0  | 1  | 0     | 0   | 0       |
| TOTAL                                 | 26               | 12 | 2  | 1  | 0     | 0   | 0       |
|                                       |                  |    |    |    |       |     |         |
|                                       | Liviano          | CL | C2 | C3 | T3-S2 | Bus | Tractor |
| TOTAL DÍA                             | 58               | 20 | 5  | 1  | 0     | 0   | 0       |

Ya que las mediciones de tránsito se tomaron en un lapso de tiempo del día (7:00-17:00) es necesario amplificar el tránsito para obtener el tránsito diario; para esto es necesario conocer el porcentaje aproximado de vehículos diarios que circulan en ése período de tiempo.

El *Cuadro 8* presenta datos obtenidos del Anuario de Tránsito del MOPT 2013, en dicho cuadro se presenta los porcentajes de vehículos promedios anuales que transitan por cada hora del día en la estación permanente de Turrialba, Juan Viñas. Ésta estación fue elegida por el motivo que es la estación de tránsito permanente más cercana al camino Guayabal-Guatuso.

Por lo tanto, el conocimiento del porcentaje de vehículos que transitan de 7:00-17:00, permite amplificar el tránsito mediante el coeficiente de expansión con la finalidad conocer el Tránsito Promedio Diario (TPD); dicha amplificación del tránsito es mostrada en el *Cuadro 9*.

| <b>Cuadro 8. Porcentaje Vehicular de 7:00 a 17:00</b> |       |             |
|-------------------------------------------------------|-------|-------------|
| Estación más cercana                                  |       | Juan Viñas  |
| Período                                               |       | % Vehicular |
| 7:00                                                  | 8:00  | 5,62%       |
| 8:00                                                  | 9:00  | 5,42%       |
| 9:00                                                  | 10:00 | 5,38%       |
| 10:00                                                 | 11:00 | 5,37%       |
| 11:00                                                 | 12:00 | 5,49%       |
| 12:00                                                 | 13:00 | 5,58%       |
| 13:00                                                 | 14:00 | 5,86%       |
| 14:00                                                 | 15:00 | 6,27%       |
| 15:00                                                 | 16:00 | 6,59%       |
| 16:00                                                 | 17:00 | 6,85%       |
| % Vehicular entre 7:00 y 17:00 horas                  |       | 58,43%      |

*Fuente: MOPT, 2013.*

| <b>Cuadro 9. Expansión del Tránsito Medido a Tránsito Diario</b> |       |        |           |        |           |        |           |     |                          |
|------------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|-----|--------------------------|
| Coef. Expansión                                                  | 1,711 | Día 1  |           | Día 2  |           | Día 3  |           | TPD | Porcentaje del Total (%) |
|                                                                  |       | Medido | Expandido | Medido | Expandido | Medido | Expandido |     |                          |
| Liviano                                                          |       | 60     | 103       | 50     | 86        | 58     | 100       | 97  | 56,73%                   |
| CL                                                               |       | 41     | 71        | 43     | 74        | 20     | 35        | 60  | 35,09%                   |
| C2                                                               |       | 3      | 6         | 8      | 14        | 5      | 9         | 10  | 5,85%                    |
| C3                                                               |       | 1      | 2         | 0      | 0         | 1      | 2         | 2   | 1,17%                    |
| T3-S2                                                            |       | 0      | 0         | 0      | 0         | 0      | 0         | 0   | 0,00%                    |
| Bus                                                              |       | 0      | 0         | 0      | 0         | 0      | 0         | 0   | 0,00%                    |
| Tractor                                                          |       | 1      | 2         | 1      | 2         | 0      | 0         | 2   | 1,17%                    |
|                                                                  |       |        |           |        |           |        | TOTAL     | 171 | 100%                     |

En el *Cuadro 12* se muestra la transformación de cantidad de vehículos por tipo de vehículo a ejes equivalentes de 8200 kg (18kips), para pavimento flexible mientras que en el *Cuadro 13* se muestran los de pavimento rígido.

Con respecto al parámetro del período de diseño, este factor es elegido de acuerdo con la experiencia; ya que este ha tenido en proyectos de éste tipo; ya que no se posee con dicha experiencia se recurre a la información brindada por AASHTO (1993) con respecto a dicho parámetro, dicho autor propone la información que se encuentra en el *Cuadro 11* en la cual, ofrece y recomienda períodos de análisis de acuerdo con la condición de la vía; ya que, actualmente el Camino Guayabal-Guatuso es un camino de lastre un volumen relativamente bajo se transitó se optó por la opción de un período de análisis de entre 10 a 20 años.

A partir de este punto se decide utilizar un período de diseño de 15 años para el pavimento flexible y 20 años para el rígido; esta diferenciación se debe a las características de ambos pavimentos, como se menciona en el marco teórico y como se muestra en la *Figura 6*, el pavimento rígido es más durable a través del tiempo, por lo tanto, es posible aprovechar durante más tiempo sus características mecánicas, con respecto al flexible.

Otro parámetro muy importante es el factor camión, la última investigación que realizó LANAMME con respecto a factores camión fueron proporcionados en la referencia Lanamme UCR (2008), dicho estudio se realizó en el 2007; los factores camión son susceptibles a variar a lo largo del tiempo y dicho estudio fue realizado hace casi 10 años; por lo tanto, se recurre a los factores camión proporcionados por el profesor guía, para la obtención de los ejes equivalentes respectivos, mostrados en el *Cuadro 12* y *Cuadro 13*, mismos representativos de condiciones presumiblemente promedio en Costa Rica.

| <b>Cuadro 10.<br/>Parámetros<br/>Iniciales De La Vía</b> |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Período de Diseño Pavimento Flexible (años)              | 15 |
| Período de Diseño Pavimento Rígido (años)                | 20 |
| Cantidad de Sentidos                                     | 2  |
| Cant. Carriles por Sentido                               | 1  |

| <b>Cuadro 11. Período de Análisis<br/>recomendado de acuerdo al tipo de<br/>vía</b> |                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Condición de la Vía</b>                                                          | <b>Período de Análisis<br/>(años)</b> |
| Alto Volumen Urbano                                                                 | 30-50                                 |
| Alto Volumen Rural                                                                  | 20-50                                 |
| Bajo Volumen Pavimentado                                                            | 15-25                                 |
| Bajo Volumen en Lastre                                                              | 10-20                                 |

**Fuente:** AASHTO, 1993.

| Cuadro 12. Ejes Equivalentes de Carril de Diseño Pavimento Flexible |                                |               |            |                |                     |                    |            |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|----------------|---------------------|--------------------|------------|
| Tipo Vehículo                                                       | Tránsito Promedio Diario (TPD) | Factor Camión | EEq Diario | EEq Primer año | % Crecimiento Anual | Factor Crecimiento | EEq Diseño |
| Liviano                                                             | 97                             | 0,02          | 2          | 708            | 4,78%               | 21,22              | 15 030     |
| CL                                                                  | 60                             | 0,5           | 30         | 10 950         | 4,78%               | 21,22              | 232 411    |
| C2                                                                  | 10                             | 1,0           | 10         | 3 650          | 4,78%               | 21,22              | 77 471     |
| C3                                                                  | 2                              | 1,5           | 3          | 1 095          | 4,78%               | 21,22              | 23 242     |
| T3-S2                                                               | 0                              | 2,5           | 0          | 0              | 4,78%               | 21,22              | 0          |
| Bus                                                                 | 0                              | 1,0           | 0          | 0              | 4,78%               | 21,22              | 0          |
| Tractor                                                             | 2                              | 1,0           | 2          | 730            | 4,78%               | 21,22              | 15 495     |
| TOTAL                                                               | 171                            | -             | 47         | 17 133         | -                   | -                  | 363 649    |
|                                                                     |                                |               |            |                |                     | Factor Dirección   | 0,50       |
|                                                                     |                                |               |            |                |                     | Factor Carril      | 1,00       |
|                                                                     |                                |               |            |                |                     | EEq Carril Diseño  | 181 825    |

| Cuadro 13. Ejes Equivalentes de Carril de Diseño Pavimento Rígido |                                |               |            |                |                     |                    |            |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|----------------|---------------------|--------------------|------------|
| Tipo Vehículo                                                     | Tránsito Promedio Diario (TPD) | Factor Camión | EEq Diario | EEq Primer año | % Crecimiento Anual | Factor Crecimiento | EEq Diseño |
| Liviano                                                           | 97                             | 0,02          | 2          | 708            | 4,78%               | 32,31              | 22 877     |
| CL                                                                | 60                             | 0,5           | 30         | 10 950         | 4,78%               | 32,31              | 353 767    |
| C2                                                                | 10                             | 1,0           | 10         | 3 650          | 4,78%               | 32,31              | 117 923    |
| C3                                                                | 2                              | 1,5           | 3          | 1 095          | 4,78%               | 32,31              | 35 377     |
| T3-S2                                                             | 0                              | 2,5           | 0          | 0              | 4,78%               | 32,31              | 0          |
| Bus                                                               | 0                              | 1,0           | 0          | 0              | 4,78%               | 32,31              | 0          |
| Tractor                                                           | 2                              | 1,0           | 2          | 730            | 4,78%               | 32,31              | 23 585     |
| TOTAL                                                             | 171                            | -             | 47         | 17 133         | -                   | -                  | 553 529    |
|                                                                   |                                |               |            |                |                     | Factor Dirección   | 0,50       |
|                                                                   |                                |               |            |                |                     | Factor Carril      | 1,00       |
|                                                                   |                                |               |            |                |                     | EEq Carril Diseño  | 276 765    |

# Diseño de Pavimento Flexible

Es importante mencionar que debido a que el suelo posee un CBR de 1 de acuerdo con los datos obtenidos de laboratorio, que son proporcionados en el *Anexo 2*; se considera la opción de utilizar algún método de estabilización de sub-rasante, en la sección de *Análisis de los resultados* se expone con mayor detalle el motivo de la estabilización.

Para el caso del diseño de pavimento flexible se recurre a tres escenarios, el primero consiste en un suelo sin estabilizar, el segundo escenario considera la estabilización de la sub-rasante con un aditivo químico que puede ser, ya sea cal o cemento; y el tercer escenario residual considera la utilización del lastre como parte de la estructura de pavimento

Esta sección está conformada por cuatro partes: Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3, y Resumen del Diseño de Pavimento Flexible.

## Escenario 1: Sin estabilizar

El Escenario 1 considera la colocación de la estructura de pavimento por encima de la sub-rasante en su estado natural, sin ningún tipo de estabilización; por lo tanto, se considera un CBR de 1% para la sub-rasante. En la sección de *Análisis de los Resultados*, se detalla de manera más amplia esta alternativa.

En el *Cuadro 14* se presentan algunos insumos necesarios para el diseño de pavimento flexible. Es importante mencionar que, de acuerdo con Barrantes, Badilla, & Sibaja (2010), el módulo elastico típico de una carpeta asfáltica en Costa Rica es de 400 000 psi. En el *Cuadro 15*, se muestra los resultados del diseño con AASHTO 1993 para esta alternativa, en dicho cuadro se verificó que el Número Estructural (SN) de las capas de diseño propuestas no superara el SN requerido u obtenido de AASHTO 1993. Además en la *Figura 56* se muestra esquemáticamente la estructuración de las capas de pavimento.

| Cuadro 14. Parámetros Iniciales de Diseño       |          |
|-------------------------------------------------|----------|
| Tipo de pavimento                               | Flexible |
| Clasificación Funcional                         | Cantonal |
| Tipo de vía                                     | Rural    |
| R (%)                                           | 70       |
| So                                              | 0,45     |
| Zr                                              | -0,524   |
| PSI inicial                                     | 4,2      |
| PSI terminal                                    | 2        |
| $\Delta$ PSI                                    | 2,2      |
| EEq ( $W_{18}$ )                                | 181 825  |
| Módulo Resiliente de la Sub-rasante $M_R$ (psi) | 1 500    |

| Cuadro 15. Resumen Cálculo de los Espesores de Capa |         |                               |                                |                                   |                                             |                      |                    |                    |                                                 |                       |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Material                                            | CBR (%) | Módulo Resiliente $M_R$ (psi) | Coefficiente estructural $a_i$ | Coefficiente de drenaje $C_{m_i}$ | Número Estructural Requerido ( $SN_{req}$ ) | $H_{requerido}$ (cm) | $H_{colocar}$ (cm) | $H_{colocar}$ (in) | Número Estructural del Pavimento ( $SN_{pav}$ ) | Condición             |
| Carpeta Asfáltica                                   | -       | 400 000,00                    | 0,42                           | 1,0                               | 1,32                                        | 8,00                 | 10,00              | 4                  | 1,65                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Base Granular                                       | 80      | 29 112,65                     | 0,135                          | 0,8                               | 1,74                                        | 2,31                 | 30,00              | 12                 | 2,92                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-base Granular                                   | 30      | 14 842,98                     | 0,11                           | 0,8                               | 3,99                                        | 31,47                | 40,00              | 16                 | 4,28                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-rasante                                         | 1       | 1 500,00                      | -                              | -                                 | -                                           | -                    | -                  | -                  | -                                               | -                     |
|                                                     |         |                               |                                |                                   | Total                                       | 41,79                | 80,00              | 31                 | -                                               | -                     |



**Figura 56.** Configuración de las capas del pavimento flexible.

## Análisis Mecánico

| <b>Cuadro 16. Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis</b> |             |              |              |              |                            |                            |                            |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Punto                                                                             | Capa        | X-Coord (in) | Y-Coord (in) | Z-Coord (in) | $\epsilon_x (\times 10^6)$ | $\epsilon_y (\times 10^6)$ | $\epsilon_t (\times 10^6)$ | $\epsilon_v (\times 10^6)$ |
| 1                                                                                 | Carpeta     | 4,886        | 4,886        | 3,999        | -398,23                    | -399,84                    | -399,84                    | 491,64                     |
| 2                                                                                 | Base        | 4,886        | 4,886        | 10           | -261,27                    | -261,57                    | -261,57                    | 606,44                     |
| 3                                                                                 | Sub-base    | 4,886        | 4,886        | 24           | -176,58                    | -176,62                    | -176,62                    | 309,41                     |
| 4                                                                                 | Sub-rasante | 4,886        | 4,886        | 32,001       | -230,48                    | -230,52                    | -230,52                    | 519,95                     |

**Fuente:** Programa 3D-Move-Analysis, Versión 2.1.

En el *Cuadro 16* se presenta las deformaciones unitarias obtenidas mediante el programa 3D-Move Analysis, en dicho cuadro  $\epsilon_t$ , es la máxima deformación en términos absolutos entre  $\epsilon_x$  y  $\epsilon_y$ , a esta deformación se le conoce como deformación radial, mientras que  $\epsilon_v$ , es la deformación ocurrida en el eje z.

En el *Cuadro 17* se muestra la deformación por fatiga de la carpeta, correspondiente a la deformación  $\epsilon_t$  del punto 1; y la deformación que provoca la deformación plástica de sub-rasante dada por la  $\epsilon_v$  del punto 4.

Como muestra el *Cuadro 17* los ejes equivalentes por fatiga son los más críticos al poseer el valor menor; por lo tanto, éstos son los ejes equivalentes de falla. Se verifica que los ejes equivalentes de diseño no superen los ejes equivalentes de la falla.

| <b>Cuadro 17. Repeticiones de carga de diseño y requerido</b>           |                                              |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Deformación por Fatiga de la Carpeta $\epsilon_t (\times 10^{-6})$      | -399,84                                      |
| Deformación Plástica de la sub-rasante $\epsilon_{vs} (\times 10^{-6})$ | 519,95                                       |
| MR <sub>1</sub> (ksi)                                                   | 400                                          |
| EEq <sub>fatiga</sub> (45%)                                             | 200 001,46                                   |
| EEq <sub>def. plástica</sub>                                            | 688 291,88                                   |
| EEq <sub>falla</sub>                                                    | 200 001,46                                   |
| EEq <sub>diseño</sub>                                                   | 181 824,50                                   |
| Condición                                                               | EEq <sub>diseño</sub> < EEq <sub>falla</sub> |
|                                                                         | SI CUMPLE                                    |

## Escenario 2: Estabilizado con cal

El escenario 2 considera la colocación de la estructura de pavimento sobre una sub-rasante estabilizada con un aditivo químico, que puede ser cal o cemento, para efectos de diseño se asumirá la estabilización del suelo existente con un 4% de cal como menciona Orellana & Huezo (2009), con el fin de obtener un CBR de sub-rasante de 14%, como puede apreciarse en el *Cuadro 160*. En la sección de *Análisis de los Resultados*, se detalla de manera más amplia esta alternativa.

En el *Cuadro 18* se presentan algunos insumos necesarios para el diseño de pavimento flexible. Mientras en el *Cuadro 19* se muestra los resultados del diseño con AASHTO 1993 para esta alternativa, en dicho cuadro se verificó que el Número Estructural (SN) de las capas de diseño propuestas no superara el SN requerido u obtenido de AASHTO 1993. Además en la *Figura 57* se muestra esquemáticamente la estructuración de las capas de pavimento.

| Cuadro 18. Parámetros Iniciales De Diseño       |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| Tipo de pavimento                               | Flexible  |
| Clasificación Funcional                         | Cantonal  |
| Tipo de vía                                     | Rural     |
| R (%)                                           | 70        |
| So                                              | 0,45      |
| Zr                                              | -0,524    |
| PSI inicial                                     | 4,2       |
| PSI terminal                                    | 2         |
| $\Delta$ PSI                                    | 2,2       |
| EEq ( $W_{18}$ )                                | 181 825   |
| Módulo Resiliente de la Sub-rasante $M_R$ (psi) | 11 676,34 |

| Cuadro 19. Resumen Cálculo de los Espesores de Capa |         |                               |                                |                                   |                                             |                      |                    |                    |                                                 |                       |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Material                                            | CBR (%) | Módulo Resiliente $M_R$ (psi) | Coefficiente estructural $a_i$ | Coefficiente de drenaje $C_{m_i}$ | Número Estructural Requerido ( $SN_{req}$ ) | $H_{requerido}$ (cm) | $H_{colocar}$ (cm) | $H_{colocar}$ (in) | Número Estructural del Pavimento ( $SN_{pav}$ ) | Condición             |
| Carpeta Asfáltica                                   | -       | 400 000,00                    | 0,42                           | 1                                 | 1,32                                        | 8,00                 | 10,00              | 4                  | 1,65                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Base Granular                                       | 80      | 29 112,65                     | 0,135                          | 0,8                               | 1,74                                        | 2,31                 | 25,00              | 10                 | 2,70                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-base Granular                                   | 30      | 14 842,98                     | 0,11                           | 0,8                               | 1,91                                        | -23,24               | 30,00              | 12                 | 3,72                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-rasante Estabilizada                            | 14      | 11 676,34                     | -                              | -                                 | -                                           | -                    | -                  | -                  | -                                               | -                     |
|                                                     |         |                               |                                |                                   | Total                                       | -12,93               | 65,00              | 26                 | -                                               | -                     |



**Figura 57.** Configuración de las capas del pavimento flexible.

## Análisis Mecánico

En el *Cuadro 20* se presenta las deformaciones unitarias obtenidas mediante el programa 3D-Move Analysis.

En el *Cuadro 21* se muestra la deformación por fatiga de la carpeta, correspondiente a la deformación  $\epsilon_t$  del punto 1; y la deformación que provoca la deformación plástica de sub-rasante dada por la  $\epsilon_v$  del punto 4.

En el *Cuadro 21* los ejes equivalentes por fatiga son los más críticos al poseer el valor menor; por lo tanto, éstos son los ejes equivalentes de falla. Se verifica que los ejes equivalentes de diseño no superen los ejes equivalentes de la falla.

| <b>Cuadro 20. Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis</b> |             |              |              |              |                      |                      |                      |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Punto                                                                             | Capa        | X-Coord (in) | Y-Coord (in) | Z-Coord (in) | $\epsilon_x (x10^6)$ | $\epsilon_y (x10^6)$ | $\epsilon_t (x10^6)$ | $\epsilon_v (x10^6)$ |
| 1                                                                                 | Carpeta     | 4,886        | 4,886        | 3,999        | -402,75              | -404,37              | -404,37              | 496,26               |
| 2                                                                                 | Base        | 4,886        | 4,886        | 9            | -278,96              | -279,35              | -279,35              | 673,4                |
| 3                                                                                 | Sub-base    | 4,886        | 4,886        | 20           | -163,69              | -163,76              | -163,76              | 399,26               |
| 4                                                                                 | Sub-rasante | 4,886        | 4,886        | 26,001       | -112,88              | -112,92              | -112,92              | 345,05               |

**Fuente:** Programa 3D-Move-Analysis, Versión 2.1.

| <b>Cuadro 21. Repeticiones de carga de diseño y requerido</b>    |                                              |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Deformación por Fatiga de la Carpeta $\epsilon_t (x10^{-6})$     | -404,37                                      |
| Deformación Plástica de la sub-rasante $\epsilon_{vs}(x10^{-6})$ | 345,05                                       |
| MR <sub>1</sub> (ksi)                                            | 400                                          |
| EEq <sub>fatiga</sub> (45%)                                      | 192 722,01                                   |
| EEq <sub>def. plástica</sub>                                     | 4 315 536,51                                 |
| EEq <sub>falla</sub>                                             | 192 722,01                                   |
| EEq <sub>diseño</sub>                                            | 181 824,50                                   |
| Condición                                                        | EEq <sub>diseño</sub> < EEq <sub>falla</sub> |
|                                                                  | SÍ CUMPLE                                    |

### Escenario 3: Con capa de lastre

El escenario 3 considera la colocación del pavimento sobre la estructura existente de lastre; dicho lastre está compuesto por una capa inferior que ha sido contaminada por los finos, y por una capa superior de mayor capacidad; en la sección de *Análisis de los resultados* se comenta con mayor detalle este escenario.

En el *Cuadro 22* se presentan algunos insumos necesarios para el diseño de pavimento flexible. Mientras en el *Cuadro 22* se muestra los resultados del diseño con AASHTO 1993 para esta alternativa, en dicho cuadro se verificó que el Número Estructural (SN) de las capas de diseño propuestas no superara el SN requerido u obtenido de AASHTO 1993. Además en la *Figura 58* se muestra esquemáticamente la estructuración de las capas de pavimento, incluyendo las capas de lastre superior e inferior.

| <b>Cuadro 22. Parámetros Iniciales De Diseño</b>  |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Tipo de pavimento                                 | Flexible  |
| Clasificación Funcional                           | Cantonal  |
| Tipo de vía                                       | Rural     |
| R (%)                                             | 70        |
| So                                                | 0,45      |
| Zr                                                | -0,524    |
| PSI inicial                                       | 4,2       |
| PSI terminal                                      | 2         |
| $\Delta$ PSI                                      | 2,2       |
| EEq ( $W_{18}$ )                                  | 181 825   |
| Módulo Resiliente de la Sub-rasante $M_R$ (psi)   | 1 500     |
| Módulo Resiliente del Lastre Superior $M_R$ (psi) | 13 147,06 |
| Módulo Resiliente del Lastre Inferior $M_R$ (psi) | 10 684,40 |

| Cuadro 23. Resumen Cálculo de los Espesores de Capa |         |                               |                                |                                   |                                             |                      |                    |                    |                                                 |                       |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Material                                            | CBR (%) | Módulo Resiliente $M_R$ (psi) | Coefficiente estructural $a_i$ | Coefficiente de drenaje $C_{m_i}$ | Número Estructural Requerido ( $SN_{req}$ ) | $H_{requerido}$ (cm) | $H_{colocar}$ (cm) | $H_{colocar}$ (in) | Número Estructural del Pavimento ( $SN_{pav}$ ) | Condición             |
| Carpeta Asfáltica                                   | -       | 400 000,00                    | 0,42                           | 1                                 | 1,32                                        | 8,00                 | 10,00              | 4                  | 1,65                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Base Granular                                       | 80      | 29 112,65                     | 0,135                          | 0,8                               | 1,74                                        | 2,31                 | 25,00              | 10                 | 2,70                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-base Granular                                   | 30      | 14 842,98                     | 0,108                          | 0,80                              | 1,83                                        | -25,77               | 30,00              | 12                 | 3,72                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Lastre Superior                                     | 20      | 13 147,06                     | 0,096                          | 0,80                              | 1,98                                        | -57,68               | 25,00              | 10                 | 4,48                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Lastre Inferior                                     | 10      | 10 684,40                     | 0,076                          | 0,80                              | 3,99                                        | -20,75               | 35,00              | 14                 | 5,31                                            | $SN_{req} < SN_{pav}$ |
| Sub-rasante                                         | 1       | 1 500,00                      | -                              | -                                 | -                                           | -                    | -                  | -                  | -                                               | -                     |
|                                                     |         |                               |                                |                                   |                                             | -93,89               | 125,00             | 50                 | -                                               | -                     |



**Figura 58.** Configuración de las capas del pavimento flexible.

## Análisis Mecanístico

En el *Cuadro 24* se presenta las deformaciones unitarias obtenidas mediante el programa 3D-Move Analysis.

En el *Cuadro 25* se muestra la deformación por fatiga de la carpeta, correspondiente a la deformación  $\epsilon_t$  del punto 1; y la deformación que provoca la deformación plástica de sub-rasante dada por la  $\epsilon_v$  del punto 6.

En el *Cuadro 25* los ejes equivalentes por fatiga son los más críticos al poseer el valor menor; por lo tanto, éstos son los ejes equivalentes de falla. Se verifica que los ejes equivalentes de diseño no superen los ejes equivalentes de la falla.

| <b>Cuadro 24. Deformaciones Unitarias obtenidas del programa 3D-Move Analysis</b> |                 |              |              |              |                                |                                |                                |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Punto                                                                             | Capa            | X-Coord (in) | Y-Coord (in) | Z-Coord (in) | $\epsilon_x$ ( $\times 10^6$ ) | $\epsilon_y$ ( $\times 10^6$ ) | $\epsilon_t$ ( $\times 10^6$ ) | $\epsilon_v$ ( $\times 10^6$ ) |
| 1                                                                                 | Carpeta         | 4,886        | 4,886        | 3,999        | -401,87                        | -403,48                        | -403,48                        | 495,15                         |
| 2                                                                                 | Base            | 4,886        | 4,886        | 9            | -282,5                         | -282,89                        | -282,89                        | 673,65                         |
| 3                                                                                 | Sub-base        | 4,886        | 4,886        | 20           | -174,2                         | -174,26                        | -174,26                        | 394,25                         |
| 4                                                                                 | Lastre Superior | 4,886        | 4,886        | 31           | -107,04                        | -107,06                        | -107,06                        | 213,16                         |
| 5                                                                                 | Lastre Inferior | 4,886        | 4,886        | 43           | -92,778                        | -92,786                        | -92,786                        | 154,19                         |
| 6                                                                                 | Sub-rasante     | 4,886        | 4,886        | 50,001       | -114,12                        | -114,13                        | -114,13                        | 262,37                         |

**Fuente:** Programa 3D-Move-Analysis, Versión 2.1.

| <b>Cuadro 25. Repeticiones de carga de diseño y requerido</b>               |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Deformación por Fatiga de la Carpeta $\epsilon_t$ ( $\times 10^{-6}$ )      | -403,480                                     |
| Deformación Plástica de la sub-rasante $\epsilon_{vs}$ ( $\times 10^{-6}$ ) | 262,370                                      |
| MR <sub>1</sub> (ksi)                                                       | 400                                          |
| EEq <sub>fatiga</sub> (45%)                                                 | 194 124,58                                   |
| EEq <sub>def. plástica</sub>                                                | 14 711 396,09                                |
| EEq <sub>falla</sub>                                                        | 194 124,58                                   |
| EEq <sub>diseño</sub>                                                       | 181 824,50                                   |
| Condición                                                                   | EEq <sub>diseño</sub> < EEq <sub>falla</sub> |
|                                                                             | SI CUMPLE                                    |

## Resumen del Diseño de Pavimento Flexible

En el Cuadro 26 se presenta el resumen en conjunto de las propiedades de las capas de las tres alternativas de pavimento flexible, las cuales son: CBR, Módulo Resiliente, Espesor de Capa, Numero Estructural SN, y Repeticiones de Carga (EEq)

| <b>Cuadro 26. Resumen del Diseño de las Alternativas de Pavimento Flexible</b> |                          |                    |                    |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                                                |                          | <b>Escenario 1</b> | <b>Escenario 2</b> | <b>Escenario 3</b> |
| <b>CBR (%)</b>                                                                 | <b>Carpeta Asfáltica</b> | -                  | -                  | -                  |
|                                                                                | <b>Base Granular</b>     | 80                 | 80                 | 80                 |
|                                                                                | <b>Sub-base Granular</b> | 30                 | 30                 | 30                 |
|                                                                                | <b>Lastre Superior</b>   | -                  | -                  | 20                 |
|                                                                                | <b>Lastre Inferior</b>   | -                  | -                  | 10                 |
|                                                                                | <b>Sub-rasante</b>       | 1                  | 14                 | 1                  |
|                                                                                |                          | <b>Escenario 1</b> | <b>Escenario 2</b> | <b>Escenario 3</b> |
| <b>Módulo Resiliente MR (PSI)</b>                                              | <b>Carpeta Asfáltica</b> | 400 000            | 400 000            | 400 000            |
|                                                                                | <b>Base Granular</b>     | 29 112,65          | 29 112,65          | 29 112,65          |
|                                                                                | <b>Sub-base Granular</b> | 14 842,98          | 14 842,98          | 14 842,98          |
|                                                                                | <b>Lastre Superior</b>   | -                  | -                  | 13 147,06          |
|                                                                                | <b>Lastre Inferior</b>   | -                  | -                  | 10 684,40          |
|                                                                                | <b>Sub-rasante</b>       | 1 500,00           | 11 676,34          | 1 500,00           |
|                                                                                |                          | <b>Escenario 1</b> | <b>Escenario 2</b> | <b>Escenario 3</b> |
| <b>Número Estructural (SN)</b>                                                 | <b>Carpeta Asfáltica</b> | 1,65               | 1,65               | 1,65               |
|                                                                                | <b>Base Granular</b>     | 2,92               | 2,70               | 2,70               |
|                                                                                | <b>Sub-base Granular</b> | 4,28               | 3,72               | 3,72               |
|                                                                                | <b>Lastre Superior</b>   | -                  | -                  | 4,48               |
|                                                                                | <b>Lastre Inferior</b>   | -                  | -                  | 5,31               |
|                                                                                |                          | <b>Escenario 1</b> | <b>Escenario 2</b> | <b>Escenario 3</b> |
| <b>Espesor (cm)</b>                                                            | <b>Carpeta Asfáltica</b> | 10                 | 10                 | 10                 |
|                                                                                | <b>Base Granular</b>     | 30                 | 25                 | 25                 |
|                                                                                | <b>Sub-base Granular</b> | 40                 | 30                 | 30                 |
|                                                                                | <b>Lastre Superior</b>   | -                  | -                  | 25                 |
|                                                                                | <b>Lastre Inferior</b>   | -                  | -                  | 35                 |
|                                                                                | <b>Espesor Total</b>     | 80                 | 65                 | 125                |

|                                            |                                                                      | <b>Escenario<br/>1</b> | <b>Escenario<br/>2</b> | <b>Escenario<br/>3</b> |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Repeticiones<br/>de Carga<br/>(EEq)</b> | <b>Deformación por Fatiga de la Carpeta<br/>(x10<sup>-6</sup>)</b>   | -399,87                | -404,37                | -403,48                |
|                                            | <b>Deformación Plástica de la Sub-rasante<br/>(x10<sup>-6</sup>)</b> | 519,95                 | 345,05                 | 262,37                 |
|                                            | <b>EEq por Fatiga de la Carpeta (45%)</b>                            | 200 001,46             | 192 722,01             | 194 124,58             |
|                                            | <b>EEq por Deformación Plástica de la Sub-<br/>rasante</b>           | 688 291,88             | 4 315<br>536,51        | 14 711<br>396,09       |
|                                            | <b>EEq de diseño</b>                                                 | 181 824,50             | 181 824,50             | 181 824,50             |

# Diseño de Pavimento Rígido

Al igual que en el pavimento flexible, en el rígido se consideran tres escenarios donde, el primero considera la colocación del pavimento directamente sobre un suelo sin estabilizar, el segundo que considera la estabilización de la sub-rasante con un aditivo, y el tercero que considera la colocación de la losa de concreto sobre el lastre existente.

Esta sección está conformada por cuatro partes: Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3, y Resumen del Diseño de Pavimento Rígido.

## Escenario 1: Sin estabilizar

En el escenario 1 se considera la colocación de una capa de sub-base con un CBR de 30% de acuerdo con el CR-2010; encima de esta capa se coloca la losa de concreto, contando con dovelas ubicadas en las juntas transversales y acero de amare en las juntas longitudinales. En la sección de *Análisis de los Resultados* se amplía las características de este escenario.

En el Cuadro 27, Cuadro 28, Cuadro 29, Cuadro 30; se presentan algunos insumos necesarios para el diseño de pavimento rígido.

| Cuadro 27. Módulo Resiliente Para Capa De Sub-base y Sub-rasante |         |                                 |
|------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------|
|                                                                  | CBR (%) | Módulo Resiliente final MR(psi) |
| Sub-rasante                                                      | 1       | 1 500                           |
| Sub-base                                                         | 30      | 14 842,98                       |

| Cuadro 28. Parámetros para la Sub-base Inferior a la Losa de Concreto |                   |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tipo de material de la capa inferior a la losa                        | Material granular |
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (cm)                      | 0                 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (in) | 0   |
| Espesor de la losa $D$ propuesto (in)            | 6,7 |
| Espesor de la Sub-base $D_{SB}$ (in)             | 5,9 |
| Pérdida de capacidad de soporte LS               | 2   |

Por medio del Cuadro 27 y el Cuadro 28, se presenta la afectación del Módulo de Reacción K por presencia de fundación rígida y por pérdida de soporte. De acuerdo con los informes de laboratorio no se encontró, presencia de fundación rígida o estrato rocoso, por lo tanto, el Módulo de Reacción K únicamente es afectado por pérdida de soporte.

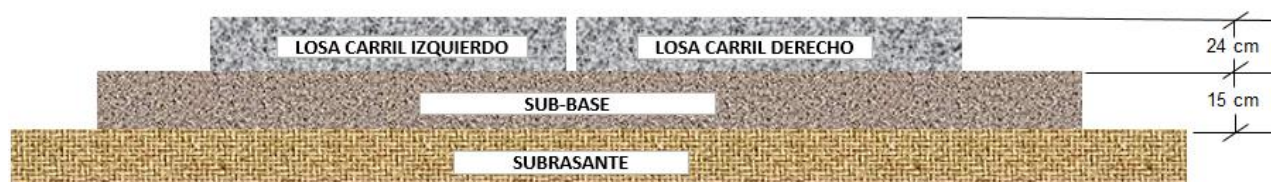
| Cuadro 29. Módulo De Reacción K Sin Variación Estacional Con Sub-base          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Módulo Resiliente de la Sub-rasante $M_R$ (psi)                                | 1 500,00  |
| Módulo Elástico de la Sub-base $E_{SB}$ (psi)                                  | 14 842,98 |
| Módulo de reacción compuesto $k_{\infty}$ (pci)                                | 93,93     |
| Módulo de reacción modificado por presencia de fundación rígida $k_{rf}$ (pci) | 93,93     |
| Módulo de reacción $K_{LS}$ (pci)                                              | 15,34     |

| <b>Cuadro 30. Parámetros Iniciales De Diseño</b> |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| Tipo de pavimento                                | Rígido              |
| Clasificación Funcional                          | Cantonal            |
| Tipo de vía                                      | Rural               |
| R (%)                                            | 70                  |
| Tipo de pavimento rígido                         | Jointed plain JPCP  |
| Tipo de espaldón                                 | Concreto Hidráulico |
| Dispositivos de transferencia de carga           | No                  |
| Capa inferior a la losa de concreto              | Sub-base            |
| So                                               | 0,35                |
| Zr                                               | -0,524              |
| PSI inicial $p_i$                                | 4,5                 |
| PSI terminal $p_t$                               | 2,0                 |
| $\Delta$ PSI                                     | 2,5                 |
| EEq ( $W_{18}$ )                                 | 276 765             |
| Coeficiente de drenaje $C_D$                     | 0,90                |
| Coeficiente de transmisión de carga J            | 3,90                |

|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 45           |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                 | 640          |
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi) | 4 053 655,04 |
| Módulo de reacción K (pci)                     | 15,34        |

En el *Cuadro 31* se presenta el cuadro de cálculo del espesor de losa y sub-base, primeramente se propone un espesor de sub-base de 15cm, y un espesor de losa de 17cm. El “espesor de losa obtenido” es el espesor de losa calculado mediante AASHTO 1993. En la *Figura 59* se presenta de manera gráfica la estratificación del pavimento rígido

| <b>Cuadro 31. Cálculo del Espesor de la Losa de Concreto</b> |                                     |                                     |                                    |                                    |                                   |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Espesor de la Sub-base DSB propuesto (cm)                    | Espesor de la losa D propuesto (cm) | Espesor de la losa D propuesto (in) | Espesor de la losa D obtenido (in) | Espesor de la losa D obtenido (cm) | Espesor de la losa D colocar (cm) | Espesor de la losa D colocar (in) |
| 15                                                           | 17                                  | 6,69                                | 6,56                               | 16,66                              | 24,00                             | 9,45                              |



**Figura 59.** Configuración de las capas del pavimento rígido.

En el *Cuadro 32* se presenta el cálculo de la separación entre juntas transversales, también llamado longitud de losa; y el cálculo de la separación de entre juntas longitudinales, llamado ancho de losa. En el caso de la separación entre juntas longitudinales es equivalente al ancho del carril, mientras que la separación entre juntas transversales ésta dada por los criterios mostrados en el *Cuadro 88*.

| <b>Cuadro 32. Separación Juntas Transversales y Longitudinales</b> |        |
|--------------------------------------------------------------------|--------|
| Ancho del sello de la junta Z (in)                                 | 0,2    |
| Espesor de losa $H_{losa}$ (in)                                    | 9,45   |
| Ancho calzada prom.(m)                                             | 6,07   |
| Ancho de la Losa (m)                                               | 3,04   |
| Ancho de la Losa (in)                                              | 119,52 |
| Longitud de la Losa (ft)                                           | 12,45  |
| Longitud de la Losa (m)                                            | 3,79   |
| Profundidad de la junta transversal (in)                           | 2,36   |
| Profundidad de la junta longitudinal (in)                          | 3,15   |

En el *Cuadro 33* se muestra los insumos necesarios para el cálculo de la capacidad de las dovelas de las juntas transversales. En dicho cuadro,  $P_{EEq}$  es el peso de un eje equivalente (18 000 lb),  $P_w$  es el peso de una llanta de un eje equivalente sencillo, mientras que  $P_{w/2}$  es la carga utilizada en el diseño; ya que, en una junta transversal con dovelas cada losa distribuye la mitad de la carga  $P_w$ .

En el diseño de las dovelas se propone un diámetro de dovela y se verifica el cumplimiento de las dovelas por capacidad como se muestra en el *Cuadro 34*.

| <b>Cuadro 33. Parámetros Para El Cálculo De Dovelas</b> |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Diámetro de dovela b (in)                               | 5/8          |
| Espaciamiento entre dovelas (in)                        | 12           |
| Módulo de interacción concreto-dovela $K_d$ (pci)       | 700 000      |
| $f'_c$ (psi)                                            | 5 057,59     |
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi)          | 4 053 655,04 |
| Módulo de Elasticidad del acero de dovela $E$ (psi)     | 29 000 000   |
| Módulo de Poisson $\mu$                                 | 0,15         |

|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| Módulo de reacción K (pci)              | 15,34  |
| Momento de Inercia I (in <sup>4</sup> ) | 0,01   |
| $\beta$                                 | 0,84   |
| Razón rigidez relativa L (in)           | 66,03  |
| 1,8*L (in)                              | 118,85 |
| P <sub>EEq</sub> (lb)                   | 18 000 |
| P <sub>w</sub> (lb)                     | 9 000  |
| P <sub>w/2</sub> (lb)                   | 4 500  |

| <b>Cuadro 34. Cargas, Esfuerzos y Capacidad de las Dovelas</b> |                            |                            |                 |                            |                            |                  |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| <b>Dovela</b>                                                  | <b>Pd<sub>1</sub> (kg)</b> | <b>Pd<sub>2</sub> (lb)</b> | <b>ΣPd (lb)</b> | <b>σ<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>f<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>CONDICIÓN</b> |
| 1                                                              | 825                        | 325                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 2                                                              | 741                        | 408                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 3                                                              | 658                        | 492                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 4                                                              | 575                        | 575                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 5                                                              | 492                        | 658                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 6                                                              | 408                        | 741                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 7                                                              | 325                        | 825                        | 1 150           | 3 361                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 8                                                              | 242                        | 741                        | 983             | 2 874                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 9                                                              | 159                        | 658                        | 817             | 2 387                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 10                                                             | 75                         | 575                        | 650             | 1 900                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |

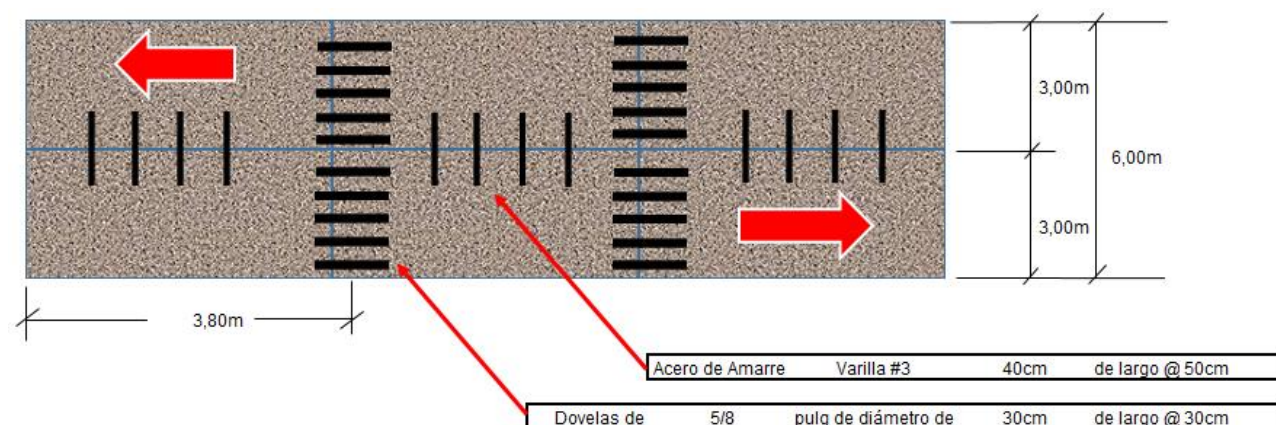
En el *Cuadro 34* se muestra las cargas por dovela, tanto Pd<sub>1</sub> como Pd<sub>2</sub> representan las cargas debidas a la llanta de la izquierda y derecha, respectivamente; por lo tanto, cada dovela distribuirá una fracción de la carga de ambas llantas; por lo cual, mediante dicho cuadro se verifica el cumplimiento de cada dovela de acuerdo a su capacidad.

Mientras que en el *Cuadro 35* se presenta el cálculo de las características del acero de amarre de las juntas longitudinales, como lo son: calibre acero, separación entre acero de amarre y longitud de varilla.

| <b>Cuadro 35. Cálculo de Acero de Amarre de la Junta Longitudinal</b> |                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (kg/m <sup>3</sup> )            | 2 400,00        |
| Grado del Acero                                                       | 40,00           |
| Tipo de Material Inferior a Losa de Concreto                          | Grava triturada |
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (pci)                           | 0,08652         |
| Espesor de Losa h (in)                                                | 9,45            |
| L' (in)                                                               | 119,52          |
| Factor $F_a$                                                          | 1,50            |
| Esfuerzo de Tensión Permisible $F_s$ (psi)                            | 27 000,00       |
| $A_s$ (in <sup>2</sup> /in)                                           | 0,00543         |
| $A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)                                            | 1,38            |
| Calibre de Varilla                                                    | Varilla #3      |
| $A_{varilla}$ (in <sup>2</sup> )                                      | 0,11            |
| $\varnothing_{varilla}$ (in)                                          | 0,38            |

|                                               |        |
|-----------------------------------------------|--------|
| Dist. Entre varillas de amarre S (in)         | 20,26  |
| Dist. Entre varillas de amarre S (cm)         | 51,00  |
| Esfuerzo de adherencia permisible $\mu$ (psi) | 350,00 |
| Long. De Varilla de Amarre t (in)             | 14,46  |
| Long. De Varilla de Amarre t (cm)             | 37,00  |

En la *Figura 60* se muestra la vista en planta del pavimento rígido, donde se presenta el ancho de losa, el largo de losa, y las características del acero de las juntas longitudinales y las dovelas de las juntas transversales.



**Figura 60.** Configuración de las dimensiones de losa y dovelas.

## Esfuerzos en la losa de concreto

En esta sección se obtiene los esfuerzos de borde, interior y de esquina, estas tres zonas están influidas por los esfuerzos de carga, esfuerzos térmicos, y los esfuerzos de fricción.

En el *Cuadro 36* se presenta los insumos necesarios para el cálculo de los esfuerzos de carga. La carga  $P$  es la debida a una llanta de un eje equivalente simple de 18 000 lb. Mientras que en el *Cuadro 37* se muestra un resumen de los esfuerzos de carga.

| <b>Cuadro 36. Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga</b> |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| P (lb)                                                    | 9000         |
| Presión Inflado $q$ (psi)                                 | 120          |
| Espesor $h$ (in)                                          | 9,45         |
| Radio $a$ (in)                                            | 4,89         |
| Razón Rigidez Relativa $I$ (in)                           | 66,03        |
| Módulo de Poisson $\mu$                                   | 0,15         |
| Módulo de reacción $K$ (pci)                              | 15,34        |
| Módulo de Elasticidad $MR$ (psi)                          | 4 053 655,04 |
| $1,724h$                                                  | 16,29        |
| Condición                                                 | $a < 1,724h$ |
| $b$ (in)                                                  | 4,91         |

| <b>Cuadro 37. Esfuerzos de carga</b>          |        |
|-----------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de esquina $\sigma_{ce}$ (psi) | 224,35 |

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de interior $\sigma_{ci}$ (psi)         | 177,91 |
| Esfuerzo carga de borde $\sigma_{cb}$ (psi)            | 367,26 |
| Esfuerzo de carga máximo $\sigma_{cm\acute{a}x}$ (psi) | 367,26 |

En el *Cuadro 38* se presenta los insumos necesarios para el cálculo de los esfuerzos de térmicos. De acuerdo con FHWA (2016), el coeficiente de dilatación térmica ronda en un rango entre  $4,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$  y  $7,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$ ; por lo tanto, se asume un coeficiente de dilatación térmica de  $5,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$ . Los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$ , se obtienen mediante la *Figura 44*. En el *Cuadro 39* se muestra un resumen de los esfuerzos térmicos.

| <b>Cuadro 38. Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos</b>           |              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| $\Delta t$ ( $^{\circ}\text{F/in}$ )                                | 1,0          |
| Coeficiente de dilatación térmica $\alpha$ ( $1/^{\circ}\text{F}$ ) | 0,000005     |
| Espesor $h$ (in)                                                    | 9,45         |
| Longitud de losa $B_x$ (m)                                          | 3,79         |
| Ancho de losa $B_y$ (m)                                             | 3,04         |
| Longitud de losa $B_x$ (in)                                         | 149,40       |
| Ancho de losa $B_y$ (in)                                            | 119,52       |
| Razón Rigidez Relativa $I$ (in)                                     | 66,03        |
| Módulo de Elasticidad del Concreto $MR$ (psi)                       | 4 053 655,04 |
| Módulo de Poisson $\mu$                                             | 0,15         |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| $B_x/l$ (in/in)   | 2,26  |
| $B_y/l$ (in/in)   | 1,81  |
| Coeficiente $C_1$ | 0,066 |
| Coeficiente $C_2$ | 0,025 |
| Coeficiente $C$   | 0,066 |

| <b>Cuadro 39. Resumen de esfuerzos térmicos</b>       |      |
|-------------------------------------------------------|------|
| Esfuerzo Térmico de Borde $\sigma_{tb}$ (psi)         | 6,34 |
| Esfuerzo Térmico del Interior $\sigma_{ti}$ (psi)     | 6,86 |
| Esfuerzo Térmico de la Esquina $\sigma_{te}$ (psi)    | 0,00 |
| Esfuerzo Térmico Máximo $\sigma_{tm\acute{a}x}$ (psi) | 6,86 |

| <b>Cuadro 40. Esfuerzos de fricción</b>                     |         |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (kg/m <sup>3</sup> )  | 2400    |
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (lb/ft <sup>3</sup> ) | 149,51  |
| Longitud de losa $L$ (ft)                                   | 12,45   |
| Factor $F_a$                                                | 1,50    |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psf)                    | 1396,03 |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)                    | 9,69    |

En el *Cuadro 40* se presenta el cálculo del esfuerzo de fricción donde el Factor  $F_a$  depende del tipo de material inferior a la losa de concreto, este factor se define mediante el *Cuadro 156*.

El *Cuadro 41* muestra un resumen de los esfuerzos calculados, donde se suman los esfuerzos en las zonas de borde, interior y esquina; los cuales no deben sobrepasar la capacidad de la losa representada por la división entre el Módulo de Ruptura del concreto y el Factor de Seguridad F.S.

| <b>Cuadro 41. Esfuerzos en la losa de concreto</b> |                                |                                |                                |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                    | Borde                          | Interior                       | Esquina                        |
| Esfuerzo de carga $\sigma_c$ (psi)                 | 367,26                         | 177,91                         | 224,35                         |
| Esfuerzo térmico $\sigma_t$ (psi)                  | 6,34                           | 6,86                           | 0,00                           |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)           | 9,69                           | 9,69                           | 9,69                           |
| Esfuerzo de total $\sigma_{total}$ (psi)           | 383,30                         | 194,46                         | 234,05                         |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                     | 640                            | 640                            | 640                            |
| F.S.                                               | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            |
| $S'_c / F.S.$                                      | 426,70                         | 426,70                         | 426,70                         |
| Condición                                          | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ |
|                                                    | SI CUMPLE                      | SI CUMPLE                      | SI CUMPLE                      |

## Escenario 2: Estabilizado con cal

En el escenario 2 se considera una capa de sub-base, con un CBR de 30% de acuerdo a CR-2010, colocada sobre la sub-rasante estabilizada con un 4% con un CBR de 14%. En la sección de *Análisis de los Resultados* se comenta de manera más amplia este escenario.

En el Cuadro 42, Cuadro 43, Cuadro 44, Cuadro 45, presenta los insumos necesarios para el diseño por medio de AASHTO 1993.

| <b>Cuadro 42. Módulo Resiliente Para Capa De Sub-base y Sub-rasante</b> |                |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|
|                                                                         | <b>CBR (%)</b> | <b>Módulo Resiliente final MR(psi)</b> |
| Sub-rasante                                                             | 14             | 11 676,34                              |
| Sub-base                                                                | 30             | 14 842,98                              |

| <b>Cuadro 43. Parámetros para la Sub-base Inferior a la Losa de Concreto</b> |                   |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tipo de material de la capa inferior a la losa                               | Material granular |
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (cm)                             | 0                 |
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (in)                             | 0                 |
| Espesor de la losa $D$ propuesto (in)                                        | 6,3               |
| Espesor de la Sub-base $D_{SB}$ (in)                                         | 5,9               |
| Pérdida de capacidad de soporte LS                                           | 2                 |

De acuerdo con los informes de laboratorio no se encontró la existencia de una fundación rígida o también llamada estrato rocoso; por lo tanto, el Módulo de Reacción K solamente es modificado por pérdida de soporte. En el Cuadro 44 se presenta la variación del Módulo de Reacción K.

| <b>Cuadro 44. Módulo De Reacción K Sin Variación Estacional Con Sub-base</b>   |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Módulo Resiliente de la Sub-rasante $M_R$ (psi)                                | 11 676,34 |
| Módulo Elástico de la Sub-base $E_{SB}$ (psi)                                  | 14 842,98 |
| Módulo de reacción compuesto $k_{\infty}$ (pci)                                | 513,83    |
| Módulo de reacción modificado por presencia de fundación rígida $k_{rf}$ (pci) | 513,83    |
| Módulo de reacción $K_{LS}$ (pci)                                              | 45,45     |

| <b>Cuadro 45. Parámetros Iniciales De Diseño</b> |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| Tipo de pavimento                                | Rígido              |
| Clasificación Funcional                          | Cantonal            |
| Tipo de vía                                      | Rural               |
| R (%)                                            | 70                  |
| Tipo de pavimento rígido                         | Jointed plain JPCP  |
| Tipo de espaldón                                 | Concreto Hidráulico |
| Dispositivos de transferencia de carga           | No                  |

|                                                |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Capa inferior a la losa de concreto            | Sub-base granular |
| So                                             | 0,35              |
| Zr                                             | -0,524            |
| PSI inicial $p_i$                              | 4,5               |
| PSI terminal $p_t$                             | 0,0               |
| $\Delta$ PSI                                   | 4,5               |
| EEq ( $W_{18}$ )                               | 276 765           |
| Coefficiente de drenaje $C_D$                  | 0,90              |
| Coefficiente de transmisión de carga J         | 3,90              |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 45                |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                 | 640               |
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi) | 4 053 655,04      |
| Módulo de reacción K (pci)                     | 45,45             |

En el *Cuadro 46* se muestra el espesor de losa de concreto obtenido y el espesor de losa a colocar. Mientras que en la *Figura 61* se esquematiza la estratificación de las capas del pavimento rígido.

| Cuadro 46. Cálculo del Espesor de la Losa de Concreto |                                     |                                     |                                    |                                    |                                   |                                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Espesor de la Sub-base DSB propuesto (cm)             | Espesor de la losa D propuesto (cm) | Espesor de la losa D propuesto (in) | Espesor de la losa D obtenido (in) | Espesor de la losa D obtenido (cm) | Espesor de la losa D colocar (cm) | Espesor de la losa D colocar (in) |
| 15                                                    | 16                                  | 6,30                                | 6,26                               | 15,89                              | 22,00                             | 8,66                              |



**Figura 61.** Configuración de las capas del pavimento rígido.

| <b>Cuadro 47. Separación Juntas Transversales y Longitudinales</b> |        |
|--------------------------------------------------------------------|--------|
| Ancho del sello de la junta Z (in)                                 | 0,2    |
| Espesor de losa $H_{losa}$ (in)                                    | 8,66   |
| Ancho calzada prom.(m)                                             | 6,07   |
| Ancho de la Losa (m)                                               | 3,04   |
| Ancho de la Losa (in)                                              | 119,52 |
| Longitud de la Losa (ft)                                           | 12,45  |
| Longitud de la Losa (m)                                            | 3,79   |
| Profundidad de la junta transversal (in)                           | 2,17   |
| Profundidad de la junta longitudinal (in)                          | 2,89   |

Del *Cuadro 40* se obtiene la separación de las juntas longitudinales (ancho de losa) y la separación entre juntas transversales (largo de losa), además de la profundidad de la junta para ambos tipos de junta.

En el *Cuadro 48* se presentan los insumos necesarios para el cálculo de las características de las dovelas de las juntas transversales. Se asume un diámetro de dovela y se verifica la capacidad de las dovelas en el *Cuadro 49*.

| <b>Cuadro 48. Parámetros para el cálculo de Dovelas</b> |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Diámetro de dovela b (in)                               | 5/8          |
| Espaciamiento entre dovelas (in)                        | 12           |
| Módulo de interacción concreto-dovela $K_d$ (pci)       | 700 000      |
| $f'_c$ (psi)                                            | 5 057,59     |
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi)          | 4 053 655,04 |
| Módulo de Elasticidad del acero de dovela $E$ (psi)     | 29 000 000   |
| Módulo de Poisson $\mu$                                 | 0,15         |
| Módulo de reacción $K$ (pci)                            | 45,45        |
| Momento de Inercia $I$ (in <sup>4</sup> )               | 0,01         |
| $\beta$                                                 | 0,84         |
| Razón rigidez relativa $L$ (in)                         | 47,15        |
| $1,8 \cdot L$ (in)                                      | 84,87        |
| $P_{EEq}$ (lb)                                          | 18 000       |
| $P_w$ (lb)                                              | 9 000        |
| $P_{w/2}$ (lb)                                          | 4 500        |

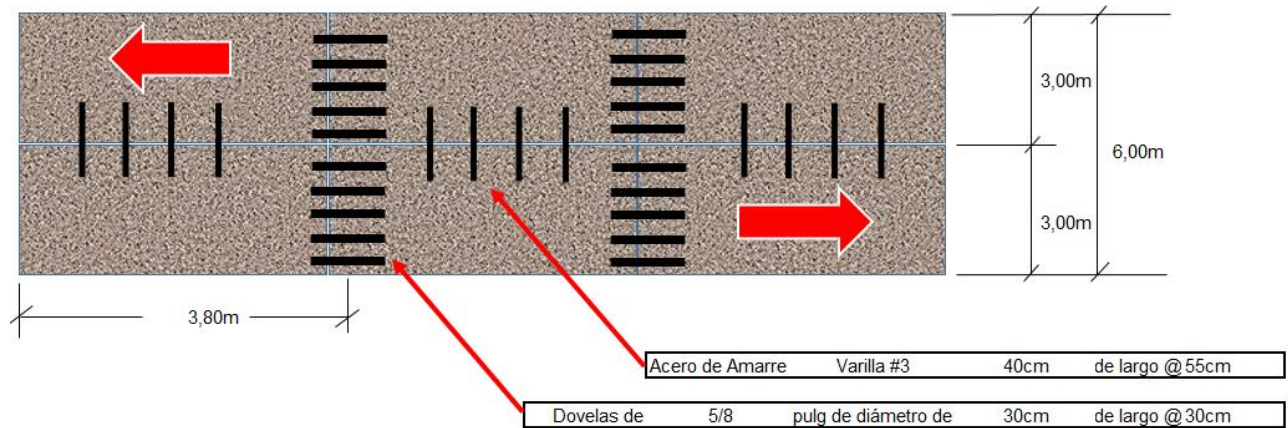
| <b>Cuadro 49. Cargas, Esfuerzos y Capacidad de las Dovelas</b> |                            |                            |                 |                            |                            |                  |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| <b>Dovela</b>                                                  | <b>Pd<sub>1</sub> (kg)</b> | <b>Pd<sub>2</sub> (lb)</b> | <b>ΣPd (lb)</b> | <b>σ<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>f<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>CONDICIÓN</b> |
| 1                                                              | 1 114                      | 169                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 2                                                              | 956                        | 326                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 3                                                              | 799                        | 484                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 4                                                              | 641                        | 641                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 5                                                              | 484                        | 799                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 6                                                              | 326                        | 956                        | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 7                                                              | 169                        | 1 114                      | 1 282           | 3 748                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 8                                                              | 11                         | 956                        | 968             | 2 828                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |

| <b>Cuadro 50. Cálculo de Acero de Amarre de la Junta Longitudinal</b> |                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Peso unitario del concreto γ <sub>c</sub> (kg/m <sup>3</sup> )        | 2 400,00        |
| Grado del Acero                                                       | 40,00           |
| Tipo de Material Inferior a Losa de Concreto                          | Grava triturada |
| Peso unitario del concreto γ <sub>c</sub> (pci)                       | 0,08652         |
| Espesor de Losa h (in)                                                | 8,66            |
| L' (in)                                                               | 119,52          |
| Factor F <sub>a</sub>                                                 | 1,50            |
| Esfuerzo de Tensión Permisible F <sub>s</sub> (psi)                   | 27 000,00       |
| As (in <sup>2</sup> /in)                                              | 0,00498         |
| As (cm <sup>2</sup> /m)                                               | 1,26            |
| Calibre de Varilla                                                    | Varilla #3      |
| A <sub>varilla</sub> (in <sup>2</sup> )                               | 0,11            |
| Ø <sub>varilla</sub> (in)                                             | 0,38            |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Dist. Entre varillas de amarre S (in)     | 22,11  |
| Dist. Entre varillas de amarre S (cm)     | 56,00  |
| Esfuerzo de adherencia permisible μ (psi) | 350,00 |
| Long. De Varilla de Amarre t (in)         | 14,46  |
| Long. De Varilla de Amarre t (cm)         | 37,00  |

Los resultados de cálculos del acero de amarre en las juntas longitudinales se muestran en el *Cuadro 50*; en dicho cuadro se obtiene el calibre de las varillas de amarre, separación entre varillas y la longitud de éstas.

El dimensionamiento de la losa de concreto, y las características de dovela y acero de amarre son presentadas en la *Figura 62*.



**Figura 62.** Configuración de las dimensiones de losa y dovelas.

## Esfuerzos en la losa de concreto

Los insumos necesarios para el cálculo de los esfuerzos de carga son mostrados en el *Cuadro 51*, donde la carga  $P$  es el peso de una llanta de un eje equivalente simple de 18 000lb. En el *Cuadro 52* se presenta un resumen de las los esfuerzos de carga localizados en el borde, interior y esquina de la losa. Mientras que en los insumos de cálculo de los esfuerzos térmicos son presentados en el *Cuadro 53*.

| <b>Cuadro 51. Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga</b> |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| P (lb)                                                    | 9000         |
| Presión Inflado $q$ (psi)                                 | 120          |
| Espesor $h$ (in)                                          | 8,66         |
| Radio $a$ (in)                                            | 4,89         |
| Razón Rigidez Relativa $I$ (in)                           | 47,15        |
| Módulo de Poisson $\mu$                                   | 0,15         |
| Módulo de reacción $K$ (pci)                              | 45,45        |
| Módulo de Elasticidad $MR$ (psi)                          | 4 053 655,04 |
| $1,724h$                                                  | 14,93        |
| Condición                                                 | $a < 1,724h$ |
| $b$ (in)                                                  | 4,79         |

| <b>Cuadro 52. Esfuerzos de carga</b>           |        |
|------------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de esquina $\sigma_{ce}$ (psi)  | 246,19 |
| Esfuerzo carga de interior $\sigma_{ci}$ (psi) | 191,15 |

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de borde $\sigma_{cb}$ (psi)            | 382,63 |
| Esfuerzo de carga máximo $\sigma_{cm\acute{a}x}$ (psi) | 382,63 |

| <b>Cuadro 53. Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos</b>    |              |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| $\Delta t$ ( $^{\circ}F/in$ )                                | 1,0          |
| Coeficiente de dilatación térmica $\alpha$ ( $1/^{\circ}F$ ) | 0,000005     |
| Espesor $h$ (in)                                             | 8,66         |
| Longitud de losa $B_x$ (m)                                   | 3,79         |
| Ancho de losa $B_y$ (m)                                      | 3,04         |
| Longitud de losa $B_x$ (in)                                  | 149,40       |
| Ancho de losa $B_y$ (in)                                     | 119,52       |
| Razón Rigidez Relativa $I$ (in)                              | 47,15        |
| Módulo de Elasticidad del Concreto $MR$ (psi)                | 4 053 655,04 |
| Módulo de Poisson $\mu$                                      | 0,15         |
| $B_x/I$ (in/in)                                              | 3,17         |
| $B_y/I$ (in/in)                                              | 2,53         |
| Coeficiente $C_1$                                            | 0,219        |
| Coeficiente $C_2$                                            | 0,100        |
| Coeficiente $C$                                              | 0,219        |

En el *Cuadro 54* se muestra el resumen de los esfuerzos térmicos calculados en el borde, interior y esquina de la losa. El esfuerzo de fricción, entre la losa y la capa inferior a ésta, es presentado en el *Cuadro 55*. El resumen de todos los esfuerzos para este escenario se muestra en el *Cuadro 56*; donde se verifica la capacidad de la losa frente a los esfuerzos aplicados.

| <b>Cuadro 54. Resumen de esfuerzos térmicos</b>       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| Esfuerzo Térmico de Borde $\sigma_{tb}$ (psi)         | 19,19 |
| Esfuerzo Térmico del Interior $\sigma_{ti}$ (psi)     | 20,99 |
| Esfuerzo Térmico de la Esquina $\sigma_{te}$ (psi)    | 0,00  |
| Esfuerzo Térmico Máximo $\sigma_{tm\acute{a}x}$ (psi) | 20,99 |

| <b>Cuadro 55. Esfuerzos de fricción</b>                     |         |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (kg/m <sup>3</sup> )  | 2400    |
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (lb/ft <sup>3</sup> ) | 149,51  |
| Longitud de losa L (ft)                                     | 12,45   |
| Factor $F_a$                                                | 1,50    |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psf)                    | 1396,03 |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)                    | 9,69    |

| <b>Cuadro 56. Esfuerzos en la losa de concreto</b> |                                |                                |                                |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                    | Borde                          | Interior                       | Esquina                        |
| Esfuerzo de carga $\sigma_c$ (psi)                 | 382,63                         | 191,15                         | 246,19                         |
| Esfuerzo térmico $\sigma_t$ (psi)                  | 19,19                          | 20,99                          | 0,00                           |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)           | 9,69                           | 9,69                           | 9,69                           |
| Esfuerzo de total $\sigma_{total}$ (psi)           | 411,51                         | 221,83                         | 255,89                         |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                     | 640                            | 640                            | 640                            |
| F.S.                                               | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            |
| $S'_c / F.S.$                                      | 426,70                         | 426,70                         | 426,70                         |
| Condición                                          | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ |
|                                                    | SI CUMPLE                      | SI CUMPLE                      | SI CUMPLE                      |

### Escenario 3: Con capa de lastre

En este escenario se considera que la losa de concreto se coloca sobre el lastre existente, dicho lastre permite que la losa de concreto no se encuentre en contacto con los finos de la subrasante evitando el deterioro prematuro de la losa. En la sección de *Análisis de los Resultados* se explica con más detalle esta alternativa.

Los insumos necesarios para el diseño del pavimento rígido son mostrados en el *Cuadro 57*, *Cuadro 58*, *Cuadro 59*, *Cuadro 60*.

Ya que, en los informes de laboratorio no mostraron presencia de estrato rocoso o también llamado fundación rígida, el Módulo de Reacción K únicamente es modificado por pérdida de soporte como se indica en el *Cuadro 58*, *Cuadro 59*.

Es importante destacar que únicamente en este escenario se considera que el lastre funcionará como sub-rasante, esto con la finalidad de facilitar el diseño con AASHTO 1993; ya que, no se conoce con exactitud el CBR o el Módulo Resiliente de esta capa se supone para efectos del diseño que CBR de la capa Lastre/Sub-rasante es el mismo que el de la capa inferior de lastre; es decir, 10%.

| <b>Cuadro 57. Módulo Resiliente Para Capa De Sub-base y Sub-rasante</b> |         |                                 |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------|
|                                                                         | CBR (%) | Módulo Resiliente final MR(psi) |
| Sub-rasante                                                             | 10      | 9 274,01                        |
| Sub-base                                                                | 30      | 14 842,98                       |

| <b>Cuadro 58. Parámetros para el Lastre Inferior a la Losa de Concreto</b> |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tipo de material de la capa inferior a la losa                             | Material granular |
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (cm)                           | 0                 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Profundidad de la fundación rígida $D_{SG}$ (in) | 0   |
| Espesor de la losa D propuesto (in)              | 6,3 |
| Espesor de la Sub-base $D_{SB}$ (in)             | 5,9 |
| Pérdida de capacidad de soporte LS               | 2   |

| <b>Cuadro 59. Módulo De Reacción K Sin Variación Estacional</b>                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Módulo Resiliente de la Subrasante $M_R$ (psi)                                 | 9 274     |
| Módulo Elástico de la Sub-base (psi)                                           | 14 842,98 |
| Módulo de reacción compuesto $k_{\infty}$ (pci)                                | 424,60    |
| Módulo de reacción modificado por presencia de fundación rígida $k_{rf}$ (pci) | 424,60    |
| Módulo de reacción $K_{LS}$ (pci)                                              | 40,23     |

| <b>Cuadro 60. Parámetros Iniciales De Diseño</b> |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| Tipo de pavimento                                | Rígido              |
| Clasificación Funcional                          | Cantonal            |
| Tipo de vía                                      | Rural               |
| R (%)                                            | 70                  |
| Tipo de pavimento rígido                         | Jointed plain JPCP  |
| Tipo de espaldón                                 | Concreto Hidráulico |

|                                                |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Dispositivos de transferencia de carga         | No                |
| Capa inferior a la losa de concreto            | Sub-base granular |
| So                                             | 0,35              |
| Zr                                             | -0,524            |
| PSI inicial $p_i$                              | 4,5               |
| PSI terminal $p_t$                             | 0,0               |
| $\Delta$ PSI                                   | 4,5               |
| EEq ( $W_{18}$ )                               | 276 765           |
| Coeficiente de drenaje $C_D$                   | 0,90              |
| Coeficiente de transmisión de carga J          | 3,90              |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 45                |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                 | 640,05            |

|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi) | 4 053 655,04 |
| Módulo de reacción K (pci)                     | 40,23        |

En el *Cuadro 61* y en la *Figura 63* se presentan los espesores de sub-base y de losa para este escenario.

| Cuadro 61. Cálculo del Espesor de la Losa de Concreto |                                     |                                     |                                    |                                    |                                   |                                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Espesor del lastre propuesto (cm)                     | Espesor de la losa D propuesto (cm) | Espesor de la losa D propuesto (in) | Espesor de la losa D obtenido (in) | Espesor de la losa D obtenido (cm) | Espesor de la losa D colocar (cm) | Espesor de la losa D colocar (in) |
| 15                                                    | 16                                  | 6,30                                | 6,30                               | 15,99                              | 22,00                             | 8,66                              |



**Figura 63.** Configuración de las capas del pavimento rígido.

| <b>Cuadro 62. Separación Juntas Transversales y Longitudinales</b> |        |
|--------------------------------------------------------------------|--------|
| Ancho del sello de la junta Z (in)                                 | 0,2    |
| Espesor de losa $H_{losa}$ (in)                                    | 8,66   |
| Ancho calzada prom.(m)                                             | 6,07   |
| Ancho de la Losa (m)                                               | 3,04   |
| Ancho de la Losa (in)                                              | 119,52 |
| Longitud de la Losa (ft)                                           | 12,45  |
| Longitud de la Losa (m)                                            | 3,79   |
| Profundidad de la junta transversal (in)                           | 2,17   |
| Profundidad de la junta longitudinal (in)                          | 2,89   |

En el *Cuadro 62* se presenta el resultado del cálculo de la separación de las juntas longitudinales (ancho de losa) y la separación de las juntas transversales (largo de la losa), además de la profundidad de la junta transversal y longitudinal. Los insumos a para el cálculo de dovelas son indicados en el *Cuadro 63*, mientras que la verificación de la capacidad de las dovelas es mostrado en el *Cuadro 64*.

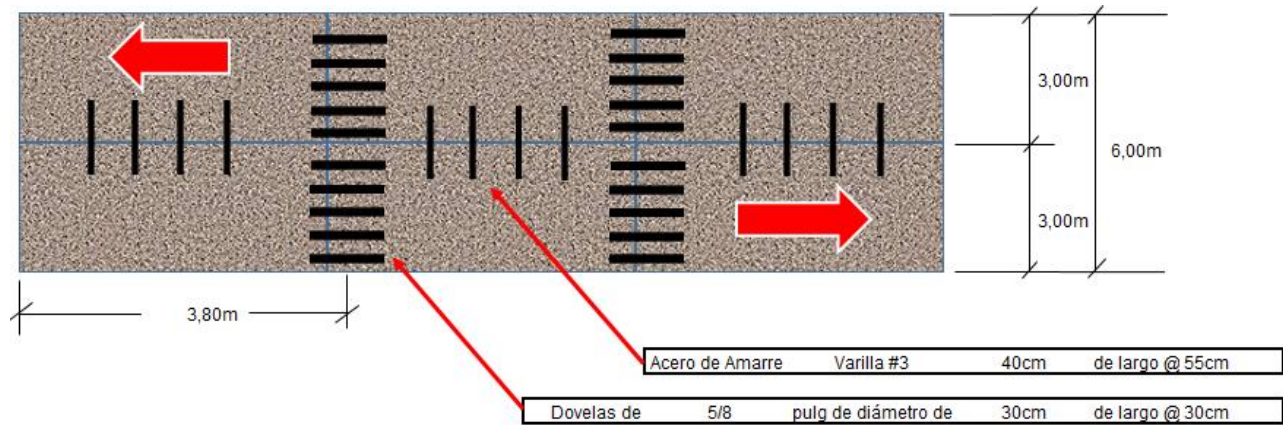
| <b>Cuadro 63. Parámetros para el Cálculo de Dovelas</b> |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Diámetro de dovela b (in)                               | 5/8          |
| Espaciamiento entre dovelas (in)                        | 12           |
| Módulo de interacción concreto-dovela $K_d$ (pci)       | 700 000      |
| $f'_c$ (psi)                                            | 5 057,59     |
| Módulo de Elasticidad del concreto $E_c$ (psi)          | 4 053 655,04 |
| Módulo de Elasticidad del acero de dovela $E$ (psi)     | 29 000 000   |
| Módulo de Poisson $\mu$                                 | 0,15         |
| Módulo de reacción K (pci)                              | 40,23        |
| Momento de Inercia I (in <sup>4</sup> )                 | 0,01         |
| $\beta$                                                 | 0,84         |
| Razón rigidez relativa L (in)                           | 48,61        |
| 1,8*L (in)                                              | 87,49        |
| $P_{EEq}$ (lb)                                          | 18 000       |
| $P_w$ (lb)                                              | 9 000        |
| $P_{w/2}$ (lb)                                          | 4 500        |

| <b>Cuadro 64. Cargas, Esfuerzos y Capacidad de las Dovelas</b> |                            |                            |                 |                            |                            |                  |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| <b>Dovela</b>                                                  | <b>Pd<sub>1</sub> (kg)</b> | <b>Pd<sub>2</sub> (lb)</b> | <b>ΣPd (lb)</b> | <b>σ<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>f<sub>b</sub> (psi)</b> | <b>CONDICIÓN</b> |
| 1                                                              | 1 082                      | 192                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 2                                                              | 933                        | 340                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 3                                                              | 785                        | 488                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 4                                                              | 637                        | 637                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 5                                                              | 488                        | 785                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 6                                                              | 340                        | 933                        | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 7                                                              | 192                        | 1 082                      | 1 273           | 3 722                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |
| 8                                                              | 43                         | 933                        | 977             | 2 854                      | 5 690                      | SI CUMPLE        |

| <b>Cuadro 65. Cálculo de Acero de Amarre de la Junta Longitudinal</b> |                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Peso unitario del concreto γ <sub>c</sub> (kg/m <sup>3</sup> )        | 2 400,00        |
| Grado del Acero                                                       | 40,00           |
| Tipo de Material Inferior a Losa de Concreto                          | Grava triturada |
| Peso unitario del concreto γ <sub>c</sub> (pci)                       | 0,08652         |
| Espesor de Losa h (in)                                                | 8,66            |
| L' (in)                                                               | 119,52          |
| Factor F <sub>a</sub>                                                 | 1,50            |
| Esfuerzo de Tensión Permisible F <sub>s</sub> (psi)                   | 27 000,00       |
| As (in <sup>2</sup> /in)                                              | 0,00498         |
| As (cm <sup>2</sup> /m)                                               | 1,26            |
| Calibre de Varilla                                                    | Varilla #3      |
| A <sub>varilla</sub> (in <sup>2</sup> )                               | 0,11            |
| Ø <sub>varilla</sub> (in)                                             | 0,38            |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Dist. Entre varillas de amarre S (in)     | 22,11  |
| Dist. Entre varillas de amarre S (cm)     | 56,00  |
| Esfuerzo de adherencia permisible μ (psi) | 350,00 |
| Long. De Varilla de Amarre t (in)         | 14,46  |
| Long. De Varilla de Amarre t (cm)         | 37,00  |

Las propiedades del acero de amarre de las juntas longitudinales, como lo son: calibre, ancho y separación de las varillas de amarre son presentados en *Cuadro 65*. La *Figura 64* muestra en esquema de las propiedades obtenidas de dimensionamiento, dovelas y acero de amarre.



**Figura 64.** Configuración de las dimensiones de losa y dovelas.

## Esfuerzos en la losa de concreto

En el *Cuadro 66* es presentado los insumos necesarios para calcular los esfuerzos de carga, uno de ellos es la carga P, dicha carga es el peso una llanta de un eje equivalente de 18 000 lb. El resumen de los esfuerzos de los esfuerzos de carga se muestra en *Cuadro 67*.

| <b>Cuadro 66. Parámetros Iniciales Esfuerzos de Carga</b> |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| P (lb)                                                    | 9000         |
| Presión Inflado q (psi)                                   | 120          |
| Espesor h (in)                                            | 8,66         |
| Radio a (in)                                              | 4,89         |
| Razón Rigidez Relativa I (in)                             | 48,61        |
| Módulo de Poisson $\mu$                                   | 0,15         |
| Módulo de reacción K (pci)                                | 40,23        |
| Módulo de Elasticidad MR (psi)                            | 4 053 655,04 |
| 1,724h                                                    | 14,93        |
| Condición                                                 | $a < 1,724h$ |
| b (in)                                                    | 4,79         |

| <b>Cuadro 67. Esfuerzos de carga</b>           |        |
|------------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de esquina $\sigma_{ce}$ (psi)  | 248,26 |
| Esfuerzo carga de interior $\sigma_{ci}$ (psi) | 193,16 |

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Esfuerzo carga de borde $\sigma_{cb}$ (psi)            | 387,53 |
| Esfuerzo de carga máximo $\sigma_{cm\acute{a}x}$ (psi) | 387,53 |

| <b>Cuadro 68. Parámetros Iniciales Esfuerzos Térmicos</b> |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| $\Delta t$ (°F/in)                                        | 1,0          |
| Coeficiente de dilatación térmica $\alpha$ (1/°F)         | 0,000005     |
| Espesor h (in)                                            | 8,66         |
| Longitud de losa Bx (m)                                   | 3,79         |
| Ancho de losa By (m)                                      | 3,04         |
| Longitud de losa Bx (in)                                  | 149,40       |
| Ancho de losa By (in)                                     | 119,52       |
| Razón Rigidez Relativa I (in)                             | 48,61        |
| Módulo de Elasticidad del Concreto MR (psi)               | 4 053 655,04 |
| Módulo de Poisson $\mu$                                   | 0,15         |
| $B_x/I$ (in/in)                                           | 3,07         |
| $B_y/I$ (in/in)                                           | 2,46         |
| Coeficiente $C_1$                                         | 0,194        |
| Coeficiente $C_2$                                         | 0,090        |
| Coeficiente C                                             | 0,194        |

En el *Cuadro 68* se presentan los insumos que se necesitan para el cálculo de los esfuerzos térmicos y el resultado de éstos se muestra en el *Cuadro 69*.

El cálculo del esfuerzo de fricción es mostrado en el *Cuadro 70*, mientras que el resumen de todos los esfuerzos de borde, interior y de esquina es presentado en el *Cuadro 71*; donde se verifica que la capacidad de la losa que está dada por el Módulo de Ruptura entre el Factor de Seguridad, no se vea superado por el esfuerzo total de borde, el esfuerzo total interior y por el esfuerzo total de esquina.

| <b>Cuadro 69. Resumen de esfuerzos térmicos</b>       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| Esfuerzo Térmico de Borde $\sigma_{tb}$ (psi)         | 17,03 |
| Esfuerzo Térmico del Interior $\sigma_{ti}$ (psi)     | 18,63 |
| Esfuerzo Térmico de la Esquina $\sigma_{te}$ (psi)    | 0,00  |
| Esfuerzo Térmico Máximo $\sigma_{tm\acute{a}x}$ (psi) | 18,63 |

| <b>Cuadro 70. Esfuerzos de fricción</b>                     |         |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (kg/m <sup>3</sup> )  | 2400    |
| Peso unitario del concreto $\gamma_c$ (lb/ft <sup>3</sup> ) | 149,51  |
| Longitud de losa L (ft)                                     | 12,45   |
| Factor $F_a$                                                | 1,50    |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psf)                    | 1396,03 |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)                    | 9,69    |

| <b>Cuadro 71. Esfuerzos en la losa de concreto</b> |                                |                                |                                |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                    | Borde                          | Interior                       | Esquina                        |
| Esfuerzo de carga $\sigma_c$ (psi)                 | 387,53                         | 193,16                         | 248,26                         |
| Esfuerzo térmico $\sigma_t$ (psi)                  | 17,03                          | 18,63                          | 0,00                           |
| Esfuerzo de fricción $\sigma_{fr}$ (psi)           | 9,69                           | 9,69                           | 9,69                           |
| Esfuerzo de total $\sigma_{total}$ (psi)           | 414,25                         | 221,49                         | 257,95                         |
| Módulo de Ruptura $S'_c$ (psi)                     | 640                            | 640                            | 640                            |
| F.S.                                               | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            |
| $S'_c$ /F.S.                                       | 426,70                         | 426,70                         | 426,70                         |
| Condición                                          | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ | $\sigma_{total} < S'_c / F.S.$ |
|                                                    | SÍ CUMPLE                      | SÍ CUMPLE                      | SÍ CUMPLE                      |

## Resumen del Diseño de Pavimento Rígido

El Cuadro 72 se presenta un resumen de los diseño de las tres alternativas de pavimento rígido; en este cuadro se indican propiedades de los escenarios como lo son CBR, Módulo Resiliente, Módulo de Ruptura del concreto, Módulo de Reacción K, espesor de capa, acero de dovelas en las juntas transversales, y acero de amarre en las juntas longitudinales.

| <b>Cuadro 72. Resumen del Diseño de las Alternativas de Pavimento Rígido</b> |                                              |                        |                        |                        |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                                              |                                              | <b>Escenario<br/>1</b> | <b>Escenario<br/>2</b> | <b>Escenario<br/>3</b> |
| <b>CBR (%)</b>                                                               | <b>Sub-base</b>                              | 30                     | 30                     | 30                     |
|                                                                              | <b>Sub-rasante</b>                           | 1                      | 14                     | 10                     |
| <b>Módulo Resiliente MR<br/>(psi)</b>                                        | <b>Sub-base</b>                              | 14 842,98              | 14 842,98              | 14 842,98              |
|                                                                              | <b>Sub-rasante</b>                           | 1 500,00               | 11 676,34              | 9 274,01               |
| <b>Módulo de Ruptura S'c</b>                                                 | <b>kg/cm<sup>2</sup></b>                     | 45                     | 45                     | 45                     |
|                                                                              | <b>lb/in<sup>2</sup></b>                     | 640,05                 | 640,05                 | 640,05                 |
| <b>Módulo de Reacción K</b>                                                  | <b>kg/cm<sup>3</sup></b>                     | 0,426                  | 1,261                  | 1,116                  |
|                                                                              | <b>lb/in<sup>3</sup></b>                     | 15,34                  | 45,45                  | 40,23                  |
| <b>Espesor (cm)</b>                                                          | <b>Losa de Concreto</b>                      | 24                     | 22                     | 22                     |
|                                                                              | <b>Sub-base</b>                              | 15                     | 15                     | 15                     |
| -                                                                            | <b>Ancho de Losa (m)</b>                     | 3,80                   | 3,80                   | 3,80                   |
|                                                                              | <b>Longitud de Losa (m)</b>                  | 3,00                   | 3,00                   | 3,00                   |
| <b>Dovelas en las Juntas<br/>Transversales</b>                               | <b>Diámetro Dovela (in)</b>                  | 5/8                    | 5/8                    | 5/8                    |
|                                                                              | <b>Longitud de Dovela (cm)</b>               | 30                     | 30                     | 30                     |
|                                                                              | <b>Espaciamiento entre<br/>Dovelas (cm)</b>  | 30                     | 30                     | 30                     |
| <b>Acero de Amarre en<br/>Juntas Longitudinales</b>                          | <b>Calibre de Varilla</b>                    | #3                     | #3                     | #3                     |
|                                                                              | <b>Longitud de Varilla (cm)</b>              | 40                     | 40                     | 40                     |
|                                                                              | <b>Espaciamiento entre<br/>Varillas (cm)</b> | 50                     | 55                     | 55                     |
| <b>Esfuerzos en la Losa</b>                                                  | <b>Factor de Seguridad (F.S.)</b>            | 1,5                    | 1,5                    | 1,5                    |
|                                                                              | <b>S'c/F.S.</b>                              | 426,70                 | 426,70                 | 426,70                 |
|                                                                              | <b>Esfuerzo de Borde (psi)</b>               | 383,30                 | 411,51                 | 414,25                 |
|                                                                              | <b>Esfuerzo Interior (psi)</b>               | 194,46                 | 221,83                 | 221,49                 |
|                                                                              | <b>Esfuerzo Esquina (psi)</b>                | 234,05                 | 255,89                 | 257,95                 |

# Modelación de desempeño con HDM-4

En esta sección se muestra una parte de los informes generados mediante la herramienta HDM-4. Esta sección está compuesta de cuatro partes: Variación del Tráfico, Deterioro anual de la calzada, Intervenciones Viales por año, y Análisis Económico

## Variación del Tráfico

En la *Figura 65* se aprecia el Gráfico de Intensidad Media Diaria (IMD) por tramos, donde se observa la variación de la Intensidad Media Anual (IMD) durante el período de análisis para todas las alternativas

En el *Cuadro 73* se muestra el IMD anual seccionado por tipo de vehículo: Liviano o Automóvil, Camión C2, Camión C3 y camioneta de carga ligera CL.

**HDM - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Gráfico Intensidad Media Diaria por Tramos

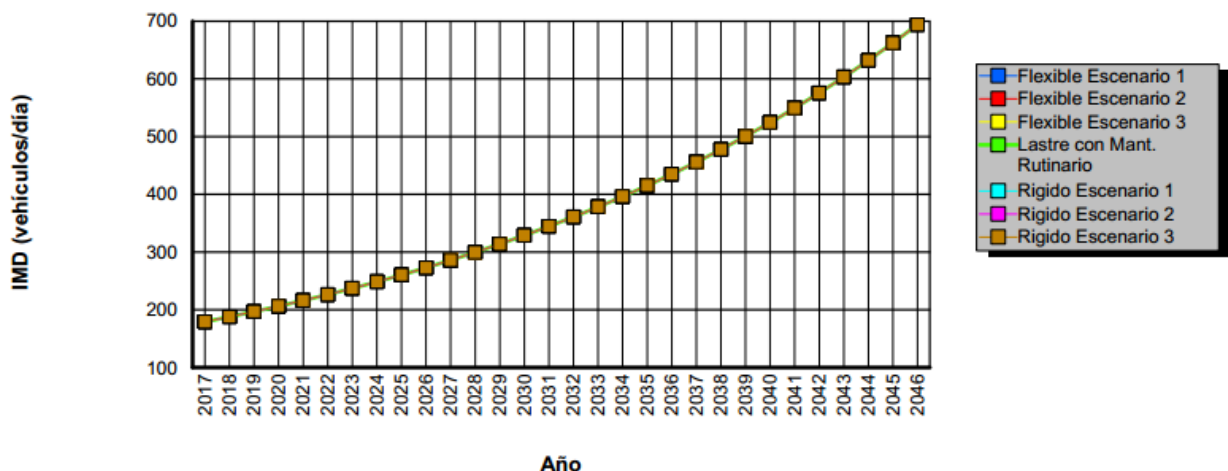
Nombre del Estudio: **Análisis Comparativo de Pavimentos**

Fecha de Ejecución: **01-08-2016**

### Detalles del Tramo:

ID: 3-08-153      Tipo de Carretera: Tertiary or Local  
Descripción: Camino Cantonal Guayabal-Guatuso      Longitud: 1.63km      Rampa + Pendiente: 23.00m/km  
Ancho: 6.00m      Curvatura: 35.00 %/km

### Intensidad Media Diaria (IMD) para Vehículos Motorizados



**Figura 65.** Intensidad Media Diaria por Escenarios

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

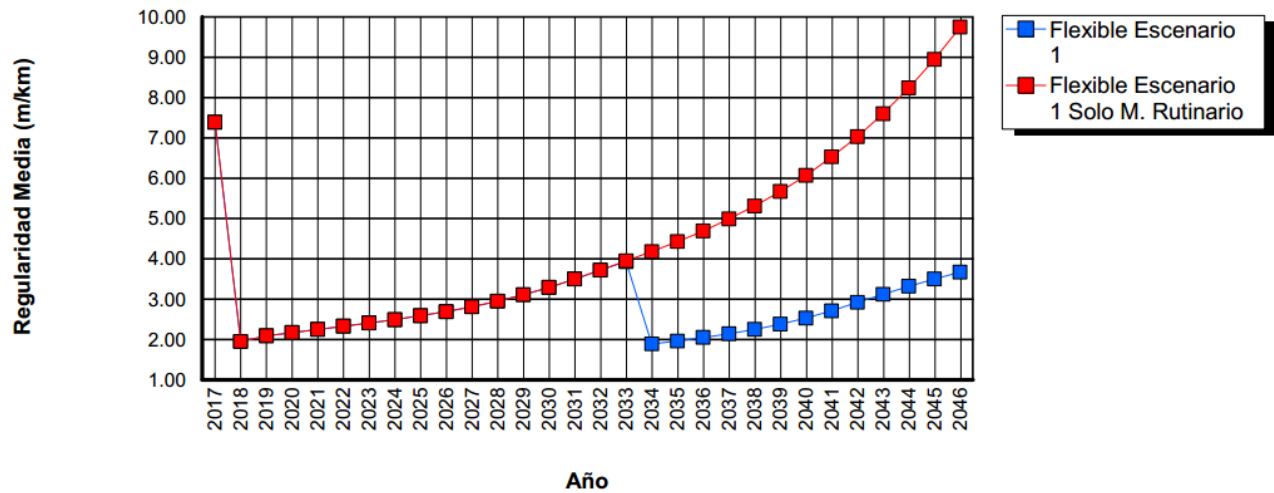
| Cuadro 73. Intensidad de Tráfico Vehicular |               |               |               |               |       |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
|                                            | Automóvil     | Camión C2     | Camión C3     | Camioneta CL  | TOTAL |
| Año                                        | IMD (veh/día) | IMD (veh/día) | IMD (veh/día) | IMD (veh/día) |       |
| 2016                                       | 97            | 12            | 2             | 60            | 171   |
| 2017                                       | 102           | 13            | 2             | 63            | 180   |
| 2018                                       | 106           | 13            | 2             | 66            | 188   |
| 2019                                       | 112           | 14            | 2             | 69            | 197   |
| 2020                                       | 117           | 14            | 2             | 72            | 206   |
| 2021                                       | 123           | 15            | 3             | 76            | 216   |
| 2022                                       | 128           | 16            | 3             | 79            | 226   |
| 2023                                       | 134           | 17            | 3             | 83            | 237   |
| 2024                                       | 141           | 17            | 3             | 87            | 248   |
| 2025                                       | 148           | 18            | 3             | 91            | 260   |
| 2026                                       | 155           | 19            | 3             | 96            | 273   |
| 2027                                       | 162           | 20            | 3             | 100           | 286   |
| 2028                                       | 170           | 21            | 4             | 105           | 299   |
| 2029                                       | 178           | 22            | 4             | 110           | 314   |
| 2030                                       | 186           | 23            | 4             | 115           | 329   |
| 2031                                       | 195           | 24            | 4             | 121           | 344   |
| 2032                                       | 205           | 25            | 4             | 127           | 361   |
| 2033                                       | 215           | 27            | 4             | 133           | 378   |
| 2034                                       | 225           | 28            | 5             | 139           | 396   |
| 2035                                       | 236           | 29            | 5             | 146           | 415   |
| 2036                                       | 247           | 31            | 5             | 153           | 435   |
| 2037                                       | 259           | 32            | 5             | 160           | 456   |
| 2038                                       | 271           | 34            | 6             | 168           | 478   |
| 2039                                       | 284           | 35            | 6             | 176           | 500   |
| 2040                                       | 297           | 37            | 6             | 184           | 524   |
| 2041                                       | 312           | 39            | 6             | 193           | 549   |
| 2042                                       | 327           | 40            | 7             | 202           | 576   |
| 2043                                       | 342           | 42            | 7             | 212           | 603   |
| 2044                                       | 359           | 44            | 7             | 222           | 632   |
| 2045                                       | 376           | 47            | 8             | 232           | 662   |
| 2046                                       | 394           | 49            | 8             | 244           | 694   |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

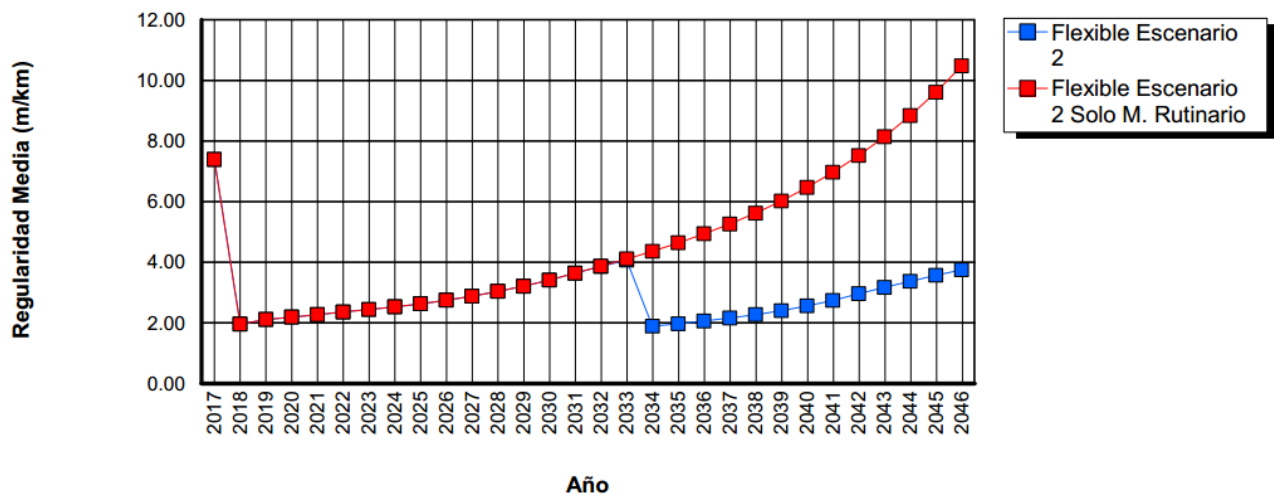
## Deterioro anual de la calzada

En la *Figura 66*, *Figura 67*, *Figura 68*, *Figura 69*, *Figura 70*, *Figura 71*, se presentan curvas de deterioro para cada uno de los seis escenarios utilizando como indicador de deterioro el Índice de Regularidad Internacional (IRI); ya que, éste es el indicador por defecto de la herramienta HDM-4; cada figura muestra el comportamiento del pavimento en dos condiciones, una con la conservación vial correspondiente y otra únicamente con mantenimiento rutinario; esto con

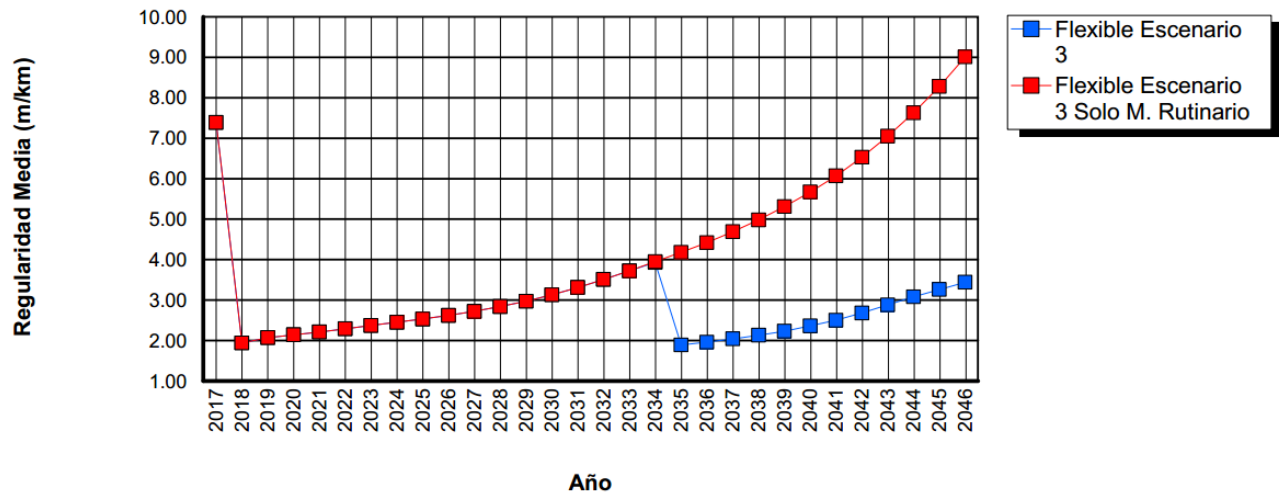
el fin de mostrar el comportamiento del pavimento en caso de que únicamente se aplique un mantenimiento mínimo o casi nulo.



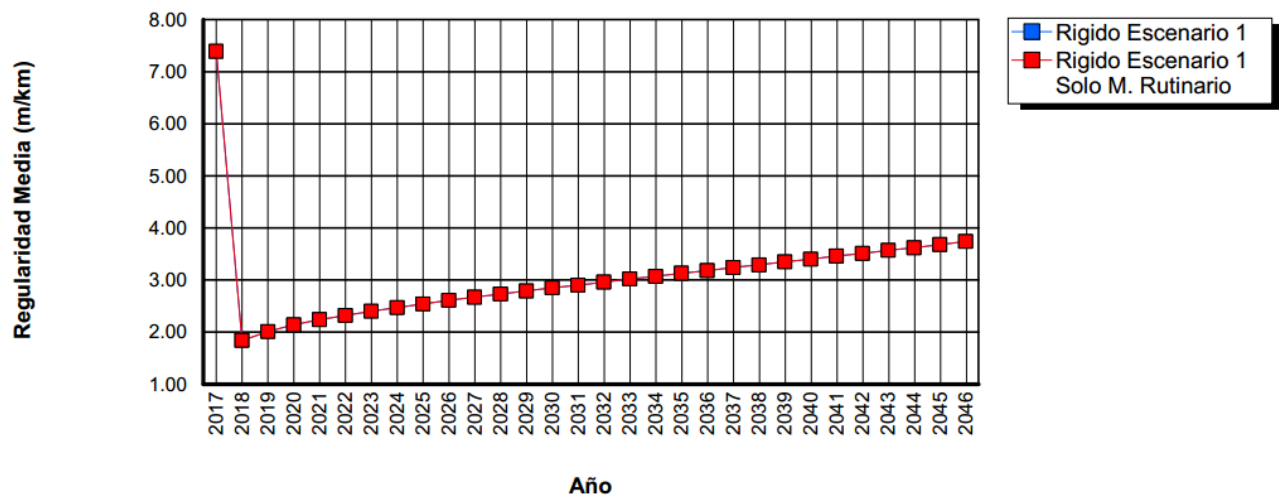
**Figura 66.** Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 1  
Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.



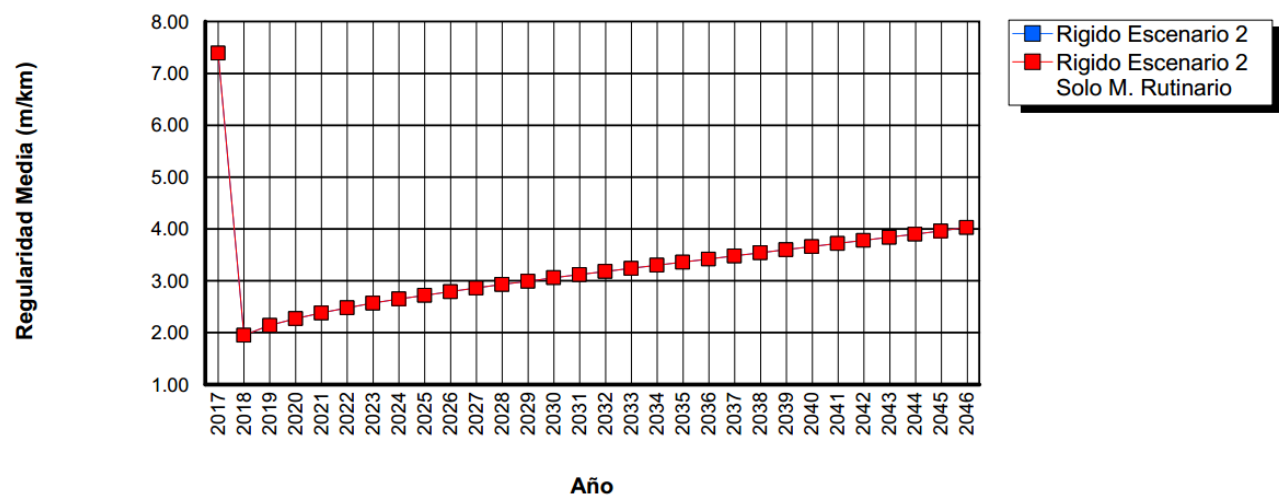
**Figura 67.** Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 2  
Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.



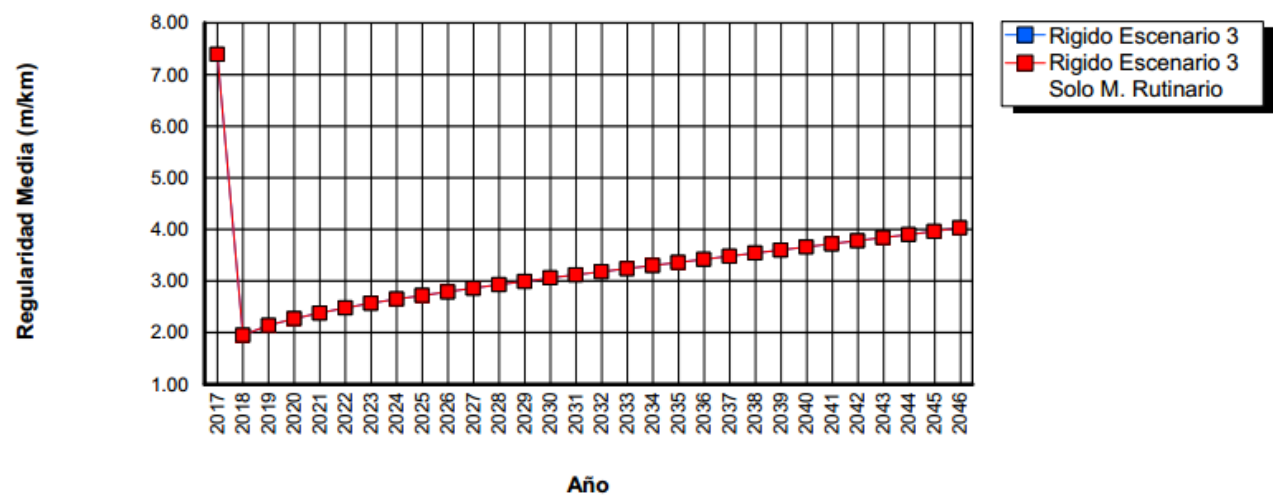
**Figura 68.** Gráfico de Variación del IRI de Flexible Escenario 3  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 69.** Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 1  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

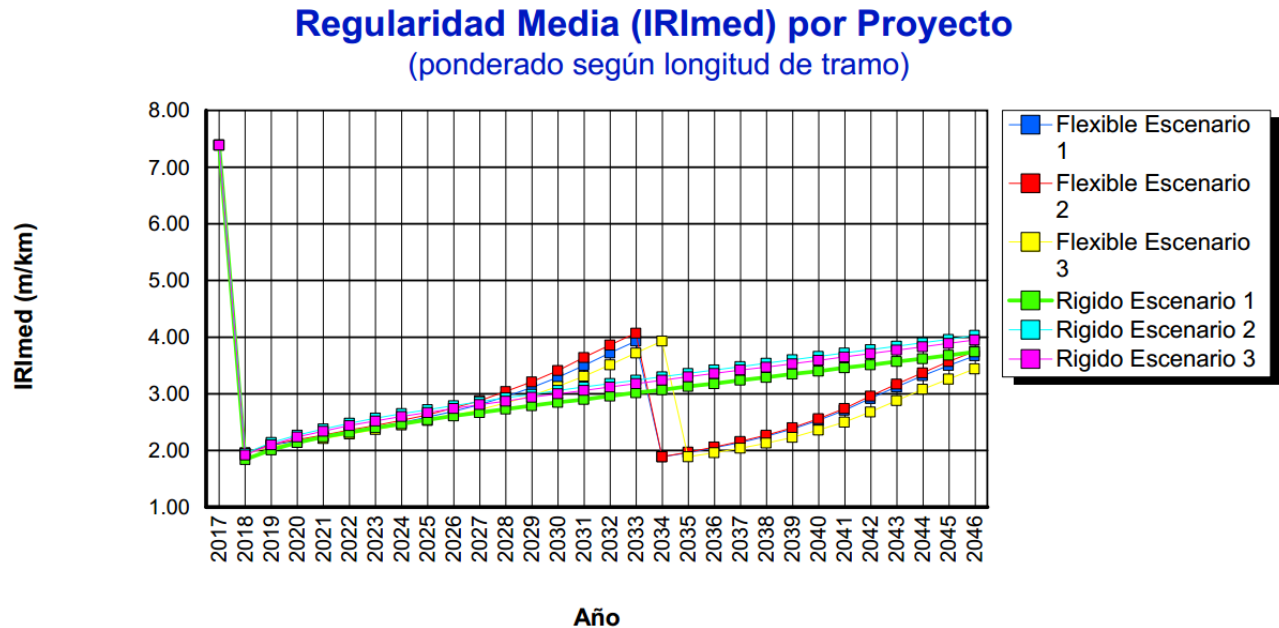


**Figura 70.** Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 2  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

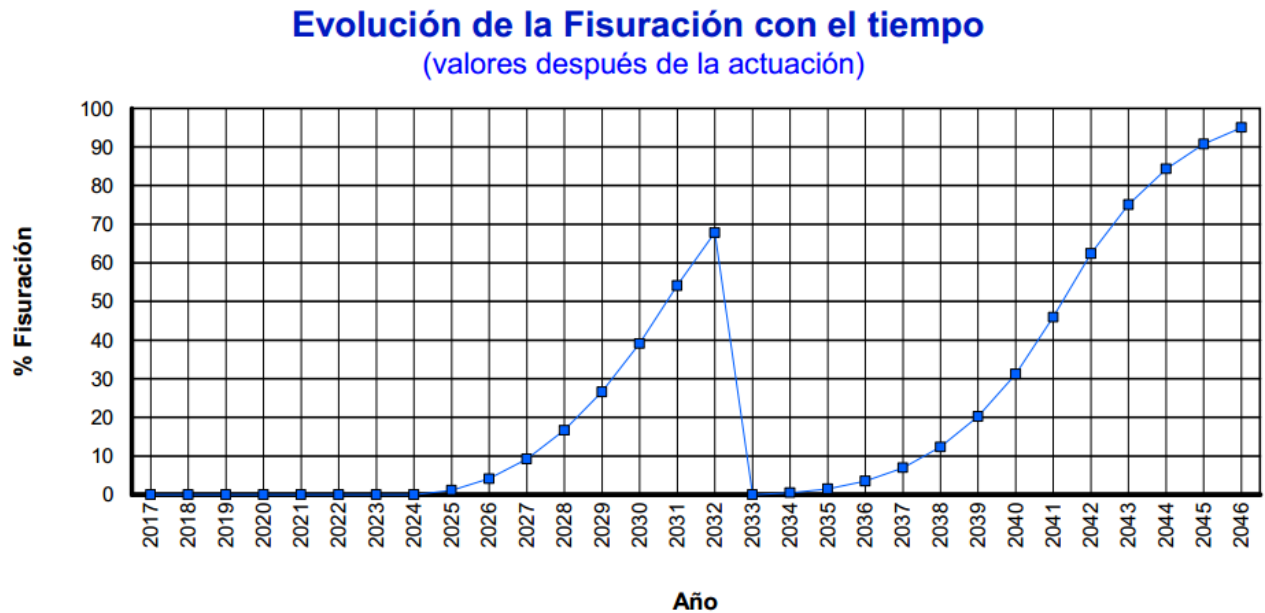


**Figura 71.** Gráfico de Variación del IRI de Rígido Escenario 3  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

En la *Figura 72* se presenta las curvas de deterioro de las seis alternativas en un mismo gráfico, con fin de tener la posibilidad de comparar las alternativas entre sí.



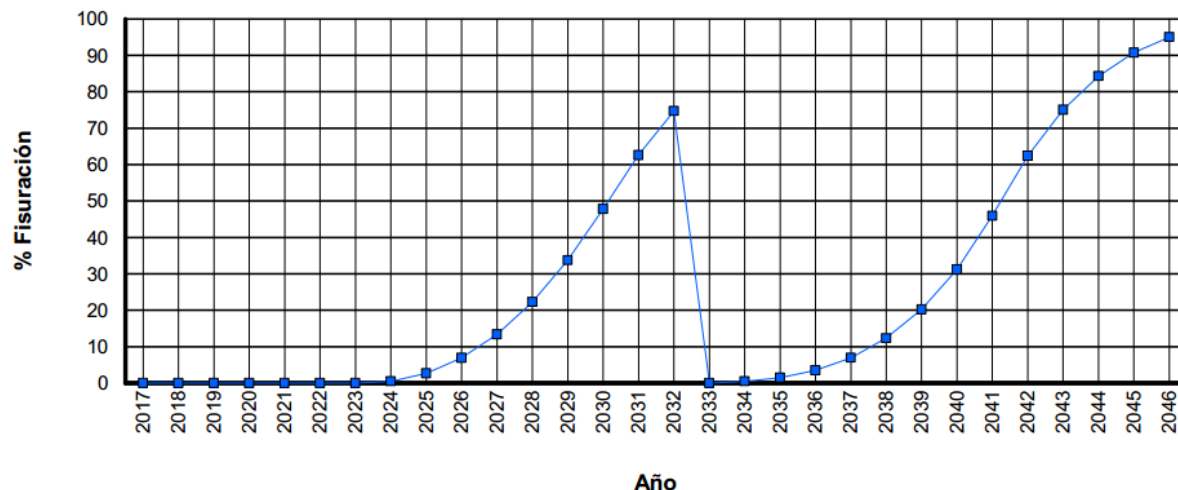
**Figura 72.** Gráfico de Variación del IRI de todos los escenarios  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 73.** Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 1  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

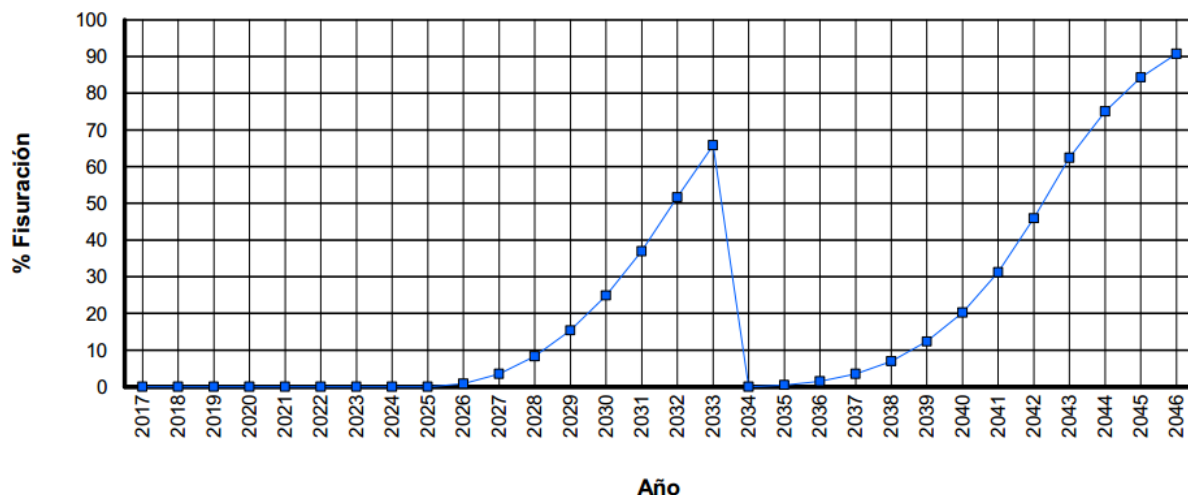
En la *Figura 73*, *Figura 74*, y *Figura 75* es mostrado el deterioro de los pavimentos flexibles en términos de porcentaje de fisuración. Es importante recalcar que el porcentaje de fisuración de las alternativas de pavimento rígido es de un valor de cero durante el período de diseño; por lo anteriormente mencionado no se adjuntaron los gráficos de fisuración de pavimentos rígidos.

### Evolución de la Fisuración con el tiempo (valores después de la actuación)



**Figura 74.** Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 2  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

### Evolución de la Fisuración con el tiempo (valores después de la actuación)

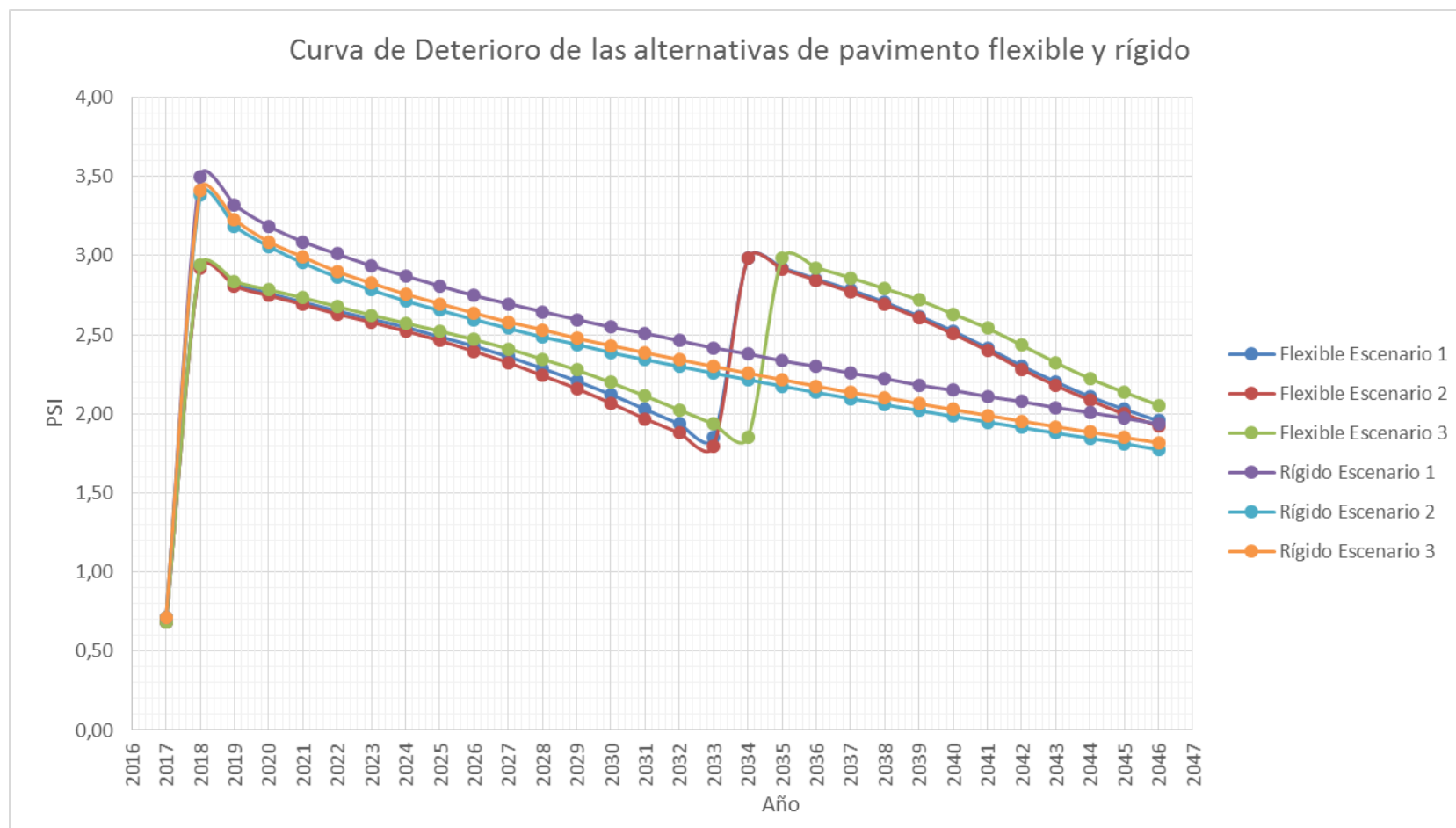


**Figura 75.** Gráfico de evolución de la fisuración de Flexible Escenario 3  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

En el Cuadro 74 se muestran los resultados de la variación del deterioro anual de las seis alternativas en términos de PSI, dichos valores se obtienen a partir de IRI mediante ecuaciones presentadas en la sección de Metodología. La Figura 76 determina las curvas de

deterioro anual de las alternativas en términos de PSI; esto permite visualizar y entender el deterioro desde otra perspectiva.

| <b>Cuadro 74. Variación del Deterioro en los pavimentos flexible y rígido<br/>(Valores en términos de PSI)</b> |            |            |            |          |          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| Año                                                                                                            | Flexible 1 | Flexible 2 | Flexible 3 | Rígido 1 | Rígido 2 | Rígido 3 |
| 2017                                                                                                           | 0,69       | 0,69       | 0,69       | 0,71     | 0,71     | 0,71     |
| 2018                                                                                                           | 2,93       | 2,92       | 2,94       | 3,50     | 3,38     | 3,41     |
| 2019                                                                                                           | 2,82       | 2,81       | 2,84       | 3,32     | 3,19     | 3,23     |
| 2020                                                                                                           | 2,76       | 2,75       | 2,78       | 3,19     | 3,06     | 3,09     |
| 2021                                                                                                           | 2,71       | 2,69       | 2,73       | 3,09     | 2,95     | 2,99     |
| 2022                                                                                                           | 2,65       | 2,63       | 2,68       | 3,01     | 2,86     | 2,90     |
| 2023                                                                                                           | 2,60       | 2,58       | 2,62       | 2,94     | 2,78     | 2,83     |
| 2024                                                                                                           | 2,55       | 2,52       | 2,57       | 2,87     | 2,71     | 2,76     |
| 2025                                                                                                           | 2,49       | 2,46       | 2,52       | 2,81     | 2,65     | 2,70     |
| 2026                                                                                                           | 2,43       | 2,39       | 2,47       | 2,75     | 2,60     | 2,64     |
| 2027                                                                                                           | 2,36       | 2,32       | 2,41       | 2,70     | 2,54     | 2,58     |
| 2028                                                                                                           | 2,29       | 2,24       | 2,35       | 2,65     | 2,49     | 2,53     |
| 2029                                                                                                           | 2,21       | 2,16       | 2,28       | 2,60     | 2,44     | 2,48     |
| 2030                                                                                                           | 2,12       | 2,07       | 2,20       | 2,55     | 2,39     | 2,43     |
| 2031                                                                                                           | 2,03       | 1,97       | 2,11       | 2,51     | 2,34     | 2,39     |
| 2032                                                                                                           | 1,94       | 1,88       | 2,02       | 2,46     | 2,30     | 2,34     |
| 2033                                                                                                           | 1,85       | 1,80       | 1,94       | 2,42     | 2,26     | 2,30     |
| 2034                                                                                                           | 2,98       | 2,98       | 1,85       | 2,38     | 2,22     | 2,26     |
| 2035                                                                                                           | 2,92       | 2,92       | 2,98       | 2,34     | 2,18     | 2,22     |
| 2036                                                                                                           | 2,85       | 2,84       | 2,92       | 2,30     | 2,14     | 2,18     |
| 2037                                                                                                           | 2,78       | 2,77       | 2,86       | 2,26     | 2,10     | 2,14     |
| 2038                                                                                                           | 2,71       | 2,69       | 2,79       | 2,22     | 2,06     | 2,10     |
| 2039                                                                                                           | 2,62       | 2,60       | 2,72       | 2,18     | 2,02     | 2,06     |
| 2040                                                                                                           | 2,52       | 2,50       | 2,63       | 2,15     | 1,98     | 2,03     |
| 2041                                                                                                           | 2,42       | 2,40       | 2,54       | 2,11     | 1,95     | 1,99     |
| 2042                                                                                                           | 2,30       | 2,28       | 2,43       | 2,08     | 1,91     | 1,95     |
| 2043                                                                                                           | 2,20       | 2,18       | 2,32       | 2,04     | 1,88     | 1,92     |
| 2044                                                                                                           | 2,11       | 2,09       | 2,22       | 2,01     | 1,84     | 1,88     |
| 2045                                                                                                           | 2,03       | 2,00       | 2,14       | 1,97     | 1,81     | 1,85     |
| 2046                                                                                                           | 1,96       | 1,92       | 2,05       | 1,94     | 1,77     | 1,82     |



**Figura 76.** Curvas de deterioro anual en términos de PSI  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

## Intervenciones Viales por año

Tanto, el *Cuadro 75*, como el *Cuadro 76*, muestran resúmenes que tienen como origen el calendario de actuaciones generado como informe de HDM-4, presentado en el *Cuadro 122*, *Cuadro 123*, *Cuadro 124*, *Cuadro 125*, *Cuadro 126*, *Cuadro 127*, *Cuadro 128* del *Apéndice 5*; en este calendario de actuaciones se puede encontrar con detalle las intervenciones viales que se aplican cada año, así como el costos asociado a éstas.

Mientras que en el *Cuadro 75* se muestra un resumen de las intervenciones anuales de las seis alternativas; en el *Cuadro 76* se presenta un resumen de los costos anuales en los que se incurre por cada escenario.

| <b>Cuadro 75. Resumen del Calendario de Actuaciones por Escenario</b> |                                    |                                    |                                    |                                      |                                      |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Año</b>                                                            | <b>Flexible Escenario 1</b>        | <b>Flexible Escenario 2</b>        | <b>Flexible Escenario 3</b>        | <b>Rígido Escenario 1</b>            | <b>Rígido Escenario 2</b>            | <b>Rígido Escenario 3</b>            |
| 2017                                                                  | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|                                                                       | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto | FLEX2: Mejoramiento Lastre-Asfalto | FLEX3: Mejoramiento Lastre-Asfalto | RIG1: Mejoramiento Lastre-Concreto   | RIG2: Mejoramiento Lastre-Concreto   | RIG3: Mejoramiento Lastre- Concreto  |
| 2018                                                                  | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|                                                                       |                                    |                                    |                                    | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2019                                                                  | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
| 2020                                                                  | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|                                                                       |                                    |                                    |                                    | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2021                                                                  | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                    | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|                                                                       |                                    |                                    |                                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |

|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2022 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2023 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2024 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2025 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2026 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |
|      |                 |                 |                 | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2027 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2028 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2029 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2030 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |

|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2031 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      | Bacheo            | Bacheo            |                   | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2032 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      | Bacheo            | Bacheo            |                   | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2033 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      | Sobrecapa de 25mm | Sobrecapa de 25mm |                   |                                      |                                      |                                      |
|      | Prep. Bacheo      | Prep. Bacheo      | Bacheo            |                                      |                                      |                                      |
|      | Prep. Rep. Bordes | Prep. Rep. Bordes |                   |                                      |                                      |                                      |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2034 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                   |                   | Sobrecapa de 25mm |                                      |                                      |                                      |
|      |                   |                   | Prep. Bacheo      | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                   |                   | Prep. Rep. Bordes |                                      |                                      |                                      |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2035 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2036 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |
|      |                   |                   |                   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                   |                   |                   | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2037 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                   |                   |                   |                                      |                                      |                                      |
| 2038 | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario   | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |

|      |                 |                 |                 |                                      |                                      |                                      |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2039 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
| 2040 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2041 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |
| 2042 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2043 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
| 2044 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      |                 |                 |                 | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |
| 2045 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      | Bacheo          | Bacheo          |                 |                                      |                                      |                                      |
| 2046 | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Mant. Rutinario | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    | Sellado de Juntas                    |
|      |                 |                 |                 | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      | Mant. Rutinario                      |
|      | Bacheo          | Bacheo          | Bacheo          | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones | Conformación de cunetas y espaldones |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 76. Resumen de Costes Económicos Totales Anuales |                            |                      |                      |                      |                    |                    |                    |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                         | Lastre con Mant. Rutinario | Flexible Escenario 1 | Flexible Escenario 2 | Flexible Escenario 3 | Rígido Escenario 1 | Rígido Escenario 2 | Rígido Escenario 3 |
| 2017                                                    | €5 787 349                 | €328 536 615         | €388 554 236         | €232 414 253         | €578 310 699       | €624 231 519       | €467 901 933       |
| 2018                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2019                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2020                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2021                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €8 792 607         | €8 792 607         | €8 792 607         |
| 2022                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2023                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2024                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2025                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2026                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €9 096 730         | €9 096 730         | €9 096 730         |
| 2027                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2028                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2029                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2030                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2031                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 622 848           | €2 590 693           | €8 792 607         | €8 792 607         | €8 792 607         |
| 2032                                                    | €5 787 349                 | €2 623 703           | €2 638 542           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2033                                                    | €5 787 349                 | €38 794 103          | €39 931 765          | €2 624 602           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2034                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €38 794 747          | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2035                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2036                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €9 096 730         | €9 096 730         | €9 096 730         |
| 2037                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2038                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2039                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2040                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2041                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €8 792 607         | €8 792 607         | €8 792 607         |
| 2042                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2043                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2044                                                    | €5 787 349                 | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 590 693           | €2 894 815         | €2 894 815         | €2 894 815         |
| 2045                                                    | €5 787 349                 | €2 641 235           | €2 641 235           | €2 590 693           | €2 590 693         | €2 590 693         | €2 590 693         |
| 2046                                                    | €5 787 349                 | €2 646 936           | €2 646 936           | €2 642 945           | €9 096 730         | €9 096 730         | €9 096 730         |

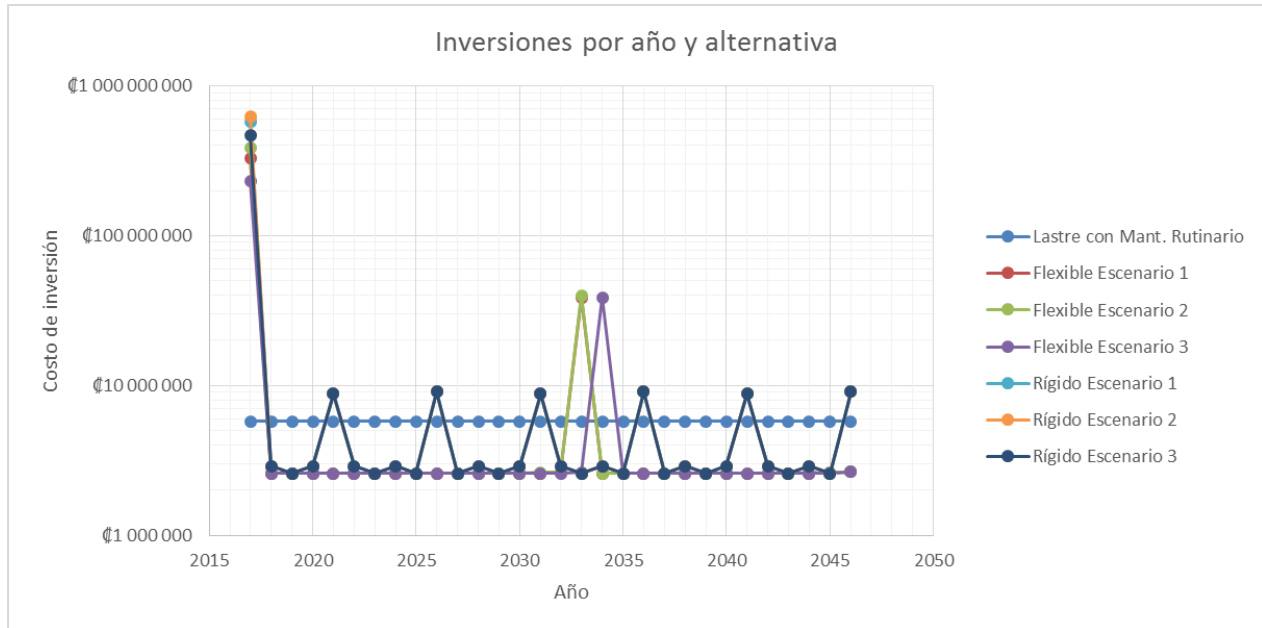
|                           |              |              |              |              |              |              |              |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Total Mejoramiento</b> | -            | ₡325 945 922 | ₡385 963 543 | ₡229 823 560 | ₡575 720 006 | ₡621 640 826 | ₡465 311 240 |
| <b>Total Conservación</b> | ₡173 620 461 | ₡114 063 995 | ₡115 248 651 | ₡114 011 005 | ₡119 494 110 | ₡119 494 110 | ₡119 494 110 |
| <b>Total</b>              | ₡173 620 461 | ₡440 009 917 | ₡501 212 194 | ₡343 834 565 | ₡695 214 116 | ₡741 134 936 | ₡584 805 350 |

*Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.*

Los costos de mejoramiento de pavimentos flexibles fueron proporcionados por el Ing. Mariano Avilés Cisneros de la Municipalidad de El Guarco, mientras que los costos de mejoramiento de pavimentos rígidos y los costos de conservación vial fueron proporcionados por el Ing. Daniel Gutiérrez S. del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Los costos relacionados con la flota vehicular fueron proporcionados por la Ing. Silvia Vázquez Álvarez de la Dirección de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

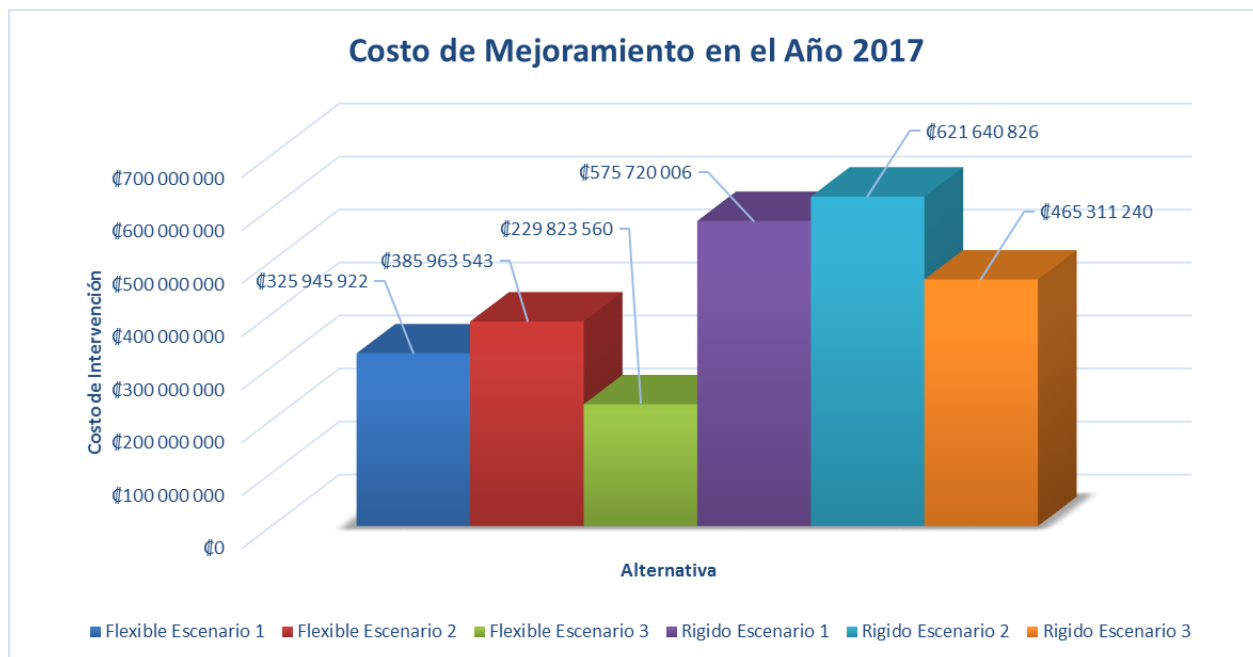
En la *Figura 77* se muestra un gráfico semi-logarítmico de las intervenciones anuales de todas las alternativas, el cual permite una mejor visualización del comportamiento de los costos de inversión durante el período de análisis.

La *Figura 78* y *Figura 79* presentan los costos de mejoramiento y los costos totales respectivamente, mediante gráficos de barras que permiten elaborar una evaluación comparativa entre las alternativas de pavimento.



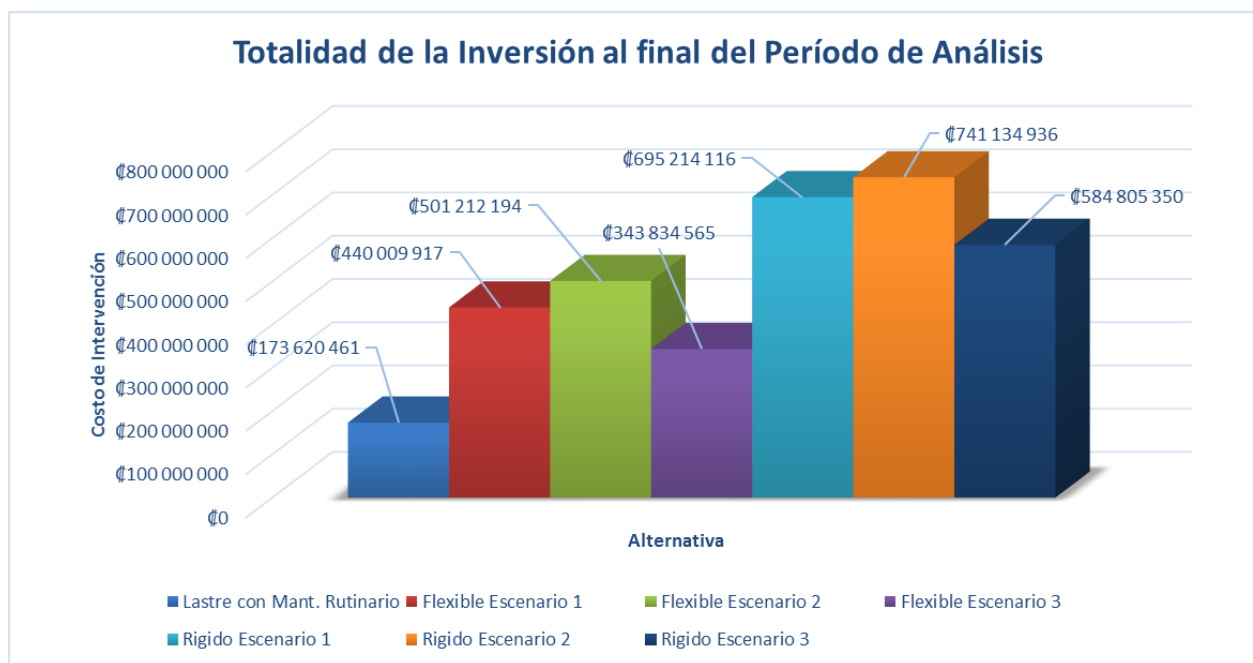
**Figura 77.** Gráfico de Costo de Inversión Total de Intervención por año.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 78.** Gráfico de Inversiones en Mejoramiento para todas las Alternativas.

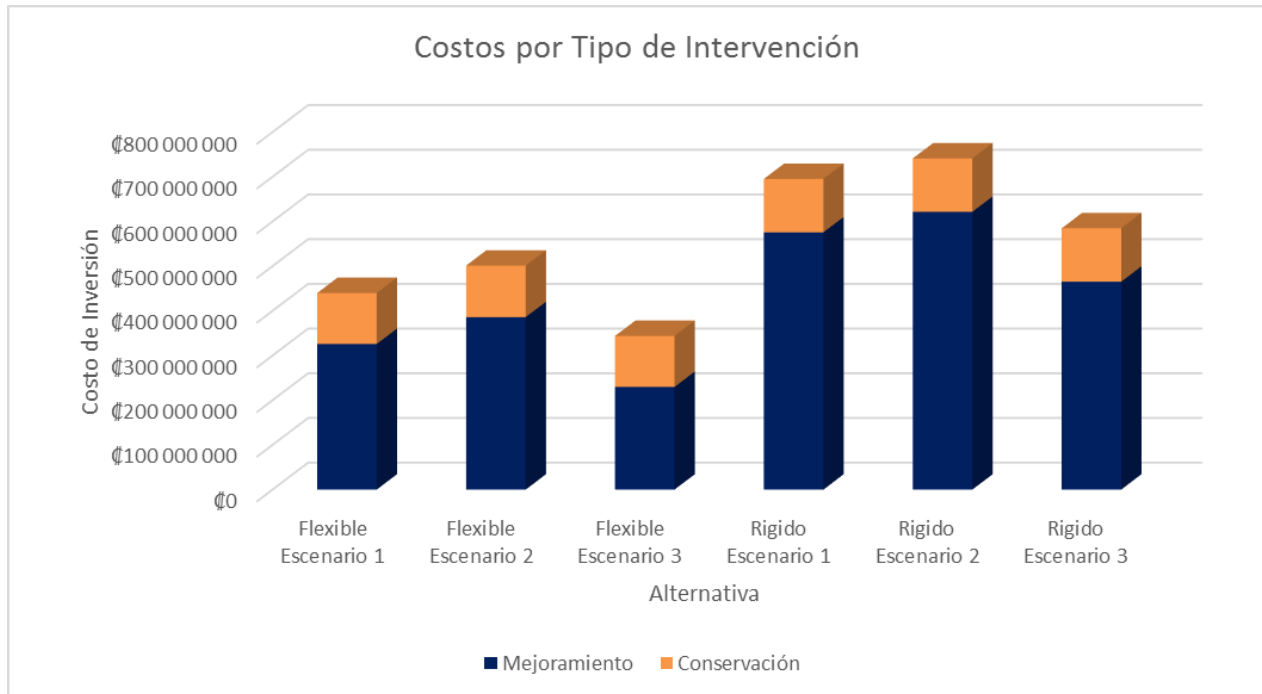
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 79.** Gráfico de Costo de Inversión Total por Alternativa.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

En la *Figura 80* se presenta un gráfico similar al anterior, la diferencia radica en la facilidad de visualización de la descomposición del costo total en costo de conservación y costo de mejoramiento, esto permite concebir de forma muy somera la proporcionalidad de éstos costos con respecto al total.



**Figura 80.** Gráfico de Costo de Inversión en Mejoramiento y Conservación.

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

## Análisis Económico

En el *Cuadro 77, Cuadro 78, Cuadro 79, Cuadro 80, Cuadro 81, y Cuadro 82*, se presentan los resúmenes del análisis económico para las seis alternativas; donde los costos de la Administración están compuestos por el costo especial, el costo recurrente, y el costo de capital, es importante destacar que los costos de capital son no recurrentes; es decir, no es un costo que se aplique de forma periódica, como por ejemplo un mejoramiento de calzada; mientras que los costos recurrentes son costos en los que se incurre de forma periódica; por ejemplo, los costos de mantenimiento rutinario y periódico. Los beneficios de los usuarios, están dados por los ahorros en los costos de operación vehicular (COV), ahorros en costos de tiempo de viaje, reducción en los costos de accidentes y los beneficios exógenos. En el *Apéndice 6* se presenta con más detalle los costos de la administración, los beneficios de los usuarios y el VAN de cada año para todas las alternativas

| <b>Cuadro 77. Resumen del análisis económico Flexible Escenario 1 (en términos de millones de colones)</b> |                                                  |                   |                 |                             |                                                   |                                                         |                                          |                                 |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                                                            | <b>Incremento en costes de la Administración</b> |                   |                 | <b>Ahorros en VOC de TM</b> | <b>Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM</b> | <b>Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM</b> | <b>Reducción en costes de accidentes</b> | <b>Beneficios exógenos neto</b> | <b>Beneficio Económico Neto (VAN)</b> |
|                                                                                                            | <b>Capital</b>                                   | <b>Recurrente</b> | <b>Especial</b> |                             |                                                   |                                                         |                                          |                                 |                                       |
| Sin descontar                                                                                              | ¢358,33                                          | -¢91,94           | ¢0,00           | ¢758,90                     | ¢545,98                                           | ¢0,00                                                   | ¢0,00                                    | ¢0,00                           | ¢1 038,49                             |
| Descontados                                                                                                | ¢331,23                                          | -¢28,21           | ¢0,00           | ¢146,57                     | ¢104,94                                           | ¢0,00                                                   | ¢0,00                                    | ¢0,00                           | -¢51,52                               |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRe) = 10.3% (No. de soluciones = 1)</b>                            |                                                  |                   |                 |                             |                                                   |                                                         |                                          |                                 |                                       |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 78. Resumen del análisis económico Flexible Escenario 2 (en términos de millones de colones)</b> |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|----------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                            | Incremento en costes de la Administración |            |          | Ahorros en VOC de TM | Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM | Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM | Reducción en costes de accidentes | Beneficios exógenos neto | Beneficio Económico Neto (VAN) |
|                                                                                                            | Capital                                   | Recurrente | Especial |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
| Sin descontar                                                                                              | ¢418,35                                   | -¢90,76    | ¢0,00    | ¢757,89              | ¢545,87                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢976,16                        |
| Descontados                                                                                                | ¢391,25                                   | -¢28,01    | ¢0,00    | ¢146,41              | ¢104,92                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | -¢111,90                       |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRe) = 8.7% (No. de soluciones = 1)</b>                             |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 79. Resumen del análisis económico Flexible Escenario 3 (en términos de millones de colones)</b> |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|----------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                            | Incremento en costes de la Administración |            |          | Ahorros en VOC de TM | Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM | Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM | Reducción en costes de accidentes | Beneficios exógenos neto | Beneficio Económico Neto (VAN) |
|                                                                                                            | Capital                                   | Recurrente | Especial |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
| Sin descontar                                                                                              | ¢262,21                                   | -¢91,99    | ¢0,00    | ¢760,21              | ¢546,10                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢1 136,10                      |
| Descontados                                                                                                | ¢234,54                                   | -¢28,28    | ¢0,00    | ¢146,66              | ¢104,95                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢45,34                         |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRe) = 14.1% (No. de soluciones = 1)</b>                            |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 80. Resumen del análisis económico Rígido Escenario 1 (en términos de millones de colones)</b> |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|----------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                          | Incremento en costes de la Administración |            |          | Ahorros en VOC de TM | Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM | Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM | Reducción en costes de accidentes | Beneficios exógenos neto | Beneficio Económico Neto (VAN) |
|                                                                                                          | Capital                                   | Recurrente | Especial |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
| Sin descontar                                                                                            | ¢612,93                                   | -¢91,34    | ¢0,00    | ¢763,21              | ¢546,01                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢787,62                        |

|                                                                                |         |         |       |         |         |       |       |       |          |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|
| Descontados                                                                    | ¢584,53 | -¢27,55 | ¢0,00 | ¢148,12 | ¢105,01 | ¢0,00 | ¢0,00 | ¢0,00 | -¢303,84 |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) = 5.1% (No. de soluciones = 1)</b> |         |         |       |         |         |       |       |       |          |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 81. Resumen del análisis económico Rígido Escenario 2 (en términos de millones de colones)</b> |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|----------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                          | Incremento en costes de la Administración |            |          | Ahorros en VOC de TM | Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM | Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM | Reducción en costes de accidentes | Beneficios exógenos neto | Beneficio Económico Neto (VAN) |
|                                                                                                          | Capital                                   | Recurrente | Especial |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
| Sin descontar                                                                                            | ¢658,85                                   | -¢91,34    | ¢0,00    | ¢758,22              | ¢545,50                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢736,20                        |
| Descontados                                                                                              | ¢630,45                                   | -¢27,55    | ¢0,00    | ¢147,65              | ¢104,96                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | -¢350,29                       |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) = 4.5% (No. de soluciones = 1)</b>                           |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 82. Resumen del análisis económico Rígido Escenario 3 (en términos de millones de colones)</b> |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|----------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                          | Incremento en costes de la Administración |            |          | Ahorros en VOC de TM | Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM | Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM | Reducción en costes de accidentes | Beneficios exógenos neto | Beneficio Económico Neto (VAN) |
|                                                                                                          | Capital                                   | Recurrente | Especial |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |
| Sin descontar                                                                                            | ¢502,52                                   | -¢91,34    | ¢0,00    | ¢759,62              | ¢545,65                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | ¢894,09                        |
| Descontados                                                                                              | ¢474,12                                   | -¢27,55    | ¢0,00    | ¢147,79              | ¢104,98                                    | ¢0,00                                            | ¢0,00                             | ¢0,00                    | -¢193,81                       |
| <b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) = 6.6% (No. de soluciones = 1)</b>                           |                                           |            |          |                      |                                            |                                                  |                                   |                          |                                |

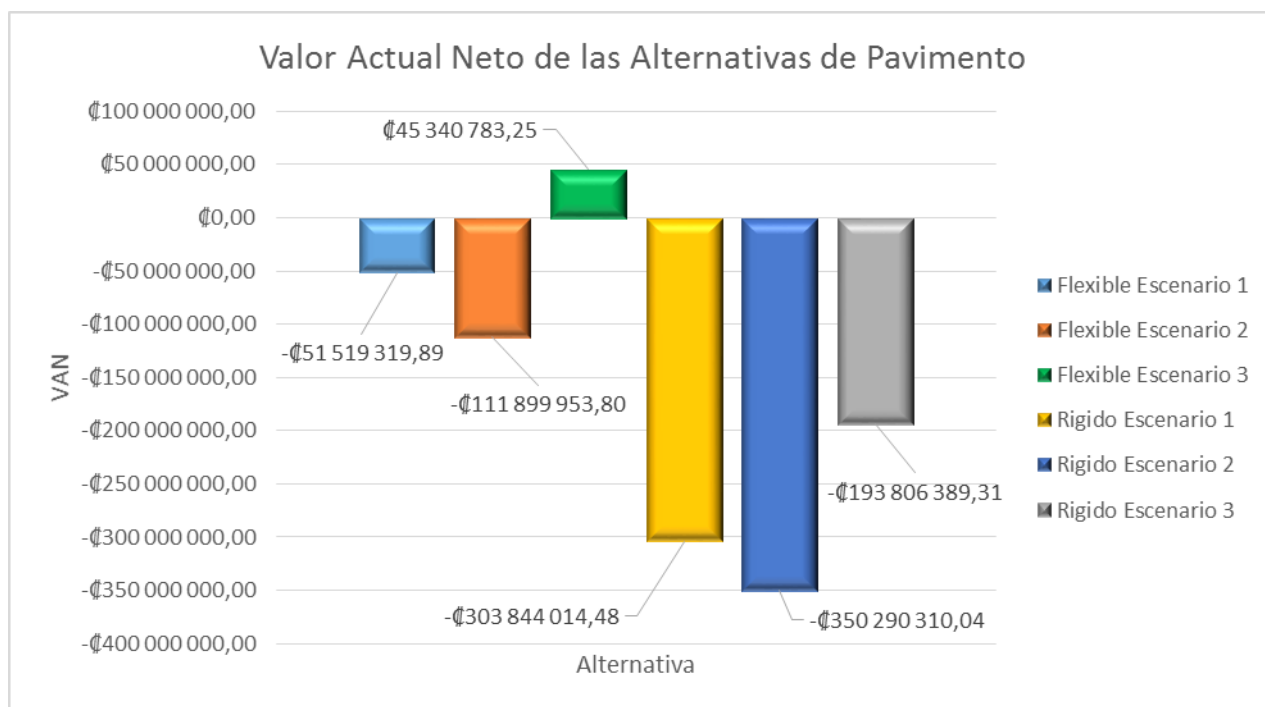
Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

En el *Cuadro 83* es presentado un resumen final del análisis económico, donde se muestra los costos de la administración y los beneficios de los usuarios, así como los indicadores económicos con la finalidad de analizar la rentabilidad de las alternativas.

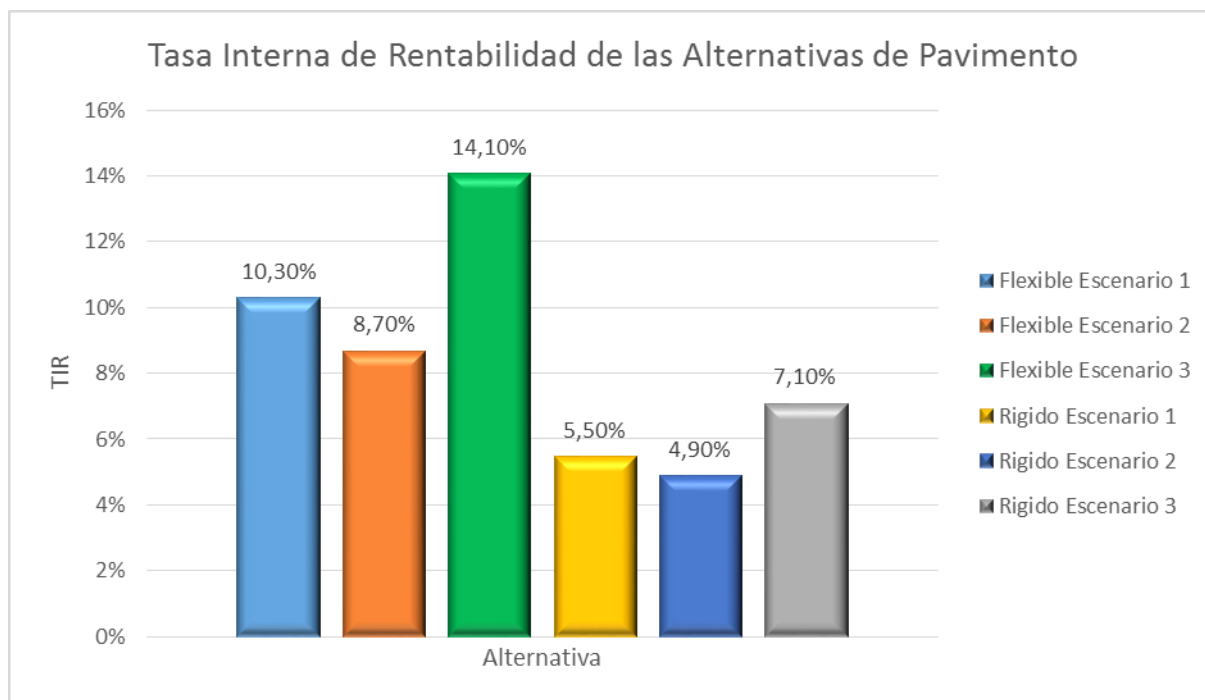
En la *Figura 81* se muestra un gráfico de barras de los valores de Valor Actual Neto (VAN) para las seis alternativas, mientras que la *Figura 82* se presenta un gráfico de barras con los valores de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).

| <b>Cuadro 83. Relación Beneficio Costo de las Alternativas de Proyecto (Costos en millones de colones)</b> |                                                               |                                                                  |                                               |                                           |                               |                                     |                           |                           |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                            | Valor actual de los costes totales de la administración (RAC) | Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP) | Incremento en Costes de la Administración (C) | Disminución en Costes de los Usuarios (B) | Beneficios Exógenos Netos (E) | Valor Actual Neto (VAN = B + E - C) | Ratio VAN/Coste (VAN/RAC) | Ratio VAN/Coste (VAN/CAP) | Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) |
| Lastre con Mant. Rutinario                                                                                 | ¢52,21                                                        | ¢0,00                                                            | ¢0,00                                         | ¢0,00                                     | ¢0,00                         | ¢0,00                               | 0,00                      | 0,00                      | 0%                                 |
| Flexible Escenario 1                                                                                       | ¢355,23                                                       | ¢331,23                                                          | ¢303,02                                       | ¢251,50                                   | ¢0,00                         | -¢51,52                             | -80,50                    | -86,60                    | 10,3%<br>(1)                       |
| Flexible Escenario 2                                                                                       | ¢415,45                                                       | ¢391,25                                                          | ¢363,23                                       | ¢251,33                                   | ¢0,00                         | -¢111,90                            | -149,34                   | -158,78                   | 8,7%<br>(1)                        |
| Flexible Escenario 3                                                                                       | ¢258,48                                                       | ¢234,54                                                          | ¢206,26                                       | ¢251,61                                   | ¢0,00                         | ¢45,34                              | 97,15                     | 107,15                    | 14,1%<br>(1)                       |
| Rígido Escenario 1                                                                                         | ¢609,19                                                       | ¢584,53                                                          | ¢556,98                                       | ¢253,14                                   | ¢0,00                         | -¢303,84                            | -277,02                   | -288,68                   | 5,5%<br>(1)                        |
| Rígido Escenario 2                                                                                         | ¢655,12                                                       | ¢630,45                                                          | ¢602,90                                       | ¢252,61                                   | ¢0,00                         | -¢350,29                            | -297,01                   | -308,67                   | 4,9%<br>(1)                        |
| Rígido Escenario 3                                                                                         | ¢498,79                                                       | ¢474,12                                                          | ¢446,57                                       | ¢252,77                                   | ¢0,00                         | -¢193,81                            | -215,96                   | -227,06                   | 7,1%<br>(1)                        |
| El número entre paréntesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900                     |                                                               |                                                                  |                                               |                                           |                               |                                     |                           |                           |                                    |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 81.** Gráfico de Valor Actual Neto (VAN).  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.



**Figura 82.** Gráfico de Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).  
**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

# Análisis de los Resultados

## Medición Vehicular

En la medición vehicular es importante apreciar que en el Camino Guayabal-Guatuso no transitan vehículos muy pesados como se observa en el *Cuadro 9*; el porcentaje de T3-S2 que transita en la vía es de 0%, mientras que el porcentaje de C3 es de solo el 1,17% del total del Tránsito Promedio Diario; el tipo de vehículo liviano ocupa un 56,73% del total, y el C2 ocupa un 35,09%; lo anteriormente mencionado tiene coherencia, ya que la zona que rodea el Camino Guayabal-Guatuso es de carácter residencial y dedicado a la agricultura, por lo tanto, gran parte del tránsito es de vehículos livianos para el transporte personal, mientras, que la agricultura de la zona genera la necesidad en la población de transitar en vehículos de carga liviana para el transporte de los productos generados a partir de la agricultura. Debido a que el Camino Guayabal-Guatuso se encuentra en condición de lastre, éste no es atractivo como ruta para los vehículos más pesados, ya que éstos transitan por la ruta 2, y, en el caso de que algún vehículo pesado tenga como destino Tejar de El Guarco, o la ciudad de Cartago, utilizaría la ruta 228. En el caso de que la vía Guayabal-Guatuso llegara a pavimentarse, ésta podría ser una vial alterna de conexión entre la ruta 2 y Tejar de El Guarco.

Adicionalmente el Tránsito Promedio Diario es de 171, tanto para pavimento rígido como para flexible, mientras que los Ejes Equivalentes de diseño son de 181 825 para pavimento flexible y de 276 765 para pavimento rígido. El hecho de que los EEq del pavimento rígido sean mayores a los del pavimento flexible, se debe a que el pavimento rígido está diseñado a un mayor período de diseño.

## Diseño del pavimento

Como se menciona en la sección de resultados, se decide utilizar tres escenarios; esto se debe a que, según los resultados de laboratorio brindados por el Laboratorio de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el CBR de la sub-rasante del actual camino de lastre tiene un valor de 1%.

Los datos obtenidos en el laboratorio se muestran en el *Anexo 2*, para el cual se elaboraron 15 muestreos de los cuales 3 son muestreos de sub-rasante; en los ensayos de laboratorio se obtuvo que dos muestras de sub-rasante poseían un CBR de 1%, mientras que una muestra presentó un CBR de 5%, por lo tanto, al aplicar el percentil 25 se obtiene que el CBR de la sub-rasante es de 1%.

Igualmente, los muestreos con CBR de 1% son clasificados de acuerdo con la metodología AASHTO como “A-6 (4)” y “A-6 (8)” y según la metodología SUCS como un “CL”; por lo tanto, la sub-rasante es un suelo arcilloso de baja plasticidad.

La problemática resulta en el hecho de que, de acuerdo con el *Cuadro 150* del *Anexo 4*, para que un suelo tipo A-6 (AASHTO) y CL (SUCS), el CBR ronda en un rango entre 5% al 10%, por lo tanto, se considera que existe la probabilidad de que se incurrió en algún error durante la elaboración del ensayo de CBR para las muestras de sub-rasante, ya que el CBR del suelo debía encontrarse en el rango antes mencionado y esto no fue de esta manera. Entonces se decide tomar el camino más conservador que consiste en suponer que la sub-rasante posee un CBR de 1%.

Debido a la baja capacidad de la sub-rasante mencionada anteriormente, es importante recurrir a un método de mejoramiento o estabilización de sub-rasante.

Por lo tanto, se analizan en este proyecto tres escenarios posibles, el primero consiste en la no realización de ningún tipo de mejoramiento o estabilización de la sub-rasante; es decir, considerando la colocación de la estructura de pavimento sobre la sub-rasante en su estado natural con un CBR de 1%.

El segundo escenario consiste en la estabilización de la sub-rasante con un aditivo que puede ser cal, cemento, asfalto o una combinación de éstas; mediante la *Figura 12*, se selecciona el tipo de estabilizador más adecuado de acuerdo con las propiedades físicas de la sub-rasante, como lo son: porcentaje pasando la malla No. 200, e Índice de Plasticidad. Como se muestra en *Anexo 2* el porcentaje pasando la malla 200 está entre 57% y 58%; mientras que el Índice de Plasticidad se encuentra entre 12% y 20%; si se sigue la *Figura 12*, con la información anterior se deduce que el porcentaje pasando la malla No. 200 es mayor al 25% y el Índice de Plasticidad se encuentra entre 10% y 20%; por lo tanto, se puede utilizar el cemento, la cal o el asfalto como estabilizador, pero el más utilizado para este tipo de suelo es la cal. Por lo tanto, se selecciona la cal como estabilizador para éste proyecto, aunque perfectamente se puede utilizar otro estabilizador de los mencionados anteriormente.

Con respecto a la estabilización con cal, el laboratorio de materiales del MOPT no elaboró estudios para estabilización de sub-rasante; ya que, dentro de sus propios diseños ellos prefieren considerar únicamente la opción de sustituir la sub-rasante con un material de préstamo. Sin embargo, para efectos de este proyecto se valora la opción de estabilizar la sub-rasante con cal.

En la tesis de Orellana & Huez (2009) se elaboraron estudios de laboratorio con el fin de estabilizar con cal un suelo con características similares a las del proyecto, como se muestra en el *Cuadro 159*. En dicha tesis se realizaron pruebas de laboratorio para muestras de sub-rasante y muestras de suelo estabilizado; en dicho estudio se encontró que la cantidad de cal adecuada para estabilizar es de un 4%; en el *Cuadro 160* se encuentran las propiedades del suelo estabilizado con cal. Por lo tanto, se toman los resultados de este proyecto con el fin de tener una guía para la elaboración del diseño de pavimento.

El tercer escenario consiste en el aprovechamiento del lastre existente colocando la estructura de pavimento sobre este lastre.

Los datos de laboratorio del *Anexo 2*, muestran la información de los estratos de suelos encontrados durante el muestreo, en dichos informes se puede apreciar que el lastre está compuesto básicamente de dos capas, una capa inferior que a lo largo del tiempo ha estado en contacto con el material arcilloso de la sub-rasante; por lo tanto, dicha capa se ha contaminado, y se ha mezclado con los finos; y una capa superior que no ha estado en contacto con la sub-rasante; por lo cual, esta capa no ha perdido en gran manera sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con la capa inferior.

En el *Cuadro 86* y en el *Cuadro 87* se muestran las características de la capa superior e inferior de lastre respectivamente, para cada una de las estaciones de muestreo donde se obtienen características promedio de cada capa con el fin de aplicarlas en el diseño.

Es importante mencionar que el Laboratorio de Materiales del MOPT, solamente realizó pruebas de CBR a las muestras de sub-rasante; por lo tanto, los muestreos de material de lastre no fueron sometidos a dicha prueba.

Por lo tanto, se decide encontrar el CBR de estas capas de lastre de acuerdo con valores teóricos típicos.

De acuerdo con el *Cuadro 86* el tipo de material de la capa superior está caracterizado de acuerdo a AASHTO como A-1-b y de acuerdo con SUCS como SM (Arena Limosa), además de tener un espesor promedio de 25cm; por lo cual, si se recurre al *Cuadro 150* para obtener el CBR de esta capa; en dicho cuadro se aprecia que para un suelo tanto A-1-b como SM el CBR mínimo es de 20%; por lo tanto, con el fin de ser conservador se toma este dato como el CBR de la capa superior de lastre.

Con respecto a la capa inferior de lastre, de acuerdo al *Cuadro 150*, el material de esta capa es caracterizado por AASHTO como A-4 y por SUCS como SC (Arena Arcillosa) con un espesor de 35cm. Según dicho cuadro, el CBR del material A-4 se encuentra en un rango entre 5% y 15%, mientras que el CBR de un material SC ronda entre 10% y 15%, por lo anteriormente mencionado, se toma un CBR de 10% para la capa de lastre inferior.

## Diseño de Pavimento Flexible

De acuerdo con el *Cuadro 26* el espesor de la carpeta (10cm) no varía para el escenario 1, el escenario 2 y el escenario 3 respectivamente; en el caso de la base granular en el escenario 1 se obtuvo un espesor de 30cm, mientras que para el escenario 2 como para el escenario 3 se obtuvo 25cm de espesor; por lo tanto, hay una disminución de 5cm para el escenario 2 y 3. La sub-base granular posee un espesor de 40cm para el escenario 1, mientras que en el escenario 2 y 3 se obtuvo 30cm de espesor de sub-base; es decir se obtuvo una disminución de 10cm de espesor.

De acuerdo con AASHTO (1993) para vías con ejes equivalentes entre 150 000 y 500 000 el espesor mínimo para carpeta asfáltica debe de ser de 6,5cm, y para base granular debe ser como mínimo 10cm de espesor. Por lo anteriormente mencionado las capas de carpeta y base cumplen con los mínimos requeridos.

En el escenario 1 se obtuvo una estructura de pavimento con un espesor de 80cm, mientras que la estructura del escenario 2 es de un espesor de 65cm. Por lo tanto, con la estabilización de la sub-rasante se logra disminuir 15 cm de estructura de pavimento. Con respecto al escenario 3, la estructura de carpeta/base/sub-base tiene un espesor de 65cm, con una capa superior de lastre de 25cm y una capa de lastre inferior de 35cm, el lastre en su totalidad es de 55cm toda la estructura tiene un espesor de 1,20m.

Con respecto al análisis mecanístico se puede observar en el *Cuadro 26*, tanto para el escenario 1, como los escenarios 2 y 3, se aprecia que los ejes equivalentes para la falla por fatiga son menores que los ejes equivalentes para la falla por deformación plástica, por lo tanto, en ambos escenarios rige la falla por fatiga. Los ejes equivalentes para la falla por fatiga para el escenario 1 son de 200 000 EEq, los del escenario 2 son 193 000 EEq y los del escenario 3 son 194 000 EEq, mientras que los ejes equivalentes de diseño son 182 000 EEq, por lo tanto, los EEq de diseño no exceden los EEq que provocan la falla por fatiga en los tres escenarios; por lo tanto, ambas estructuras de pavimento cumplen con los requerimientos; es importante mencionar que la disminución de ejes equivalentes del escenario 2 y 3 con respecto al escenario 1 se debe a que en el escenario 2 y 3 disminuyeron los espesores de capas, por lo tanto, puede darse mayor susceptibilidad a la fatiga de la carpeta. Mientras

que en el caso de los ejes equivalentes que provocan la falla por deformación plástica aumentan del escenario 1 al escenario 2 y al escenario 3, con valores de 688 000 y 4 300 000 10 500 000 respectivamente, este aumento en capacidad se debe igualmente al mejoramiento de la sub-rasante con la estabilización y la incorporación de lastre existente; por lo tanto, al estabilizar la sub-rasante y utilizar el lastre como parte del pavimento se logra una mejor distribución de los esfuerzos debidos al tránsito.

## Diseño de Pavimento Rígido

En el escenario 1 se considera el caso en que la losa es colocada sobre la sub-base, y esta a su vez sobre la sub-rasante sin estabilizar; a partir del diseño, se obtiene un espesor de losa de 17cm, como se aprecia en el *Cuadro 72*; pero mediante el análisis de esfuerzos del pavimento rígido, se obtuvo que el espesor adecuado, de acuerdo con las condiciones de esfuerzo debe ser de 24cm, mientras que el espesor de sub-base es de 15cm.

En el análisis de los esfuerzos en dovela como se observa en el *Cuadro 72*. Con un diámetro de dovela de 5/8 de pulgada, los esfuerzos resistentes son mayores a los esfuerzos debidos a la carga de una llanta de un eje equivalente; por lo tanto, se cumple con los requerimientos de diseño para este caso, además se obtiene un largo de dovela de 30cm, con una separación de 30cm entre varillas. Adicionalmente, como se aprecia en el *Cuadro 72* el calibre de la varilla de amarre de juntas longitudinales es varilla #3, de 40cm de largo, a cada 50cm. Además, de acuerdo con la *Figura 60*, el ancho de la losa es de 3,00m y el largo de la losa es de 3,80m.

En el caso del escenario 2 se considera que el pavimento rígido consiste en una losa de concreto como superficie de ruedo, y una sub-base granular colocada sobre una sub-rasante estabilizada con un 4% de cal. Como se presenta en el *Cuadro 72*, el espesor de losa obtenido es de aproximadamente 16cm de espesor, mientras que la sub-base es de 15 cm de espesor; pero, de acuerdo con el análisis de esfuerzos se encontró que el espesor de losa adecuado debe ser de 22cm; mediante la estabilización se aprecia una disminución de 2cm en el espesor de la losa.

Con respecto a las dovelas al igual que en el escenario 1, como se muestra en el *Cuadro 72*;

se cumple con los requerimientos; por lo tanto, se conservan las mismas características de dovela que para el escenario 1. Con respecto a las dimensiones de la losa, de acuerdo con la *Figura 62*, el ancho de la losa es de 3,00m y el largo se conserva en 3,80m.

De acuerdo con el *Cuadro 72*, el acero de las juntas longitudinales se caracteriza por varillas #3, de 40cm de largo, a cada 55cm.

En el escenario 3 se considera la colocación de la losa de concreto sobre la sub-base y ésta a su vez sobre la capa de lastre con un CBR de 10% con un espesor semi-infinito; esto con el fin de facilitar el cálculo y considerando además que en los pavimentos rígidos los materiales inferiores a la carpeta no son tan trascendentales como si sucede en pavimentos flexibles. Para dicho escenario, de acuerdo con el *Cuadro 72*, se obtuvo un espesor de losa de 16cm, pero con respecto al análisis de esfuerzos se requiere un espesor de 22cm; por lo tanto, con dicha configuración se reduce 2cm de espesor de losa con respecto al escenario 1. En lo que respecta a las dovelas se conservan el mismo tipo de dovela (5/8 de diámetro, 30cm de largo a cada 30cm) en los tres escenarios. Al igual que el Escenario 2 las características de acero de amarre en juntas longitudinales son iguales; es decir, varilla #3 de 40cm de largo a cada 55cm. En cuanto a las dimensiones de losa conserva los mismos valores que el escenario 2, como se muestra en la *Figura 64*, 3,00m de ancho y 3,80m de largo.

Por lo anteriormente mencionado, los tres escenarios conservan las mismas características de dovela y espesor de sub-base; en el escenario 2 y 3 se conserva el mismo espesor de losa; mientras que en el escenario 1 aumenta 2cm el espesor de losa con respecto a los otros dos escenarios; esto se debe a que el escenario 1 requiere mayor espesor de losa por el bajo CBR de la sub-rasante, mientras que el escenario 2 y 3 poseen resistencias de sub-rasante similares; por lo tanto, es coherente que ambos escenarios contemplen resultados similares.

Un aspecto importante a reflexionar consiste en la disminución excesiva del módulo de reacción  $k$  por pérdida de capacidad de soporte; en el escenario 1 esta disminución pasa de 93,13psi/in a 15,34psi/in; en el caso del escenario 2 pasa de 513,83psi/in a 45,45psi/in, y en el escenario 3 pasa de 424,60psi/in a 40,23psi/in. De acuerdo con ACPA (2012), ACPA no recomienda seguir el procedimiento para obtener módulo de

reacción  $k$  mediante la metodología de diseño AASHTO 1993, debido a que produce resultados poco realistas; ya que, este procedimiento aumenta el módulo de reacción  $k$  a valores excesivamente altos y después disminuye el módulo de reacción  $k$  por pérdida de soporte a un valor excesivamente bajo.

## Modelación de desempeño con HDM-4

Con respecto a la variación del tráfico, que se muestra tanto en la *Figura 65* como en el *Cuadro 73*, se aprecia el aumento del IMD o también llamado TPD; el cual, tiene un comportamiento similar al crecimiento exponencial; además de que todos los escenarios presentan el mismo crecimiento vehicular. Adicionalmente, según el *Cuadro 73*, el automóvil o vehículo liviano, el camión C2 y la camioneta CL representan casi la totalidad del tránsito. Al final del período de análisis (2046) el IMD llega 694; por lo tanto, a un crecimiento vehicular del 4,78% el IMD aumenta un 400% a dicho año.

En lo que respecta al deterioro de los pavimentos, en la *Figura 66* se muestra la variación del IRI a lo largo del período de análisis del Escenario 1 de pavimento flexible, donde se muestra, al inicio del período, una caída del IRI; esto se debe que en un inicio el pavimento se encuentra en un estado de lastre, por lo tanto, al aplicarle el mejoramiento, éste disminuye el IRI hasta un 1,85 m/km; en dicha figura se aprecia el aumento creciente cuasi exponencialmente del IRI del pavimento, aplicándole técnicas de conservación poco intensivas como el mantenimiento rutinario; este tipo de mantenimiento no provoca una disminución en el IRI; este comportamiento se observa en los tres escenarios de pavimento flexible.

Con respecto al comportamiento del pavimento flexible aplicándole técnicas de conservación más intensivas, el cual tiene una línea de tendencia de color azul; se aprecia una caída del IRI del año 2033 al 2034 para los escenarios 1 y 2; y del año 2034-2035; dicha disminución se debe a la aplicación de la sobre

capa de 25mm, ya que dicha intervención recupera la condición de regularidad superficial inicial del pavimento; un aspecto interesante, es la disminución de la tasa de crecimiento del deterioro después de la colocación de la sobre capa, lo anterior es realmente coherente; ya que, la aplicación de esta técnica corrige los deterioros como fisuras, bacheos, etc., y dicha capa también refuerza la capacidad estructural del pavimento

Lo que respecta al comportamiento del IRI en los pavimentos rígidos que se muestran en la *Figura 69, Figura 70, y Figura 71*, se aprecia que en dichos pavimentos no se requirió medidas de intervención intensivas; ya que, al finalizar el período de análisis apenas se llega a un IRI de 4 m/km; lo anterior se debe a las características de los pavimentos rígidos de soportar de mayor manera el interperismo y las cargas vehiculares.

En la *Figura 72* se muestra el comportamiento de las 6 alternativas de pavimento en un mismo grafico; en dicha figura se puede divisar la diferencia entre la tasa de deterioro del IRI de los pavimentos flexibles y rígidos; se observa que en los pavimentos flexibles la tasa del deterioro es mayor a través de los años que los pavimentos rígidos. Además, en esta figura se observa que, entre los pavimentos flexibles, el escenario 3 es la alternativa que ofrece el mejor comportamiento ante el deterioro; ya que, durante el período del análisis; es el pavimento que ofrece menores valores de IRI. En lo que respecta a los pavimentos rígidos no hay una gran diferenciación en el comportamiento de la regularidad de los 3 escenarios. Al finalizar el período de análisis el escenario que presenta el menor IRI es la alternativa 3 del pavimento flexible.

En la *Figura 73, Figura 74, y Figura 75*, se aprecia el comportamiento de la fisuración a lo largo de tiempo en los pavimentos flexibles; en la *Figura 73 y Figura 75*, se observa el inicio del aumento del deterioro a partir del año 2024; mientras que en la *Figura 75* se aprecia el inicio del aumento de la fisuración en el año 2025; posteriormente en los tres pavimentos flexibles se observa una caída en el porcentaje de fisuración, esta disminución, como se comentó anteriormente, se debe a la aplicación de la sobre capa.

Con respecto al calendario de actuaciones; en el *Cuadro 122* se encuentra el calendario de intervenciones de la alternativa 1 de pavimento flexible; en dicho cuadro se observa la aplicación del mejoramiento del camino de lastre

en el año 2017; además de la aplicación del primer bacheo en el año 2032, se expresa la intervención con una sobre capa de 25mm en el año 2033; finalmente tanto en el año 2045 como en el año 2046 se aplican bacheos al pavimento; en el *Cuadro 123*, se presenta el calendario de actuaciones del escenario 2 de pavimento en el cual se aplican las intervenciones en los mismos años que el escenario 1.

En cuanto al calendario de actuaciones del escenario 3 del pavimento flexible; éste se presenta en el *Cuadro 124*, donde el mejoramiento es aplicado en el año 2017; el primer bacheo es aplicado en el año 2033; mientras que la aplicación de la sobre capa es en el año 2034; el último bacheo se aplica en el 2046.

En lo que respecta al calendario de actuaciones de los pavimentos rígidos, que se presentan en el *Cuadro 75*, el mantenimiento rutinario es aplicado cada año, la conformación de cunetas es aplicado cada dos años, mientras que sello de juntas se aplica cada cinco años; a pesar de que se planearon intervenciones más intensivas como reparación de losa en espesor parcial y reparación de losa en todo el espesor, no fueron requeridos; ya el pavimento no sufre deterioros relevantes que sea necesario la reparación de losa de forma intensiva; por ejemplo en el *Cuadro 121*, donde se presentan los deterioros del escenario 3 de pavimento rígido, se presenta un escalonamiento máximo de 4mm, un 0.04% de juntas desconchadas y 0,01 fallos por km, al finalizar el período de análisis.

Lo anterior tiene coherencia con la teoría de pavimentos rígidos; donde éstos requieren menos mantenimiento que los pavimentos flexibles.

En el *Cuadro 76*, se muestra el Resumen de los Costos Económicos Totales Anuales sin descuento; la alternativa base es la de Lastre con Mantenimiento Rutinario, la cual tiene un costo total al final del período de \$173 620 461; el costo total de los pavimentos flexibles escenario 1, 2 y 3 son: \$440 009 917; \$501 212 194; y \$343 864 565. Mientras que el costo total de los pavimentos rígidos escenario 1, 2, y 3 son: \$695 214 116; \$741 134 936 y \$584 805 350; como se aprecia en la *Figura 79*, en el caso de pavimento flexible el escenario 3 es el que presenta el menor costo total; así como en el caso de pavimento rígido donde la alternativa de menor costo es el escenario 3.

En la *Figura 77* se aprecia el gráfico de variación del costo de inversión para todas alternativas, se muestra que en los pavimentos flexibles se genera un alza en los costos en el año 2033 para el Escenario 1 y 2, y en el año 2034 para el Escenario 3; esto se debe a la aplicación de la sobre capa de 25mm.

Mediante la *Figura 80*, se puede concebir la proporcionalidad entre los costos de mejoramiento y de conservación, donde se aprecia que los costos de mejoramiento, para las seis alternativas, representan aproximadamente el 80% de los costos totales de intervención.

Finalmente con respecto al análisis económico; en el *Cuadro 83*, se presentan los indicadores económicos de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para cada alternativa; de acuerdo con MIDEPLAN (2012), “el criterio del VAN indica que conviene ejecutar el proyecto, si el VAN es mayor o igual a cero. Al comparar alternativas de proyecto; el criterio del VAN indica que se debe seleccionar la alternativa del proyecto que presente el mayor VAN, siempre que éste sea mayor o igual a cero”; en lo que respecta al TIR MIDEPLAN (2012) menciona lo siguiente: “el criterio de decisión indica que la TIR del proyecto es mayor o igual que la tasa de descuento, el proyecto es conveniente ejecutarlo”.

Por lo tanto, en el *Cuadro 83*, las alternativas 1 y 2 de pavimento flexible y las alternativas de pavimento rígido presentan un VAN negativo; por lo tanto, estas alternativas no son rentables para ser ejecutadas; la única alternativa que presenta un VAN positivo es la alternativa de pavimento flexible escenario 3 con un valor de 45 millones de colones; al observar la TIR de esta alternativa con un valor de 14,1%; la TIR es mayor a la tasa de descuento de 12%.

Por lo cual, el escenario 3 de pavimento flexible, que consiste en colocar el pavimento directamente sobre la capa de lastre actual, es la alternativa más rentable para ser ejecutada en este proyecto.

Como se menciona en el *Marco Teórico*, cuando se pavimentan caminos con bajo tránsito vial, los pavimentos rígidos no son adecuados para este tipo de vías, por lo altamente costosos que pueden resultar este tipo de pavimentos; por lo tanto, los pavimentos flexibles son los más accesibles a este tipo de vías. Por lo cual, se demuestra con los resultados obtenidos en este proyecto, que los pavimentos flexibles son los más rentables para vías de bajo tránsito vehicular.

# Conclusiones

- Se estimó un valor de Tránsito Promedio Diario (TPD) o Intensidad Media Diaria (IMD) de 171 vehículos diarios. Mientras que los ejes equivalentes de diseño para los pavimentos flexibles de este proyecto son de 181 825, a un período de diseño de 15 años. Para el caso de los pavimentos rígidos se obtuvo una cantidad de ejes equivalentes de 276 765, a un período de diseño de 20 años.
- En los tres escenarios de pavimento flexible se obtuvo un espesor de carpeta asfáltica de 10cm. En lo que respecta a la base granular, el escenario 1 mostró un espesor de 30cm, mientras que los escenarios 2 y 3 se presentó una disminución de 5cm en comparación con el escenario 1; con un espesor de 25cm. Se obtuvo un espesor de sub-base del escenario 1 de 40cm, y un espesor de 30cm para el escenario 2 y 3, es decir, una disminución de 10cm. La disminución de los espesores se debe al mejoramiento de la capacidad de la subrasante en los escenarios 2 y 3.
- Del análisis mecanístico se encontró que en los tres escenarios de pavimento flexible rige la falla por fatiga de la carpeta asfáltica; se obtuvo que el escenario 2 es más susceptible a la falla por fatiga que el escenario 1; mientras que el escenario 3 presenta mayor susceptibilidad a la falla que el escenario 2. Lo anterior se debe a la disminución de los espesores de los escenarios 2 y 3 con respecto al escenario 1. En los tres escenarios los ejes equivalentes de diseño no superan los ejes equivalentes de falla.
- El diseño de pavimento rígido para el escenario 1 mostró que el espesor de losa adecuado es de 24cm; mientras que el espesor óptimo para los escenarios 2 y 3 es de 22cm. Es decir, los escenarios 2 y 3 mostraron una disminución de 2cm de espesor de losa con respecto al escenario 1, lo anterior debido al aumento de la capacidad de la subrasante de los escenarios 2 y 3. Los espesores de losa de los tres escenarios no provocan esfuerzos de falla. En los tres escenarios se obtuvo un espesor de sub-base de 15cm.
- Los diseños de los tres escenarios de pavimento rígido mostraron un ancho de losa de 3,00m; un ancho de losa de 3,80m; dovelas con diámetro de 5/8 de pulgada de 30cm de largo a cada 30cm. Mientras que el acero de amarre del escenario 1 es de varilla #3 de 40cm de largo a cada 50cm; el escenario 2 y 3 presentaron varilla #3 de 40cm de largo a cada 55cm.
- Con respecto al calendario de intervenciones en todos los escenarios se debe aplicar el mejoramiento en el año 2017 y el mantenimiento rutinario a cada año; en el caso del escenario 1 y 2 se aplica bacheo en los años 2032; 2045 y 2046; además de sobre capa de 25mm en el año 2033. En el escenario 3 se aplica bacheo en los años 2033 y 2046, además de una sobre capa de 25mm en el año 2034.
- De acuerdo con las curvas de deterioro el pavimento flexible escenario 3 presenta menor deterioro con respecto a sus homólogos flexibles. Al finalizar el período de análisis el escenario flexible 3 es la alternativa que presenta un menor Índice de Regularidad (IRI).
- El escenario 1 y 2 de pavimento flexible, y los tres escenarios de pavimento rígido presentan un VAN negativo, con lo cual no son alternativas rentables.
- El escenario 3 de pavimento flexible es la alternativa más rentable para ser aplicada en el camino Guayabal-Guatuso, ya que es la única alternativa con un VAN positivo de 45 millones de colones y un TIR de 14,1%.

# Recomendaciones

- Cuando se realizan pruebas de laboratorio de muestreos con el fin de obtener las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes, se deben realizar todas las pruebas correspondientes; ya que, en el caso de este proyecto, el Laboratorio de Materiales del MOPT realizó pruebas de CBR únicamente al material de sub-rasante, y no se aplicó esta prueba al material de lastre existente; por lo tanto, se desconoce la capacidad estructural de esta capa; la cual, si se encuentra en buenas condiciones puede ser aprovechable.
- En el caso de considerar la posibilidad de estabilizar la sub-rasante, se deben elaborar las pruebas correspondientes con el fin de obtener el porcentaje de estabilizador óptimo, porcentaje de humedad óptimo, densidad máxima, CBR; así como límites de Atterberg, granulometría, clasificación del material, etc.
- Se debe realizar mediciones rutinarias de módulos resilientes o CBR de sub-rasantes, ya que este parámetro varía considerablemente a lo largo del año, por lo anterior, es de gran importancia considerar esta variación en los diseños de pavimento.
- Es importante considerar otra metodología con el fin de encontrar el módulo de reacción  $k$ ; ya que, el procedimiento de la metodología AASHTO 1993 de pavimentos rígidos calcula valores de módulo de reacción poco realistas.
- La obtención de datos de nomogramas puede resultar muy subjetiva. Por lo tanto, en este proyecto se tabulacion los datos de los nomogramas de la metodología AASHTO 1993, se obtuvieron gráficos con líneas de tendencia y ecuaciones de mejor ajuste, evitando así el uso de los nomogramas, dicha información se comparte en las secciones de Apéndices y Anexos, lo anterior puede proporcionar a otros diseñadores de pavimento información que facilita la creación de hojas electrónicas de diseño mucho más ágiles y eficientes.
- Es importante mencionar que en este proyecto no se incluyen diseños de drenajes, puentes y/o alcantarillas; a pesar de que no se consideran dentro del alcance de éste proyecto es de gran importancia elaborar una evaluación de la condición de los drenajes existentes y de considerar los costos respectivos de mejoramiento del drenaje actual de la ruta, en el caso de que lo requiera.
- El paquete estructural del escenario 3 de flexible posee un espesor tan grande que cabe la posibilidad de que la superficie de ruedo sea muy alta en comparación con los caños, accesos a las viviendas u otras calles que se comunican con la Ruta Guayabal-Guatuso, por lo tanto, existe la probabilidad de que se requiera la elaboración de un realineamiento de la vía, con lo cual se incurriría en costos adicionales que no se tomaron en cuenta en este proyecto, afectando la comparativa económica entre las alternativas de pavimento, por lo tanto, se debe realizar los estudios respectivos con la finalidad de considerar esta posible afectación a las estructuras colindantes.

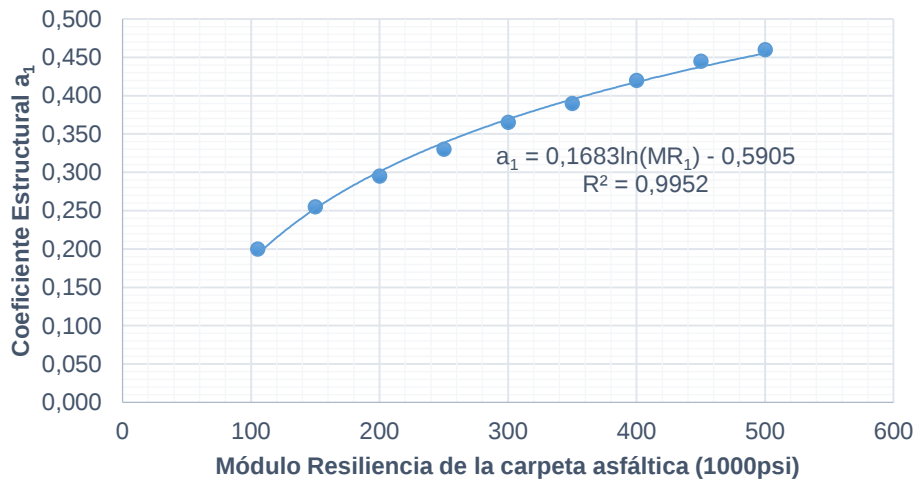
# Apéndices

La sección de Apéndices está compuesta de la siguiente forma:

- Apéndice 1: Diseño de Pavimento Flexible.
- Apéndice 2: Diseño de Pavimento Rígido.
- Apéndice 3: Insumos de HDM-4.
- Apéndice 4: Deterioro Anual de la Calzada.
- Apéndice 5: Calendario de Intervenciones por año.
- Apéndice 6: Beneficio neto anual descontado.

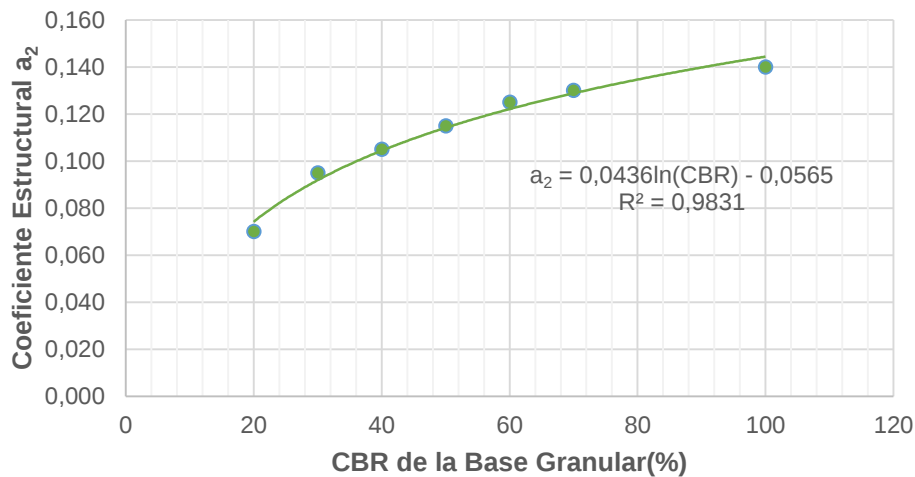
# Apéndice 1. Diseño de Pavimento Flexible

## $a_1$ vs $MR_1$

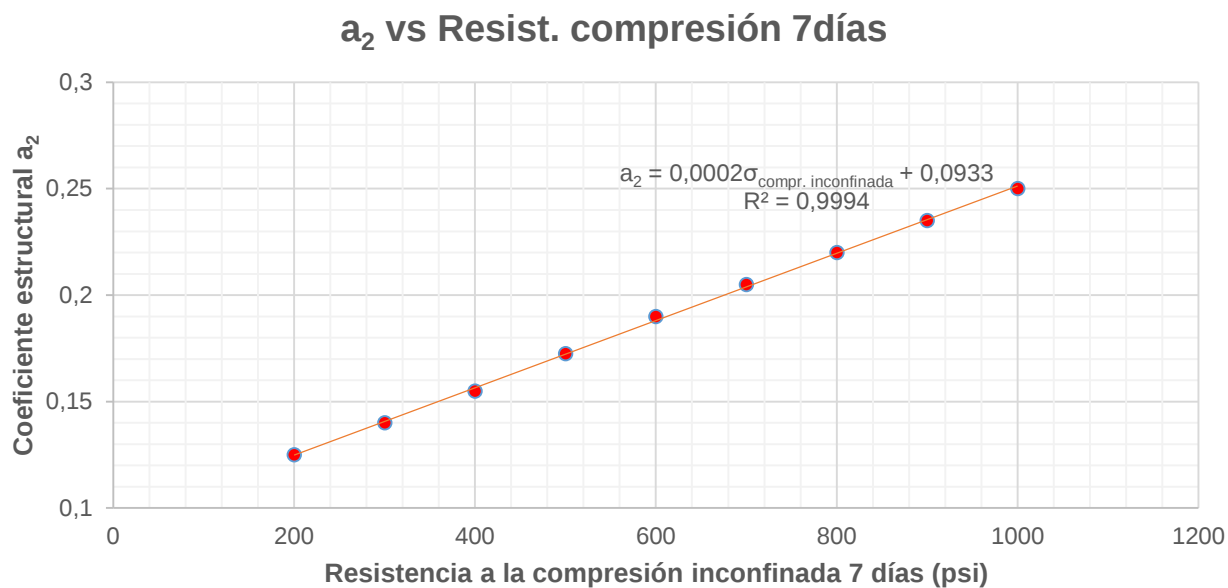


**Figura 83.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 137 del Anexo 3  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.

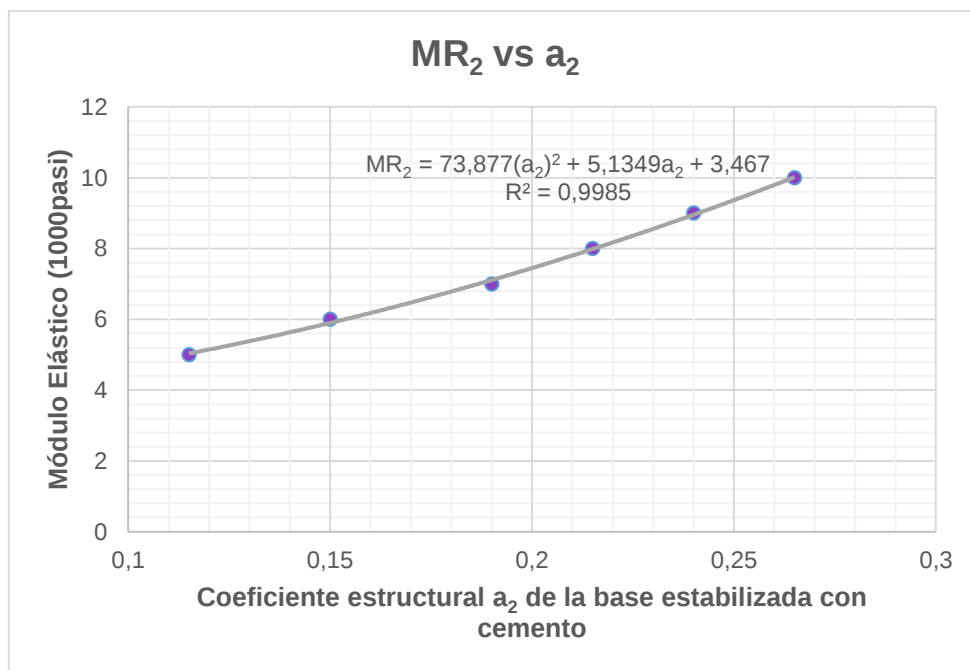
## $a_2$ vs CBR



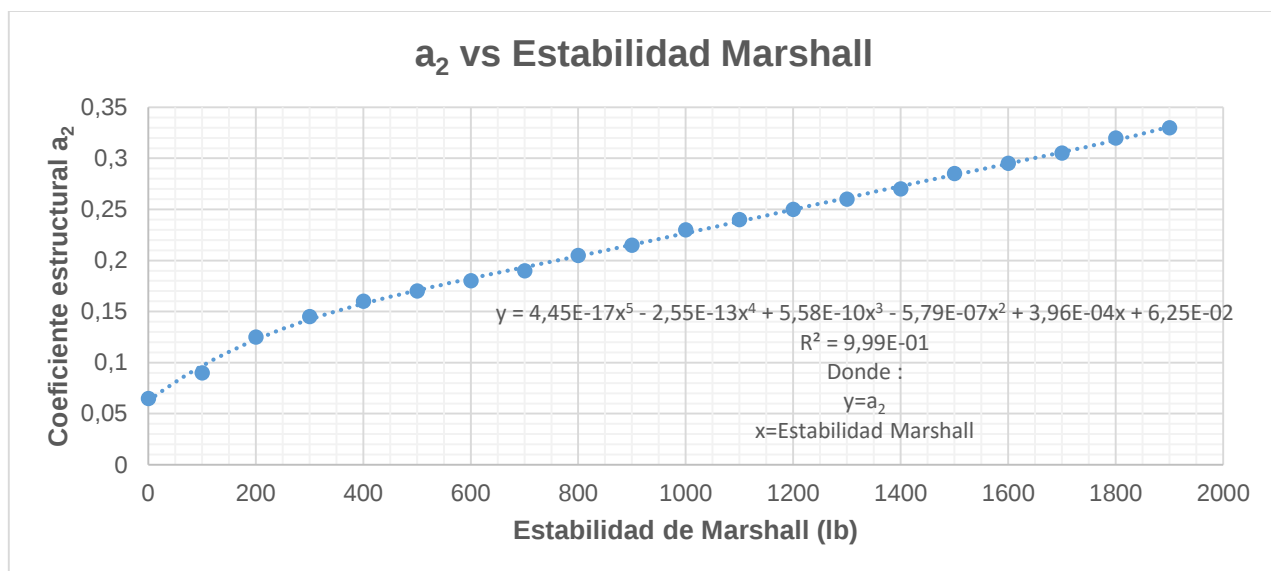
**Figura 84.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 138 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



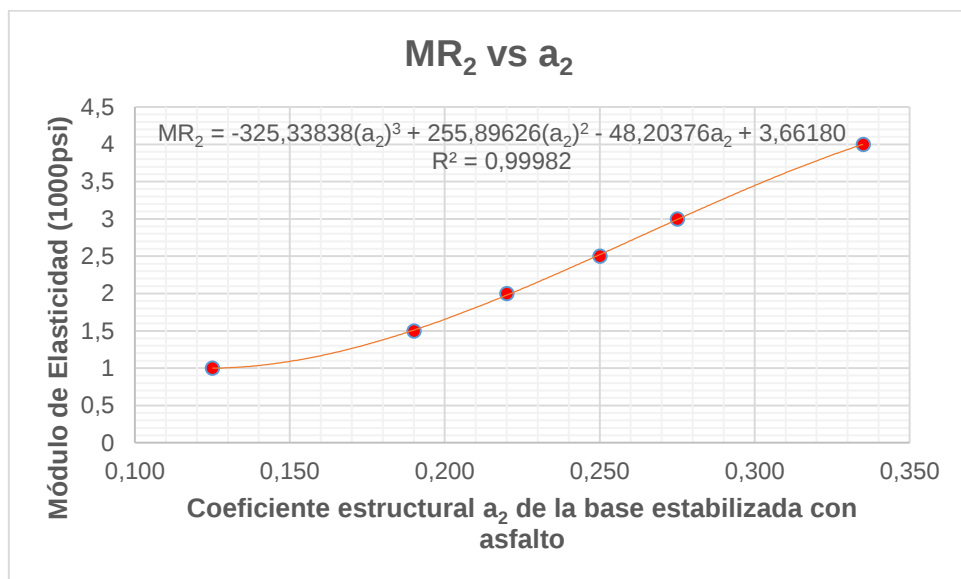
**Figura 85.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 139 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



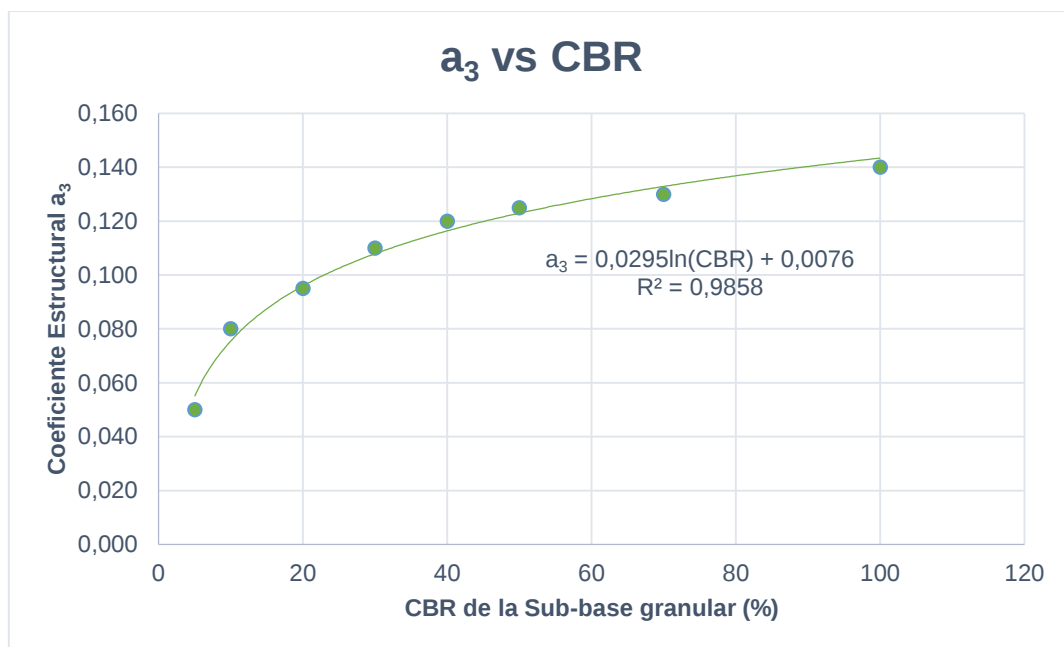
**Figura 86.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 139 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



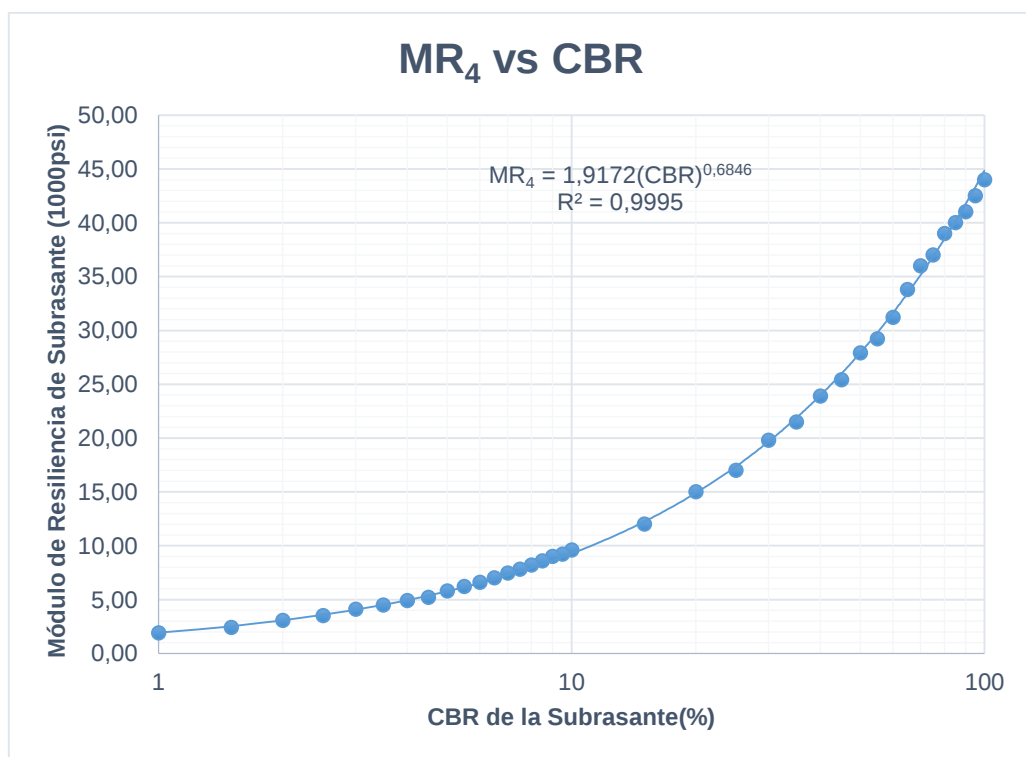
**Figura 87.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 140 del Anexo 3  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



**Figura 88.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 140 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



**Figura 89.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 141 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.



**Figura 90.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 142 del Anexo 3.  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.

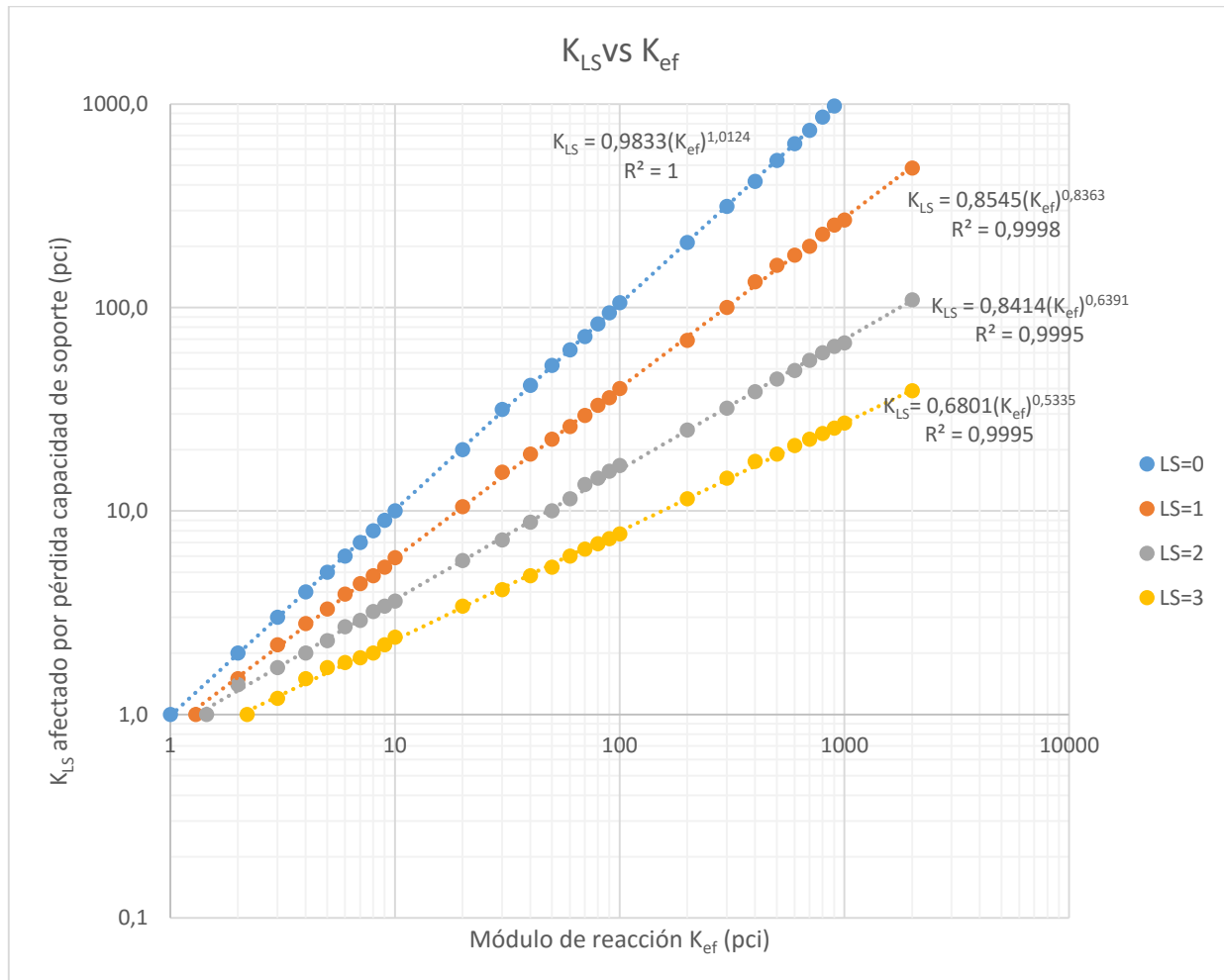
| <b>Cuadro 84. Cálculo del Coeficiente de Drenaje Cm</b> |                     |                                            |                              |
|---------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|------------------------------|
| Material                                                | Calidad del Drenaje | Porcentaje de tiempo expuesta a saturación | Coeficiente de drenaje $m_i$ |
| Carpeta Asfáltica                                       | -                   | -                                          | 1,00                         |
| Base Granular                                           | Aceptable           | Más del 25%                                | 0,80                         |
| Sub-base Granular                                       | Aceptable           | Más del 25%                                | 0,80                         |
| Sub-rasante                                             | -                   | -                                          | -                            |

| <b>Cuadro 85. Ancho de la Calzada Promedio</b> |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Estación                                       | Ancho calzada (m) |
| 0+000                                          | 6,5               |
| 0+200                                          | 5                 |
| 0+400                                          | 7,8               |
| 0+650                                          | 6                 |
| 0+850                                          | 5,9               |
| 1+050                                          | 5,8               |
| 1+200                                          | 5,5               |
| Ancho calzada prom.(m)                         | 6,07              |

| <b>Cuadro 86. Propiedades de la capa superior de lastre</b> |                 |             |                      |                    |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|--------------------|
| Estación                                                    | Profundidad (m) | Espesor (m) | Clasificación AASHTO | Clasificación SUCS |
| 0+000                                                       | 0,00-0,39       | 0,39        | A-1-a (0)            | SM                 |
| 0+200                                                       | 0,00-0,13       | 0,13        | A-1-b (0)            | SM                 |
| 0+400                                                       | 0,00-0,44       | 0,44        | A-1-a (0)            | SW-SM              |
| 0+650                                                       | 0,00-0,16       | 0,16        | A-1-b (0)            | SM                 |
| 0+850                                                       | 0,00-0,18       | 0,18        | A-1-b (0)            | SM                 |
| 1+050                                                       | 0,00-0,28       | 0,28        | A-1-b (0)            | SM                 |
| 1+200                                                       | 0,00-0,20       | 0,20        | A-1-b (0)            | SM                 |
| <b>Promedio</b>                                             | -               | <b>0,25</b> | <b>A-1-b (0)</b>     | <b>SM</b>          |

| <b>Cuadro 87. Propiedades de la capa inferior de lastre</b> |                 |             |                      |                    |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|--------------------|
| Estación                                                    | Profundidad (m) | Espesor (m) | Clasificación AASHTO | Clasificación SUCS |
| 0+200                                                       | 0,13-0,57       | 0,44        | A-4 (0)              | SC                 |
| 0+650                                                       | 0,16-0,55       | 0,39        | A-4 (5)              | CL                 |
| 0+850                                                       | 0,18-0,57       | 0,39        | A-4 (0)              | SC                 |
| 1+050                                                       | 0,28-0,61       | 0,33        | A-6(1)               | SC                 |
| 1+200                                                       | 0,20-0,44       | 0,24        | A-2-4(0)             | SC                 |
| <b>Promedio</b>                                             | -               | <b>0,36</b> | <b>A-4</b>           | <b>SC</b>          |

## Apéndice 2. Diseño de Pavimento Rígido



**Figura 91.** Ecuación de mejor ajuste del Cuadro 151 del Anexo 3  
**Fuente:** Elaboración propia del autor.

| <b>Cuadro 88. Longitud de Losa<br/>Escenario 1</b> |           |           |          |             |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| <b>Propiedad de losa</b>                           | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>-</b>    |
| Ancho de Losa                                      | 239,03    | 19,92     | 6,07     | -           |
| Espesor de Losa                                    | 9,45      | 0,79      | 0,24     | -           |
| Razón rigidez relativa L                           | 66,03     | 5,50      | 1,68     | -           |
| <b>Criterio de Longitud de Losa</b>                | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>Rige</b> |
| 18 veces espesor losa                              | 170,08    | 14,17     | 4,32     | SI          |
| 1,25*Ancho Losa                                    | 298,79    | 24,90     | 7,59     | NO          |
| Long en ft=2*espes or en in                        | -         | 18,90     | 5,76     | NO          |
| 5 * Razón rigidez relativa L                       | 330,13    | 27,51     | 8,39     | NO          |

| <b>Cuadro 89. Longitud de Losa<br/>Escenario 2</b> |           |           |          |             |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| <b>Propiedad de losa</b>                           | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>-</b>    |
| Ancho de Losa                                      | 239,03    | 19,92     | 6,07     | -           |
| Espesor de Losa                                    | 8,66      | 0,72      | 0,22     | -           |
| Razón rigidez relativa L                           | 47,15     | 3,93      | 1,20     | -           |
| <b>Criterio de Longitud de Losa</b>                | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>Rige</b> |
| 18 veces espesor losa                              | 155,91    | 12,99     | 3,96     | SI          |
| 1,25*Ancho Losa                                    | 298,79    | 24,90     | 7,59     | NO          |
| Long en ft=2*espes or en in                        | -         | 17,32     | 5,28     | NO          |
| 5 * Razón rigidez relativa L                       | 235,74    | 19,64     | 5,99     | NO          |

| <b>Cuadro 90. Longitud de Losa<br/>Escenario 3</b> |           |           |          |             |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| <b>Propiedad de losa</b>                           | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>-</b>    |
| Ancho de Losa                                      | 239,03    | 19,92     | 6,07     | -           |
| Espesor de Losa                                    | 8,66      | 0,72      | 0,22     | -           |
| Razón rigidez relativa L                           | 48,61     | 4,05      | 1,23     | -           |
| <b>Criterio de Longitud de Losa</b>                | <b>In</b> | <b>ft</b> | <b>m</b> | <b>Rige</b> |
| 18 veces espesor losa                              | 155,91    | 12,99     | 3,96     | SI          |
| 1,25*Ancho Losa                                    | 298,79    | 24,90     | 7,59     | NO          |
| Long en ft=2*espesor en in                         | -         | 17,32     | 5,28     | NO          |
| 5 * Razón rigidez relativa L                       | 243,03    | 20,25     | 6,17     | NO          |

## Apéndice 3. Insumos de HDM-4

### Costos de Conservación en Lastre

| Cuadro 91. Costos de Mantenimiento en Lastre |                                                                              |          |        |                 |               |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|---------------|
| Renglón de pago                              | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total  |
| CR.303.01                                    | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56 |

### Costos de Mejoramiento Lastre-Asfalto

#### Escenario 1: Sin Estabilizar

| Cuadro 92. Costos de Mejoramiento del Escenario 1 |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                   | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.303.01                                         | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 0,98%                  |
| CR.203.03                                         | Remoción de la estructura de lastre existente                                | 9804,00  | m2     | ¢7 495,00       | ¢73 480 980,00  | 22,54%                 |
| CR.407.02                                         | Suministro y colocación de emulsión asfáltica                                | 19608    | lt     | ¢458,44         | ¢8 989 091,52   | 2,76%                  |
| CR.402.01                                         | Suministro y colocación de mezcla asfáltica                                  | 2254,92  | ton    | ¢57 469,80      | ¢129 589 801,42 | 39,76%                 |
| CR.301.03                                         | Suministro y colocación de base                                              | 3382,38  | m3     | ¢13 721,00      | ¢46 409 635,98  | 14,24%                 |
| CR.301.06                                         | Suministro y colocación de sub base                                          | 4509,84  | m3     | ¢13 221,00      | ¢59 624 594,64  | 18,29%                 |
| CR.634.04                                         | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,35%                  |
| CR.634.04                                         | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,35%                  |
| CR.634.04                                         | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 0,73%                  |
| TOTAL                                             | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢199 477 335,96 | ¢325 945 966,95 | 100,00%                |

## Escenario 2: Estabilizado con cal

| <b>Cuadro 93. Costos de Mejoramiento del Escenario 2</b> |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                          | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.303.01                                                | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 0,83%                  |
| CR.203.03                                                | Remoción de la estructura de lastre existente                                | 9804,00  | m2     | ¢7 495,00       | ¢73 480 980,00  | 19,04%                 |
| CR.213.01                                                | Estabilización de la sub-rasante con un 4% de cal                            | 9804,00  | m2     | ¢8 431,16       | ¢82 659 092,64  | 21,42%                 |
| CR.407.02                                                | Suministro y colocación de emulsión asfáltica                                | 19608    | lt     | ¢458,44         | ¢8 989 091,52   | 2,33%                  |
| CR.402.01                                                | Suministro y colocación de mezcla asfáltica                                  | 2254,92  | ton    | ¢57 469,80      | ¢129 589 801,42 | 33,58%                 |
| CR.301.03                                                | Suministro y colocación de base                                              | 2818,65  | m3     | ¢13 721,00      | ¢38 674 696,65  | 10,02%                 |
| CR.301.06                                                | Suministro y colocación de sub base                                          | 3382,38  | m3     | ¢13 221,00      | ¢44 718 445,98  | 11,59%                 |
| CR.634.04                                                | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,29%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,29%                  |
| CR.634.04                                                | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 0,62%                  |
| TOTAL                                                    | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢236 208 060,96 | ¢385 963 971,60 | 100,00%                |

### Escenario 3: Con capa de lastre

| <b>Cuadro 94. Costos de Mejoramiento del Escenario 3</b> |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                          | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.303.01                                                | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 1,39%                  |
| CR.407.02                                                | Suministro y colocación de emulsión asfáltica                                | 19608    | lt     | ¢458,44         | ¢8 989 091,52   | 3,91%                  |
| CR.402.01                                                | Suministro y colocación de mezcla asfáltica                                  | 2254,92  | ton    | ¢57 469,80      | ¢129 589 801,42 | 56,39%                 |
| CR.301.03                                                | Suministro y colocación de base                                              | 2818,65  | m3     | ¢13 721,00      | ¢38 674 696,65  | 16,83%                 |
| CR.301.06                                                | Suministro y colocación de sub-base                                          | 3382,38  | m3     | ¢13 221,00      | ¢44 718 445,98  | 19,46%                 |
| CR.634.04                                                | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,49%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,49%                  |
| CR.634.04                                                | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 1,04%                  |
| TOTAL                                                    | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢140 651 100,96 | ¢229 823 898,96 | 100,00%                |

## Costos de Mejoramiento Lastre-Concreto

| Cuadro 95. Losa de Concreto |                                                  |          |        |                 |                 |                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago             | Descripción                                      | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| -                           | Suministro y colocación de concreto MR 45 kg/cm2 | 2352,96  | m3     | ¢188 332,03     | ¢443 137 724,07 | 97,39%                 |
| -                           | Suministro y colocación de acero para dovelas    | 3926,76  | kg     | ¢3 020,75       | ¢11 861 749,63  | 2,61%                  |
| CR.501.01                   | Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo    | 9804,00  | m2     | ¢46 409,58      | ¢454 999 473,71 | 100,00%                |

## Escenario 1: Sin Estabilizar

| Cuadro 96. Costos de Mejoramiento del Escenario 1 |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                   | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.203.03                                         | Remoción de la estructura de lastre existente                                | 9804     | m2     | ¢7 495,00       | ¢73 480 980,00  | 12,76%                 |
| CR.303.01                                         | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 0,56%                  |
| CR.301.06                                         | Suministro y colocación de sub-base                                          | 1617,66  | m3     | ¢13 221,00      | ¢21 387 082,86  | 3,71%                  |
| CR.501.01                                         | Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo                                | 9804,00  | m2     | ¢46 409,58      | ¢454 999 473,71 | 79,03%                 |
| CR.502.02                                         | Sellado de Juntas                                                            | 7482     | m      | ¢2 405,89       | ¢18 000 864,91  | 3,13%                  |
| CR.634.04                                         | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,20%                  |
| CR.634.04                                         | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,20%                  |
| CR.634.04                                         | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 0,42%                  |
| TOTAL                                             | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢352 337 983,40 | ¢575 720 264,88 | 100,00%                |

## Escenario 2: Estabilizado con cal

| <b>Cuadro 97. Costos de Mejoramiento del Escenario 2</b> |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                          | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.203.03                                                | Remoción de la estructura de lastre existente                                | 9804     | m2     | ¢7 495,00       | ¢73 480 980,00  | 11,82%                 |
| CR.213.01                                                | Estabilización de la sub-rasante con un 4% de cal                            | 9804     | m2     | ¢8 431,16       | ¢82 659 092,64  | 13,30%                 |
| CR.303.01                                                | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 0,51%                  |
| CR.301.06                                                | Suministro y colocación de sub-base                                          | 1617,66  | m3     | ¢13 221,00      | ¢21 387 082,86  | 3,44%                  |
| CR.501.01                                                | Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo                                | 9804,00  | m2     | ¢42 662,29      | ¢418 261 118,03 | 67,28%                 |
| CR.502.02                                                | Sellado de Juntas                                                            | 7482     | m      | ¢2 405,89       | ¢18 000 864,91  | 2,90%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,18%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,18%                  |
| CR.634.04                                                | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 0,38%                  |
| TOTAL                                                    | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢380 441 249,59 | ¢621 641 001,84 | 100,00%                |

### Escenario 3: Con capa de lastre

| <b>Cuadro 98. Costos de Mejoramiento del Escenario 3</b> |                                                                              |          |        |                 |                 |                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Renglón de pago                                          | Descripción                                                                  | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total    | Porcentaje de peso (%) |
| CR.303.01                                                | Reacondicionamiento de calzada y limpieza de cunetas y canales a ambos lados | 1,634    | km     | ¢1 956 340,00   | ¢3 196 659,56   | 0,69%                  |
| CR.301.06                                                | Suministro y colocación de sub-base                                          | 1617,66  | m3     | ¢13 221,00      | ¢21 387 082,86  | 4,60%                  |
| CR.501.01                                                | Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo                                | 9804,00  | m2     | ¢42 642,93      | ¢418 071 330,03 | 89,85%                 |
| CR.502.02                                                | Sellado de Juntas                                                            | 7482     | m      | ¢2 405,89       | ¢18 000 864,91  | 3,87%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde derecha                                                       | 1,634    | km     | ¢693 191,57     | ¢1 132 675,03   | 0,24%                  |
| CR.634.04                                                | Línea de borde izquierda                                                     | 1,634    | km     | ¢693 192,57     | ¢1 132 676,67   | 0,24%                  |
| CR.634.04                                                | Línea doble continua                                                         | 1,634    | km     | ¢1 462 577,81   | ¢2 389 852,14   | 0,51%                  |
| TOTAL                                                    | Mejoramiento                                                                 | 1,634    | km     | ¢284 768 140,27 | ¢465 311 141,20 | 100,00%                |

## Costos de Conservación de Pavimento Flexible

| <b>Cuadro 99. Costos de Mantenimiento Rutinario de Pavimento Flexible</b> |                                                 |          |        |                 |               |                        |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|---------------|------------------------|
| Renglón de pago                                                           | Descripción                                     | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total  | Porcentaje de peso (%) |
| CV.206.01                                                                 | Limpieza de tomas, cabezales y alcantarillas    | 8        | un     | ¢34 988,57      | ¢279 908,55   | 10,80%                 |
| CV.201.01                                                                 | Limpieza de cunetas revestidas de manera manual | 65       | m3     | ¢7 168,12       | ¢468 508,64   | 18,08%                 |
| CV.102.01                                                                 | Chapea derecho de vía                           | 6536     | m2     | ¢49,39          | ¢322 780,62   | 12,46%                 |
| CV.103.01                                                                 | Descuaje de árboles por hora                    | 48       | h      | ¢50,39          | ¢2 418,48     | 0,09%                  |
| CV.601.01                                                                 | Brigada de limpieza de puentes                  | 32       | h      | ¢40 760,96      | ¢1 304 350,87 | 50,35%                 |
| CV.701.01                                                                 | Limpieza y reparación de señalamiento vertical  | 7        | un     | ¢30 389,08      | ¢212 723,55   | 8,21%                  |
| TOTAL                                                                     | Mantenimiento Rutinario                         | 1,634    | km/año | ¢1 585 490,03   | ¢2 590 690,70 | 100,00%                |

| <b>Cuadro 100. Costos de Mantenimiento Periódico de Pavimento Flexible</b> |                                         |          |        |                 |              |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|--------|-----------------|--------------|
| Renglón de pago                                                            | Descripción                             | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total |
| CR.402.03                                                                  | Bacheo con mezcla asfáltica en caliente | -        | ton    | ¢62 934,58      | -            |
| CR.402.03                                                                  | Bacheo con mezcla asfáltica en caliente |          | m2     | ¢14 474,95      |              |

| <b>Cuadro 101. Costos de Rehabilitación Vial de Pavimento Flexible</b> |                                  |          |        |                 |              |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|--------|-----------------|--------------|
| Renglón de pago                                                        | Descripción                      | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total |
| CR.402.01                                                              | Mezcla asfáltica sobre capa 25mm | -        | ton    | ¢57 469,80      | -            |
| CR.402.02                                                              | Mezcla asfáltica sobre capa 25mm | -        | m2     | ¢3 304,51       | -            |

## Costos de Conservación de Pavimento Rígido

| <b>Cuadro 102. Costos de Mantenimiento Rutinario de Pavimento Rígido</b> |                                                 |          |        |                 |               |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|---------------|------------------------|
| Renglón de pago                                                          | Descripción                                     | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total  | Porcentaje de peso (%) |
| CV.206.01                                                                | Limpieza de tomas, cabezales y alcantarillas    | 8        | un     | ¢34 988,57      | ¢279 908,55   | 10,80%                 |
| CV.201.01                                                                | Limpieza de cunetas revestidas de manera manual | 65       | m3     | ¢7 168,12       | ¢468 508,64   | 18,08%                 |
| CV.102.01                                                                | Chapea derecho de vía                           | 6536     | m2     | ¢49,39          | ¢322 780,62   | 12,46%                 |
| CV.103.01                                                                | Descuaje de árboles por hora                    | 48       | h      | ¢50,39          | ¢2 418,48     | 0,09%                  |
| CV.601.01                                                                | Brigada de limpieza de puentes                  | 32       | h      | ¢40 760,96      | ¢1 304 350,87 | 50,35%                 |
| CV.701.01                                                                | Limpieza y reparación de señalamiento vertical  | 7        | un     | ¢30 389,08      | ¢212 723,55   | 8,21%                  |
| TOTAL                                                                    | Mantenimiento Rutinario                         | 1,634    | km/año | ¢1 585 490,03   | ¢2 590 690,70 | 100,00%                |

| <b>Cuadro 103. Costos de Reparación Losa Espesor Parcial</b> |                                                  |          |        |                 |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|
| Renglón de pago                                              | Descripción                                      | Cantidad | Unidad | Precio Unitario |
| CV.403.02                                                    | Demolición de losas                              | -        | m2     | ¢5 687,56       |
| -                                                            | Suministro y colocación de concreto MR 45 kg/cm2 | -        | m2     | ¢15 066,56      |
| CV.402.02                                                    | Reparación Losa Espesor Parcial                  | -        | m2     | ¢20 754,13      |

| <b>Cuadro 104. Costos de Reparación de Losa en todo el Espesor</b> |                                                  |          |        |                 |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|
| Renglón de pago                                                    | Descripción                                      | Cantidad | Unidad | Precio Unitario |
| CV.403.02                                                          | Demolición de losas                              | -        | m2     | ¢5 687,56       |
| -                                                                  | Suministro y colocación de concreto MR 45 kg/cm2 | -        | m2     | ¢45 199,69      |
| CV.405.02                                                          | Suministro y colocación de acero para dovelas    | -        | m2     | ¢1 209,89       |
| CV.403.01                                                          | Reparación de Losa en todo el Espesor            | -        | m2     | ¢52 097,14      |

| <b>Cuadro 105. Costos de Mantenimiento Periódico de Pavimento Rígido</b> |                                      |          |        |                 |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------|--------|-----------------|
| Renglón de pago                                                          | Descripción                          | Cantidad | Unidad | Precio Unitario |
| CR.303.02                                                                | Conformación de cunetas y espaldones | -        | km     | ¢186 122,91     |
| CR.502.02                                                                | Sellado de Juntas                    | -        | m      | ¢2 405,89       |
| CV.402.02                                                                | Reparación Losa Espesor Parcial      | -        | m2     | ¢20 754,13      |
| CV.403.01                                                                | Reparación Losa en todo el Espesor   | -        | m2     | ¢52 097,14      |

| <b>Cuadro 106. Insumos de Costos de Pavimento Flexible para Herramienta HDM-4</b> |                                         |        |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|-----------------|
| Renglón de pago                                                                   | Descripción                             | Unidad | Precio Unitario |
| NA                                                                                | Mantenimiento en Lastre                 | km/año | \$3 523,92      |
| NA                                                                                | Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 1 | km     | \$359 315,04    |
| NA                                                                                | Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 2 | km     | \$425 477,45    |
| NA                                                                                | Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 3 | km     | \$253 352,37    |
| NA                                                                                | Mantenimiento Rutinario                 | km/año | \$2 855,92      |
| CR.402.03                                                                         | Bacheo con mezcla asfáltica en caliente | m2     | \$26,07         |
| CR.402.01                                                                         | Mezcla asfáltica sobre capa 25mm        | m2     | \$5,95          |

| <b>Cuadro 107. Insumos de Costos de Pavimento Rígido para Herramienta HDM-4</b> |                                          |        |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------|-----------------|
| Renglón de pago                                                                 | Descripción                              | Unidad | Precio Unitario |
| NA                                                                              | Mantenimiento en Lastre                  | km/año | \$3 523,92      |
| NA                                                                              | Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 1 | km     | \$634 660,25    |
| NA                                                                              | Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 2 | km     | \$685 282,17    |
| NA                                                                              | Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 3 | km     | \$512 947,87    |
| NA                                                                              | Mantenimiento Rutinario                  | km/año | \$2 855,92      |
| CR.303.02                                                                       | Conformación de cunetas y espaldones     | km/año | \$335,26        |
| CR.502.02                                                                       | Sellado de Juntas                        | m      | \$4,33          |
| CV.402.02                                                                       | Reparación Losa Espesor Parcial          | m2     | \$37,38         |
| CV.403.01                                                                       | Reparación Losa en todo el Espesor       | m2     | \$93,84         |

## Velocidad Promedio en las curvas

| <b>Cuadro 108. Velocidades de las curvas horizontales</b> |                                          |           |                      |           |             |            |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|----------------------|-----------|-------------|------------|
| Curva                                                     | Ángulo de Deflexión de las Tangentes (°) | Radio (m) | Radio Redondeado (m) | Peralte i | Fricción f' | Vel (km/h) |
| 1                                                         | 21                                       | 655,53    | 660                  | 4,0%      | 0,16        | 129        |
| 2                                                         | 49                                       | 400,14    | 400                  | 4,0%      | 0,16        | 101        |
| 3                                                         | 72                                       | 88,56     | 90                   | 4,0%      | 0,16        | 47         |
| 4                                                         | 10                                       | 887,46    | 890                  | 4,0%      | 0,16        | 150        |
| 5                                                         | 22                                       | 389,97    | 390                  | 4,0%      | 0,16        | 100        |
| PROMEDIO                                                  | 35                                       | 484,33    | 486,00               | 4,0%      | 0,16        | 105        |

## Características Básicas de los Estándares de Trabajo

| <b>Cuadro 109. Estándar SP1: Mantenimiento en Lastre</b> |                         |                                |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Tarea                                                    | Mantenimiento Rutinario | Reacondicionamiento de Calzada |
| Capa de rodadura                                         | Sin pavimentar          | Sin pavimentar                 |
| Tipo de entidad                                          | Misceláneos             | Misceláneos                    |
| Actuación                                                | Miscellaneous           | Miscellaneous                  |
| Tipo de intervención                                     | Programada              | Programada                     |
| Intervención                                             | Cada año                | Cada año                       |
| Inicio de Intervención                                   | 2017                    | 2017                           |

| <b>Cuadro 110. Estándar FLEX1: Mantenimiento Rutinario de Pavimento Flexible</b> |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Tipo                                                                             | Mantenimiento Rutinario |
| Capa de rodadura                                                                 | Bituminosa              |
| Tipo de entidad                                                                  | Misceláneos             |
| Actuación                                                                        | Miscellaneous           |
| Tipo de intervención                                                             | Programada              |
| Intervención                                                                     | Cada año                |
| Inicio de Intervención                                                           | 2017                    |

| <b>Cuadro 111. Estándar FLEX2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación</b> |                         |                            |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Tipo                                                                                  | Mantenimiento Rutinario | Bacheo                     | Sobre capa de 25mm                                          |
| Capa de rodadura                                                                      | Bituminosa              | Bituminosa                 | Bituminosa                                                  |
| Tipo de entidad                                                                       | Misceláneos             | Calzada                    | Calzada                                                     |
| Actuación                                                                             | Miscellaneous           | Patching                   | Thin Overlay                                                |
| Tipo de intervención                                                                  | Programada              | Correctiva                 | Correctiva                                                  |
| Intervención                                                                          | Cada año                | Potholing $\geq$ 10 no./km | Total carriageway cracked $\geq$ 5%; Roughness $\geq$ 4 IRI |

| <b>Cuadro 112. Estándar RIG2: Mantenimiento Rutinario de Pavimento Rígido</b> |                         |                                      |                   |                            |                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Tipo                                                                          | Mantenimiento Rutinario | Conformación de cunetas y espaldones | Sellado de Juntas | Reparación Espesor Parcial | Reparación Todo el Espesor     |
| Capa de rodadura                                                              | Hormigón                | Hormigón                             | Hormigón          | Hormigón                   | Hormigón                       |
| Tipo de entidad                                                               | Misceláneos             | Arcenes                              | Calzada           | Calzada                    | Calzada                        |
| Actuación                                                                     | Miscellaneous           | Shoulder repair                      | Joint Sealing     | Full depth repair          | Partial depth repair           |
| Tipo de intervención                                                          | Programada              | Programada                           | Programada        | Correctiva                 | Correctiva                     |
| Intervención                                                                  | Cada año                | Cada 2 años                          | Cada 5 años       | Spalling $\geq$ 10%        | Cracks Deteriorated $\geq$ 15% |

| <b>Cuadro 113. Estándares de Mejoramiento Lastre-Asfalto</b> |                                                |                                                |                                                |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Tipo                                                         | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 1 | FLEX2: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 2 | FLEX3: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 3 |
| Tipo de capa de rodadura                                     | Sin Pavimentar                                 | Sin Pavimentar                                 | Sin Pavimentar                                 |
| Tipo de mejora                                               | Upgrading                                      | Upgrading                                      | Upgrading                                      |
| Tipo de intervención                                         | Programada                                     | Programada                                     | Programada                                     |
| Tipo de tráfico                                              | Two Lane Narrow                                | Two Lane Narrow                                | Two Lane Narrow                                |
| Tipo de carretera                                            | Tertiary or Local                              | Tertiary or Local                              | Tertiary or Local                              |
| Nuevo tipo de pavimento                                      | Mezcla bituminosa sobre base granular          | Mezcla bituminosa sobre base granular          | Mezcla bituminosa sobre base granular          |
| Año de intervención                                          | 2017                                           | 2017                                           | 2017                                           |
| Material capa de rodadura                                    | Mezcla bituminosa                              | Mezcla bituminosa                              | Mezcla bituminosa                              |
| No. Estructural Estación Seca                                | 4,28                                           | 3,72                                           | 5,31                                           |
| Espesor capa de rodadura (mm)                                | 100                                            | 100                                            | 100                                            |
| Compactación relativa (%)                                    | 95                                             | 95                                             | 95                                             |
| Modelo de Tráfico                                            | Free-Flow                                      | Free-Flow                                      | Free-Flow                                      |
| Regularidad IRI (m/km)                                       | 1,85                                           | 1,85                                           | 1,85                                           |

| <b>Cuadro 114. Estándares de Mejoramiento Lastre-Concreto</b> |                                                |                                                |                                                |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Tipo                                                          | RIG1: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 1 | RIG2: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 2 | RIG3: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 3 |
| Tipo de capa de rodadura                                      | Sin Pavimentar                                 | Sin Pavimentar                                 | Sin Pavimentar                                 |
| Tipo de mejora                                                | Upgrading                                      | Upgrading                                      | Upgrading                                      |
| Tipo de intervención                                          | Programada                                     | Programada                                     | Programada                                     |
| Tipo de tráfico                                               | Two Lane Narrow                                | Two Lane Narrow                                | Two Lane Narrow                                |

|                               |                                             |                                             |                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Tipo de carretera             | Tertiary or Local                           | Tertiary or Local                           | Tertiary or Local                           |
| Nuevo tipo de pavimento       | JPCP con pasadores (Jointed Plain Concrete) | JPCP con pasadores (Jointed Plain Concrete) | JPCP con pasadores (Jointed Plain Concrete) |
| Año de intervención           | 2017                                        | 2017                                        | 2017                                        |
| Espesor de carpeta(mm)        | 240                                         | 220                                         | 220                                         |
| Tipo de Base                  | Granular                                    | Granular                                    | Granular                                    |
| Espesor de base(mm)           | 150                                         | 150                                         | 150                                         |
| Módulo (MPa)                  | 102,34                                      | 102,34                                      | 102,34                                      |
| Tipo de explanada             | Fino                                        | Granular                                    | Granular                                    |
| K. módulo de reacción (MPa/m) | 10                                          | 12,34                                       | 10,92                                       |
| Modelo de Tráfico             | Free-Flow                                   | Free-Flow                                   | Free-Flow                                   |
| Regularidad IRI (m/km)        | 1,85                                        | 1,85                                        | 1,85                                        |

| <b>Cuadro 115. Estándares de Trabajo asignadas a las Alternativas</b> |                                                           |                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Alternativa</b>                                                    | <b>Estándar de Conservación</b>                           | <b>Estándar de Mejoramiento</b>                |
| Lastre con Mantenimiento Rutinario                                    | SP1: Mantenimiento Lastre                                 | -                                              |
| Flexible Escenario 1                                                  | FLEX2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 1 |
| Flexible Escenario 2                                                  | FLEX2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 2 |
| Flexible Escenario 3                                                  | FLEX2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto Escenario 3 |
| Rígido Escenario 1                                                    | RIG2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación  | RIG1: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 1 |
| Rígido Escenario 2                                                    | RIG2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación  | RIG2: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 2 |
| Rígido Escenario 3                                                    | RIG2: Mant. Rutinario, Mant. Preventivo y Rehabilitación  | RIG3: Mejoramiento Lastre-Concreto Escenario 3 |

## Apéndice 4. Deterioro Anual de la Calzada

| Cuadro 116. Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 1 |                  |                                  |                           |                    |                        |                            |                            |                         |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Año                                                         | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Todas<br>Fis.<br>Estr. | Despr.<br>De áridos<br>(%) | Rotura<br>de Borde<br>(m²) | Prof.<br>Rodera<br>(mm) | No de<br>Baches | No.<br>Estruct. |
| 2017                                                        | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               | 0,00                   | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                    | 0,00            | 0,00            |
| 2018                                                        | 188              | 0,01                             | 2,06                      | 1,95               | 0,00                   | 0,00                       | 0,09                       | 2,08                    | 0,00            | 4,09            |
| 2019                                                        | 197              | 0,01                             | 2,13                      | 2,09               | 0,00                   | 0,00                       | 0,18                       | 2,24                    | 0,00            | 4,09            |
| 2020                                                        | 206              | 0,01                             | 2,21                      | 2,17               | 0,00                   | 0,00                       | 0,27                       | 2,39                    | 0,00            | 4,09            |
| 2021                                                        | 216              | 0,01                             | 2,29                      | 2,25               | 0,00                   | 0,00                       | 0,37                       | 2,55                    | 0,00            | 4,09            |
| 2022                                                        | 226              | 0,01                             | 2,37                      | 2,33               | 0,00                   | 0,00                       | 0,48                       | 2,70                    | 0,00            | 4,09            |
| 2023                                                        | 237              | 0,01                             | 2,45                      | 2,41               | 0,00                   | 0,00                       | 0,61                       | 2,86                    | 0,00            | 4,09            |
| 2024                                                        | 248              | 0,01                             | 2,54                      | 2,49               | 0,00                   | 0,00                       | 0,74                       | 3,01                    | 0,00            | 4,09            |
| 2025                                                        | 260              | 0,01                             | 2,63                      | 2,59               | 1,15                   | 0,00                       | 0,89                       | 3,17                    | 0,00            | 4,09            |
| 2026                                                        | 273              | 0,01                             | 2,75                      | 2,69               | 4,13                   | 0,00                       | 1,05                       | 3,33                    | 0,00            | 4,08            |
| 2027                                                        | 286              | 0,01                             | 2,88                      | 2,81               | 9,25                   | 0,00                       | 1,23                       | 3,49                    | 0,00            | 4,05            |
| 2028                                                        | 299              | 0,02                             | 3,02                      | 2,95               | 16,70                  | 0,00                       | 1,42                       | 3,66                    | 0,00            | 4,00            |
| 2029                                                        | 314              | 0,02                             | 3,20                      | 3,11               | 26,61                  | 0,00                       | 1,64                       | 3,84                    | 0,00            | 3,92            |
| 2030                                                        | 329              | 0,02                             | 3,39                      | 3,29               | 39,10                  | 0,00                       | 1,87                       | 4,03                    | 0,00            | 3,81            |
| 2031                                                        | 344              | 0,02                             | 3,61                      | 3,50               | 54,08                  | 0,00                       | 2,13                       | 4,23                    | 0,00            | 3,67            |
| 2032                                                        | 361              | 0,02                             | 3,83                      | 3,72               | 67,81                  | 0,00                       | 2,42                       | 4,46                    | 6,98            | 3,49            |
| 2033                                                        | 378              | 0,02                             | 4,04                      | 3,93               | 39,45                  | 0,00                       | 1,37                       | 2,36                    | 10,39           | 3,31            |
| 2034                                                        | 396              | 0,02                             | 1,92                      | 1,89               | 0,50                   | 0,00                       | 0,17                       | 0,18                    | 0,00            | 3,83            |
| 2035                                                        | 415              | 0,02                             | 2,00                      | 1,96               | 1,51                   | 0,00                       | 0,36                       | 0,36                    | 0,00            | 3,83            |
| 2036                                                        | 435              | 0,02                             | 2,09                      | 2,05               | 3,52                   | 0,00                       | 0,57                       | 0,54                    | 0,00            | 3,83            |
| 2037                                                        | 456              | 0,02                             | 2,19                      | 2,14               | 6,97                   | 0,00                       | 0,79                       | 0,72                    | 0,00            | 3,82            |
| 2038                                                        | 478              | 0,02                             | 2,31                      | 2,25               | 12,35                  | 0,00                       | 1,04                       | 0,91                    | 0,00            | 3,80            |
| 2039                                                        | 500              | 0,03                             | 2,45                      | 2,38               | 20,24                  | 0,00                       | 1,31                       | 1,10                    | 0,00            | 3,77            |
| 2040                                                        | 524              | 0,03                             | 2,61                      | 2,53               | 31,22                  | 0,00                       | 1,61                       | 1,31                    | 0,00            | 3,72            |
| 2041                                                        | 549              | 0,03                             | 2,81                      | 2,71               | 45,95                  | 0,00                       | 1,94                       | 1,54                    | 0,00            | 3,65            |
| 2042                                                        | 576              | 0,03                             | 3,02                      | 2,92               | 62,42                  | 0,00                       | 2,30                       | 1,79                    | 0,00            | 3,56            |
| 2043                                                        | 603              | 0,03                             | 3,22                      | 3,12               | 75,06                  | 0,00                       | 2,70                       | 2,08                    | 0,00            | 3,45            |
| 2044                                                        | 632              | 0,03                             | 3,41                      | 3,32               | 84,31                  | 0,00                       | 3,14                       | 2,40                    | 0,00            | 3,37            |

|      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,59 | 3,50 | 90,76 | 0,00 | 3,62 | 2,73 | 10,69 | 3,26 |
| 2046 | 694 | 0,03 | 3,76 | 3,67 | 95,01 | 0,00 | 4,14 | 3,09 | 11,89 | 3,17 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 117. Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 2 |                  |                                  |                           |                    |                        |                            |                            |                         |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Año                                                         | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Todas<br>Fis.<br>Estr. | Despr.<br>De áridos<br>(%) | Rotura<br>de Borde<br>(m²) | Prof.<br>Rodera<br>(mm) | No de<br>Baches | No.<br>Estruct. |
| 2017                                                        | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               | 0,00                   | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                    | 0,00            | 0,00            |
| 2018                                                        | 188              | 0,01                             | 2,07                      | 1,96               | 0,00                   | 0,00                       | 0,09                       | 2,37                    | 0,00            | 3,55            |
| 2019                                                        | 197              | 0,01                             | 2,15                      | 2,11               | 0,00                   | 0,00                       | 0,18                       | 2,55                    | 0,00            | 3,55            |
| 2020                                                        | 206              | 0,01                             | 2,23                      | 2,19               | 0,00                   | 0,00                       | 0,27                       | 2,73                    | 0,00            | 3,55            |
| 2021                                                        | 216              | 0,01                             | 2,31                      | 2,27               | 0,00                   | 0,00                       | 0,37                       | 2,92                    | 0,00            | 3,55            |
| 2022                                                        | 226              | 0,01                             | 2,40                      | 2,36               | 0,00                   | 0,00                       | 0,48                       | 3,10                    | 0,00            | 3,55            |
| 2023                                                        | 237              | 0,01                             | 2,48                      | 2,44               | 0,00                   | 0,00                       | 0,61                       | 3,28                    | 0,00            | 3,55            |
| 2024                                                        | 248              | 0,01                             | 2,58                      | 2,53               | 0,50                   | 0,00                       | 0,74                       | 3,47                    | 0,00            | 3,55            |
| 2025                                                        | 260              | 0,01                             | 2,69                      | 2,63               | 2,69                   | 0,00                       | 0,89                       | 3,65                    | 0,00            | 3,55            |
| 2026                                                        | 273              | 0,01                             | 2,81                      | 2,75               | 6,92                   | 0,00                       | 1,05                       | 3,84                    | 0,00            | 3,53            |
| 2027                                                        | 286              | 0,01                             | 2,95                      | 2,88               | 13,41                  | 0,00                       | 1,23                       | 4,03                    | 0,00            | 3,49            |
| 2028                                                        | 299              | 0,02                             | 3,12                      | 3,04               | 22,30                  | 0,00                       | 1,42                       | 4,23                    | 0,00            | 3,43            |
| 2029                                                        | 314              | 0,02                             | 3,31                      | 3,21               | 33,74                  | 0,00                       | 1,64                       | 4,45                    | 0,00            | 3,33            |
| 2030                                                        | 329              | 0,02                             | 3,52                      | 3,41               | 47,83                  | 0,00                       | 1,87                       | 4,68                    | 0,00            | 3,20            |
| 2031                                                        | 344              | 0,02                             | 3,75                      | 3,64               | 62,59                  | 0,00                       | 2,13                       | 4,94                    | 6,80            | 3,04            |
| 2032                                                        | 361              | 0,02                             | 3,97                      | 3,86               | 74,72                  | 0,00                       | 2,42                       | 5,23                    | 10,12           | 2,87            |
| 2033                                                        | 378              | 0,02                             | 4,18                      | 4,07               | 42,14                  | 0,00                       | 1,37                       | 2,77                    | 13,72           | 2,77            |
| 2034                                                        | 396              | 0,02                             | 1,93                      | 1,89               | 0,50                   | 0,00                       | 0,17                       | 0,21                    | 0,00            | 3,28            |
| 2035                                                        | 415              | 0,02                             | 2,01                      | 1,97               | 1,51                   | 0,00                       | 0,36                       | 0,43                    | 0,00            | 3,28            |
| 2036                                                        | 435              | 0,02                             | 2,10                      | 2,06               | 3,52                   | 0,00                       | 0,57                       | 0,64                    | 0,00            | 3,28            |
| 2037                                                        | 456              | 0,02                             | 2,21                      | 2,16               | 6,97                   | 0,00                       | 0,79                       | 0,86                    | 0,00            | 3,27            |
| 2038                                                        | 478              | 0,02                             | 2,33                      | 2,27               | 12,35                  | 0,00                       | 1,04                       | 1,08                    | 0,00            | 3,25            |
| 2039                                                        | 500              | 0,03                             | 2,47                      | 2,40               | 20,24                  | 0,00                       | 1,31                       | 1,31                    | 0,00            | 3,22            |
| 2040                                                        | 524              | 0,03                             | 2,64                      | 2,56               | 31,22                  | 0,00                       | 1,61                       | 1,56                    | 0,00            | 3,18            |
| 2041                                                        | 549              | 0,03                             | 2,84                      | 2,74               | 45,95                  | 0,00                       | 1,94                       | 1,83                    | 0,00            | 3,12            |
| 2042                                                        | 576              | 0,03                             | 3,07                      | 2,96               | 62,42                  | 0,00                       | 2,30                       | 2,13                    | 0,00            | 3,04            |
| 2043                                                        | 603              | 0,03                             | 3,27                      | 3,17               | 75,06                  | 0,00                       | 2,70                       | 2,47                    | 0,00            | 2,94            |

|      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| 2044 | 632 | 0,03 | 3,47 | 3,37 | 84,31 | 0,00 | 3,14 | 2,84 | 0,00  | 2,88 |
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,66 | 3,57 | 90,76 | 0,00 | 3,62 | 3,24 | 10,69 | 2,82 |
| 2046 | 694 | 0,03 | 3,84 | 3,75 | 95,01 | 0,00 | 4,14 | 3,65 | 11,89 | 2,75 |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 118. Resumen de Deterioro Anual Flexible Escenario 3</b> |                  |                                  |                           |                    |                     |                               |                            |                         |                 |                 |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Año                                                                | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Todas<br>Fis. Estr. | Despr.<br>De<br>áridos<br>(%) | Rotura<br>de Borde<br>(m²) | Prof.<br>Rodera<br>(mm) | No de<br>Baches | No.<br>Estruct. |
| 2017                                                               | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               | 0,00                | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                    | 0,00            | 0,00            |
| 2018                                                               | 188              | 0,01                             | 2,03                      | 1,94               | 0,00                | 0,00                          | 0,09                       | 1,74                    | 0,00            | 5,07            |
| 2019                                                               | 197              | 0,01                             | 2,10                      | 2,07               | 0,00                | 0,00                          | 0,18                       | 1,86                    | 0,00            | 5,07            |
| 2020                                                               | 206              | 0,01                             | 2,18                      | 2,14               | 0,00                | 0,00                          | 0,27                       | 1,98                    | 0,00            | 5,07            |
| 2021                                                               | 216              | 0,01                             | 2,25                      | 2,21               | 0,00                | 0,00                          | 0,37                       | 2,11                    | 0,00            | 5,07            |
| 2022                                                               | 226              | 0,01                             | 2,33                      | 2,29               | 0,00                | 0,00                          | 0,48                       | 2,23                    | 0,00            | 5,07            |
| 2023                                                               | 237              | 0,01                             | 2,41                      | 2,37               | 0,00                | 0,00                          | 0,61                       | 2,35                    | 0,00            | 5,07            |
| 2024                                                               | 248              | 0,01                             | 2,49                      | 2,45               | 0,00                | 0,00                          | 0,74                       | 2,47                    | 0,00            | 5,07            |
| 2025                                                               | 260              | 0,01                             | 2,58                      | 2,53               | 0,00                | 0,00                          | 0,89                       | 2,60                    | 0,00            | 5,07            |
| 2026                                                               | 273              | 0,01                             | 2,67                      | 2,62               | 0,86                | 0,00                          | 1,05                       | 2,72                    | 0,00            | 5,07            |
| 2027                                                               | 286              | 0,01                             | 2,78                      | 2,72               | 3,53                | 0,00                          | 1,23                       | 2,84                    | 0,00            | 5,06            |
| 2028                                                               | 299              | 0,02                             | 2,90                      | 2,84               | 8,30                | 0,00                          | 1,42                       | 2,97                    | 0,00            | 5,04            |
| 2029                                                               | 314              | 0,02                             | 3,05                      | 2,97               | 15,36               | 0,00                          | 1,64                       | 3,10                    | 0,00            | 4,99            |
| 2030                                                               | 329              | 0,02                             | 3,21                      | 3,13               | 24,87               | 0,00                          | 1,87                       | 3,24                    | 0,00            | 4,90            |
| 2031                                                               | 344              | 0,02                             | 3,40                      | 3,31               | 36,95               | 0,00                          | 2,13                       | 3,39                    | 0,00            | 4,79            |
| 2032                                                               | 361              | 0,02                             | 3,61                      | 3,51               | 51,67               | 0,00                          | 2,42                       | 3,55                    | 0,00            | 4,63            |
| 2033                                                               | 378              | 0,02                             | 3,83                      | 3,72               | 65,81               | 0,00                          | 2,73                       | 3,73                    | 7,17            | 4,44            |
| 2034                                                               | 396              | 0,02                             | 4,04                      | 3,93               | 38,66               | 0,00                          | 1,54                       | 1,97                    | 10,68           | 4,24            |
| 2035                                                               | 415              | 0,02                             | 1,92                      | 1,89               | 0,50                | 0,00                          | 0,19                       | 0,14                    | 0,00            | 4,83            |
| 2036                                                               | 435              | 0,02                             | 2,00                      | 1,96               | 1,51                | 0,00                          | 0,40                       | 0,28                    | 0,00            | 4,82            |
| 2037                                                               | 456              | 0,02                             | 2,08                      | 2,04               | 3,52                | 0,00                          | 0,62                       | 0,42                    | 0,00            | 4,82            |
| 2038                                                               | 478              | 0,02                             | 2,18                      | 2,13               | 6,97                | 0,00                          | 0,87                       | 0,56                    | 0,00            | 4,81            |
| 2039                                                               | 500              | 0,03                             | 2,29                      | 2,23               | 12,35               | 0,00                          | 1,14                       | 0,70                    | 0,00            | 4,78            |
| 2040                                                               | 524              | 0,03                             | 2,42                      | 2,36               | 20,24               | 0,00                          | 1,44                       | 0,85                    | 0,00            | 4,75            |
| 2041                                                               | 549              | 0,03                             | 2,58                      | 2,50               | 31,22               | 0,00                          | 1,77                       | 1,01                    | 0,00            | 4,69            |
| 2042                                                               | 576              | 0,03                             | 2,77                      | 2,68               | 45,95               | 0,00                          | 2,13                       | 1,19                    | 0,00            | 4,61            |

|      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| 2043 | 603 | 0,03 | 2,98 | 2,88 | 62,42 | 0,00 | 2,53 | 1,39 | 0,00  | 4,50 |
| 2044 | 632 | 0,03 | 3,17 | 3,08 | 75,06 | 0,00 | 2,97 | 1,62 | 0,00  | 4,37 |
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,35 | 3,26 | 84,31 | 0,00 | 3,44 | 1,87 | 0,00  | 4,27 |
| 2046 | 694 | 0,03 | 3,52 | 3,44 | 90,75 | 0,00 | 3,97 | 2,14 | 11,05 | 4,14 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 119. Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 1 |                  |                                  |                           |                    |                              |                               |                           |                    |                          |
|-----------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Año                                                       | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Escalonamiento<br>medio (mm) | Juntas<br>desconchadas<br>(%) | No de<br>fallos<br>por km | Losas<br>Fisuradas | Fisuras<br>det.<br>Ns/km |
| 2017                                                      | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               |                              |                               |                           |                    |                          |
| 2018                                                      | 188              | 0,01                             | 1,84                      | 1,84               | 1,23                         |                               |                           |                    |                          |
| 2019                                                      | 197              | 0,01                             | 2,01                      | 2,01               | 1,48                         |                               |                           |                    |                          |
| 2020                                                      | 206              | 0,01                             | 2,14                      | 2,14               | 1,65                         |                               |                           |                    |                          |
| 2021                                                      | 216              | 0,01                             | 2,24                      | 2,24               | 1,80                         |                               |                           |                    |                          |
| 2022                                                      | 226              | 0,01                             | 2,32                      | 2,32               | 1,92                         |                               |                           |                    |                          |
| 2023                                                      | 237              | 0,01                             | 2,40                      | 2,40               | 2,04                         |                               |                           |                    |                          |
| 2024                                                      | 248              | 0,01                             | 2,47                      | 2,47               | 2,14                         |                               |                           |                    |                          |
| 2025                                                      | 260              | 0,01                             | 2,54                      | 2,54               | 2,24                         |                               |                           |                    |                          |
| 2026                                                      | 273              | 0,01                             | 2,61                      | 2,61               | 2,34                         |                               |                           |                    |                          |
| 2027                                                      | 286              | 0,01                             | 2,67                      | 2,67               | 2,43                         |                               |                           |                    |                          |
| 2028                                                      | 299              | 0,02                             | 2,73                      | 2,73               | 2,52                         |                               |                           |                    |                          |
| 2029                                                      | 314              | 0,02                             | 2,79                      | 2,79               | 2,60                         |                               |                           |                    |                          |
| 2030                                                      | 329              | 0,02                             | 2,85                      | 2,85               | 2,69                         |                               |                           |                    |                          |
| 2031                                                      | 344              | 0,02                             | 2,90                      | 2,90               | 2,77                         |                               |                           |                    |                          |
| 2032                                                      | 361              | 0,02                             | 2,96                      | 2,96               | 2,85                         |                               |                           |                    |                          |
| 2033                                                      | 378              | 0,02                             | 3,02                      | 3,02               | 2,94                         |                               |                           |                    |                          |
| 2034                                                      | 396              | 0,02                             | 3,07                      | 3,07               | 3,02                         |                               |                           |                    |                          |
| 2035                                                      | 415              | 0,02                             | 3,13                      | 3,13               | 3,10                         |                               |                           |                    |                          |
| 2036                                                      | 435              | 0,02                             | 3,18                      | 3,18               | 3,18                         |                               |                           |                    |                          |
| 2037                                                      | 456              | 0,02                             | 3,24                      | 3,24               | 3,26                         |                               |                           |                    |                          |
| 2038                                                      | 478              | 0,02                             | 3,29                      | 3,29               | 3,34                         |                               |                           |                    |                          |
| 2039                                                      | 500              | 0,03                             | 3,35                      | 3,35               | 3,42                         |                               |                           |                    |                          |
| 2040                                                      | 524              | 0,03                             | 3,40                      | 3,40               | 3,50                         |                               |                           |                    |                          |
| 2041                                                      | 549              | 0,03                             | 3,46                      | 3,46               | 3,58                         |                               |                           |                    |                          |

|      |     |      |      |      |      |  |  |  |  |
|------|-----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| 2042 | 576 | 0,03 | 3,51 | 3,51 | 3,66 |  |  |  |  |
| 2043 | 603 | 0,03 | 3,57 | 3,57 | 3,74 |  |  |  |  |
| 2044 | 632 | 0,03 | 3,62 | 3,62 | 3,82 |  |  |  |  |
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,68 | 3,68 | 3,90 |  |  |  |  |
| 2046 | 694 | 0,03 | 3,74 | 3,74 | 3,99 |  |  |  |  |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 120. Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 2</b> |                  |                                  |                           |                    |                              |                               |                           |                    |                          |
|------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Año                                                              | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Escalonamiento<br>medio (mm) | Juntas<br>desconchadas<br>(%) | No de<br>fallos<br>por km | Losas<br>Fisuradas | Fisuras<br>det.<br>Ns/km |
| 2017                                                             | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               |                              |                               |                           |                    |                          |
| 2018                                                             | 188              | 0,01                             | 1,95                      | 1,95               | 1,38                         |                               |                           |                    |                          |
| 2019                                                             | 197              | 0,01                             | 2,14                      | 2,14               | 1,66                         |                               |                           |                    |                          |
| 2020                                                             | 206              | 0,01                             | 2,27                      | 2,27               | 1,85                         |                               |                           |                    |                          |
| 2021                                                             | 216              | 0,01                             | 2,38                      | 2,38               | 2,02                         |                               |                           |                    |                          |
| 2022                                                             | 226              | 0,01                             | 2,48                      | 2,48               | 2,15                         |                               |                           |                    |                          |
| 2023                                                             | 237              | 0,01                             | 2,57                      | 2,57               | 2,28                         |                               |                           |                    |                          |
| 2024                                                             | 248              | 0,01                             | 2,65                      | 2,65               | 2,40                         |                               |                           |                    |                          |
| 2025                                                             | 260              | 0,01                             | 2,72                      | 2,72               | 2,51                         |                               |                           |                    |                          |
| 2026                                                             | 273              | 0,01                             | 2,79                      | 2,79               | 2,61                         |                               |                           |                    |                          |
| 2027                                                             | 286              | 0,01                             | 2,86                      | 2,86               | 2,71                         |                               |                           |                    |                          |
| 2028                                                             | 299              | 0,02                             | 2,93                      | 2,93               | 2,81                         |                               |                           |                    |                          |
| 2029                                                             | 314              | 0,02                             | 2,99                      | 2,99               | 2,90                         |                               |                           |                    |                          |
| 2030                                                             | 329              | 0,02                             | 3,06                      | 3,06               | 3,00                         |                               |                           |                    |                          |
| 2031                                                             | 344              | 0,02                             | 3,12                      | 3,12               | 3,09                         |                               |                           |                    |                          |
| 2032                                                             | 361              | 0,02                             | 3,18                      | 3,18               | 3,18                         |                               |                           |                    |                          |
| 2033                                                             | 378              | 0,02                             | 3,24                      | 3,24               | 3,27                         |                               |                           |                    |                          |
| 2034                                                             | 396              | 0,02                             | 3,30                      | 3,30               | 3,35                         |                               |                           |                    |                          |
| 2035                                                             | 415              | 0,02                             | 3,36                      | 3,36               | 3,44                         |                               |                           |                    |                          |
| 2036                                                             | 435              | 0,02                             | 3,42                      | 3,42               | 3,53                         |                               |                           |                    |                          |
| 2037                                                             | 456              | 0,02                             | 3,48                      | 3,48               | 3,62                         |                               |                           |                    |                          |
| 2038                                                             | 478              | 0,02                             | 3,54                      | 3,54               | 3,70                         |                               |                           |                    |                          |
| 2039                                                             | 500              | 0,03                             | 3,60                      | 3,60               | 3,79                         |                               |                           |                    |                          |
| 2040                                                             | 524              | 0,03                             | 3,66                      | 3,66               | 3,88                         |                               |                           |                    | 0,01                     |

|      |     |      |      |      |      |  |  |  |      |
|------|-----|------|------|------|------|--|--|--|------|
| 2041 | 549 | 0,03 | 3,72 | 3,72 | 3,96 |  |  |  | 0,01 |
| 2042 | 576 | 0,03 | 3,78 | 3,78 | 4,05 |  |  |  | 0,01 |
| 2043 | 603 | 0,03 | 3,84 | 3,84 | 4,14 |  |  |  | 0,01 |
| 2044 | 632 | 0,03 | 3,90 | 3,90 | 4,23 |  |  |  | 0,01 |
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,96 | 3,96 | 4,32 |  |  |  | 0,01 |
| 2046 | 694 | 0,03 | 4,03 | 4,03 | 4,40 |  |  |  | 0,01 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 121. Resumen de Deterioro Anual Rígido Escenario 3 |                  |                                  |                           |                    |                               |                                |                           |                    |                          |
|-----------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Año                                                       | IMD<br>(Veh/día) | ESAL<br>(millones<br>por carril) | IRI<br>anterior<br>(m/km) | IRI<br>medio(m/km) | Escalonamien<br>to medio (mm) | Juntas<br>desconchada<br>s (%) | No de<br>fallos<br>por km | Losas<br>Fisuradas | Fisuras<br>det.<br>Ns/km |
| 2017                                                      | 180              | 0,01                             | 10,24                     | 7,39               |                               |                                |                           |                    |                          |
| 2018                                                      | 188              | 0,01                             | 1,92                      | 1,92               | 1,34                          |                                |                           |                    |                          |
| 2019                                                      | 197              | 0,01                             | 2,10                      | 2,10               | 1,61                          |                                |                           |                    |                          |
| 2020                                                      | 206              | 0,01                             | 2,24                      | 2,24               | 1,80                          |                                |                           |                    |                          |
| 2021                                                      | 216              | 0,01                             | 2,34                      | 2,34               | 1,96                          |                                |                           |                    |                          |
| 2022                                                      | 226              | 0,01                             | 2,44                      | 2,44               | 2,09                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2023                                                      | 237              | 0,01                             | 2,52                      | 2,52               | 2,21                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2024                                                      | 248              | 0,01                             | 2,60                      | 2,60               | 2,33                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2025                                                      | 260              | 0,01                             | 2,67                      | 2,67               | 2,43                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2026                                                      | 273              | 0,01                             | 2,74                      | 2,74               | 2,54                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2027                                                      | 286              | 0,01                             | 2,81                      | 2,81               | 2,63                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2028                                                      | 299              | 0,02                             | 2,87                      | 2,87               | 2,73                          | 0,01                           |                           |                    |                          |
| 2029                                                      | 314              | 0,02                             | 2,94                      | 2,94               | 2,82                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2030                                                      | 329              | 0,02                             | 3,00                      | 3,00               | 2,91                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2031                                                      | 344              | 0,02                             | 3,06                      | 3,06               | 3,00                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2032                                                      | 361              | 0,02                             | 3,12                      | 3,12               | 3,09                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2033                                                      | 378              | 0,02                             | 3,18                      | 3,18               | 3,17                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2034                                                      | 396              | 0,02                             | 3,24                      | 3,24               | 3,26                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2035                                                      | 415              | 0,02                             | 3,30                      | 3,30               | 3,35                          | 0,02                           |                           |                    |                          |
| 2036                                                      | 435              | 0,02                             | 3,36                      | 3,36               | 3,43                          | 0,03                           |                           |                    |                          |
| 2037                                                      | 456              | 0,02                             | 3,42                      | 3,42               | 3,52                          | 0,03                           | 0,01                      |                    |                          |
| 2038                                                      | 478              | 0,02                             | 3,47                      | 3,47               | 3,60                          | 0,03                           | 0,01                      |                    |                          |

|      |     |      |      |      |      |      |      |  |  |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|--|--|
| 2039 | 500 | 0,03 | 3,53 | 3,53 | 3,69 | 0,03 | 0,01 |  |  |
| 2040 | 524 | 0,03 | 3,59 | 3,59 | 3,77 | 0,03 | 0,01 |  |  |
| 2041 | 549 | 0,03 | 3,65 | 3,65 | 3,86 | 0,03 | 0,01 |  |  |
| 2042 | 576 | 0,03 | 3,71 | 3,71 | 3,94 | 0,04 | 0,01 |  |  |
| 2043 | 603 | 0,03 | 3,77 | 3,77 | 4,03 | 0,04 | 0,01 |  |  |
| 2044 | 632 | 0,03 | 3,83 | 3,83 | 4,11 | 0,04 | 0,01 |  |  |
| 2045 | 662 | 0,03 | 3,89 | 3,89 | 4,20 | 0,04 | 0,01 |  |  |
| 2046 | 694 | 0,03 | 3,95 | 3,95 | 4,29 | 0,04 | 0,01 |  |  |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3.

# Apéndice 5. Calendario de Intervenciones por año

| Cuadro 122. Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 1 |                                    |                        |                     |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                | Descripción de Trabajos            | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                    | FLEX1: Mejoramiento Lastre-Asfalto | €325 945 927,81        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€328 536 637,47</b> |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2018                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2019                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2020                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2021                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2022                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2023                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2024                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2025                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2026                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2027                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                    |                                    |                        |                     |
| 2028                                                               | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                          |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |

|                           |                   |                       |             |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
|                           |                   |                       |             |
| 2029                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2030                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2031                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2032                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
|                           | Bacheo            | ₡33 032,02            | 2,28 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 623 686,16</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2033                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
|                           | Sobrecapa de 25mm | ₡32 384 592,41        | 9 804,00 m2 |
|                           | Prep. Bacheo      | ₡3 818 834,61         | 263,86 m2   |
|                           | Prep. Rep. Bordes | ₡0,00                 | 2,73 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡38 794 081,16</b> |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2034                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2035                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2036                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2037                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2038                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2039                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2040                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1.63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2041                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1.63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2042                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1.63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |

|                                            |                 |                        |         |
|--------------------------------------------|-----------------|------------------------|---------|
| 2043                                       | Mant. Rutinario | ₡2 590 709,66          | 1.63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>₡2 590 709,66</b>   |         |
| 2044                                       | Mant. Rutinario | ₡2 590 709,66          | 1.63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>₡2 590 709,66</b>   |         |
| 2045                                       | Mant. Rutinario | ₡2 590 709,66          | 1.63 km |
|                                            | Bacheo          | ₡50 519,56             | 3.49 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>₡2 641 229,22</b>   |         |
| 2046                                       | Mant. Rutinario | ₡2 590 709,66          | 1.63 km |
|                                            | Bacheo          | ₡56 237,71             | 3.89 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>₡2 646 947,36</b>   |         |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                 | <b>₡440 009 934,15</b> |         |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 123. Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 2</b> |                                    |                        |                     |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                       | Descripción de Trabajos            | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                           | FLEX2: Mejoramiento Lastre-Asfalto | ₡385 963 553,70        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡388 554 263,36</b> |                     |
| 2018                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2019                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2020                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2021                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2022                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2023                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
| 2024                                                                      | Mant. Rutinario                    | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |

|                           |                   |                       |             |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
|                           |                   |                       |             |
| 2025                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2026                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2027                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2028                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2029                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2030                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2031                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
|                           | Bacheo            | ₡32 143,76            | 2,22 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 622 853,42</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2032                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
|                           | Bacheo            | ₡47 854,79            | 3,31 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 638 564,45</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2033                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
|                           | Sobrecapa de 25mm | ₡32 384 592,41        | 9,804,00 m2 |
|                           | Prep. Bacheo      | ₡4 956 468,48         | 342,46 m2   |
|                           | Prep. Rep. Bordes | ₡0,00                 | 2,73 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡39 931 770,54</b> |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2034                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2035                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2036                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2037                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                   | <b>₡2 590 709,66</b>  |             |
|                           |                   |                       |             |
| 2038                      | Mant. Rutinario   | ₡2 590 709,66         | 1,63 km     |

|                                            |                 |                        |         |
|--------------------------------------------|-----------------|------------------------|---------|
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2039                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2040                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2041                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2042                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2043                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2044                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual::</b>                 |                 | <b>€2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2045                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                            | Bacheo          | €50 519,56             | 3,49 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 641 229,22</b>   |         |
|                                            |                 |                        |         |
| 2046                                       | Mant. Rutinario | €2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                            | Bacheo          | €56 237,71             | 3,89 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                 | <b>€2 646 947,36</b>   |         |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                 | <b>€501 212 215,97</b> |         |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 124. Calendario de Actuaciones por año Flexible Escenario 3</b> |                                    |                        |                     |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                       | Descripción de Trabajos            | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                      | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                           | FLEX3: Mejoramiento Lastre-Asfalto | €229 823 582,35        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>€232 414 236,49</b> |                     |
|                                                                           |                                    |                        |                     |
| 2018                                                                      | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                           |                                    |                        |                     |
| 2019                                                                      | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                 |                                    | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                           |                                    |                        |                     |
| 2020                                                                      | Mant. Rutinario                    | €2 590 709,66          | 1,63 km             |

|                           |                    |                      |             |
|---------------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2021                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2022                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2023                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2024                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2025                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2026                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2027                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2028                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2029                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2030                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2031                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2032                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 590 709,66</b> |             |
| 2033                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
|                           | Bacheo             | €33 920,28           | 2,34 m2     |
| <b>Coste total anual:</b> |                    | <b>€2 624 629,93</b> |             |
| 2034                      | Mant. Rutinario    | €2 590 709,66        | 1,63 km     |
|                           | Sobre capa de 25mm | €32 384 592,41       | 9 804,00 m2 |
|                           | Prep. Bacheo       | €3 819 445,28        | 263,90 m2   |

|                                            |                   |                        |         |
|--------------------------------------------|-------------------|------------------------|---------|
|                                            | Prep. Rep. Bordes | Ø0,00                  | 3,07 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø38 794 747,35</b>  |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2035                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual::</b>                 |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2036                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2037                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2038                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2039                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2040                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2041                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2042                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2043                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2044                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2045                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 590 709,66</b>   |         |
|                                            |                   |                        |         |
| 2046                                       | Mant. Rutinario   | Ø2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                            | Bacheo            | Ø52 240,56             | 3,61 m2 |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                   | <b>Ø2 642 950,21</b>   |         |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                   | <b>Ø343 834 570,91</b> |         |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 125. Calendario de Actuaciones por año Lastre con Mantenimiento</b> |                                |                      |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|
| Año                                                                           | Descripción de Trabajos        | Coste Económico      | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2018                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2019                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2020                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2021                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2022                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2023                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2024                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |
|                                                                               |                                |                      |                     |
| 2025                                                                          | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66        | 1,63 km             |
|                                                                               | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                                     |                                | <b>€5 787 376,45</b> |                     |

|                    |                                |                      |         |
|--------------------|--------------------------------|----------------------|---------|
|                    |                                |                      |         |
| 2026               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2027               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2028               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2029               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2030               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2031               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2032               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2033               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        |         |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |
| 2034               | Mantenimiento Rutinario        | Ø2 590 709,66        | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | Ø3 196 666,80        | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | <b>Ø5 787 376,45</b> |         |
|                    |                                |                      |         |

|                    |                                |               |         |
|--------------------|--------------------------------|---------------|---------|
| 2035               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 |         |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2036               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2037               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2038               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2039               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2040               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2041               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2042               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2043               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |
|                    | Reacondicionamiento de Calzada | €3 196 666,80 | 1,63 km |
| Coste total anual: |                                | €5 787 376,45 |         |
|                    |                                |               |         |
| 2044               | Mantenimiento Rutinario        | €2 590 709,66 | 1,63 km |

|                                     |                                |                        |         |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------|
|                                     | Reacondicionamiento de Calzada | ₡3 196 666,80          | 1,63 km |
| Coste total anual:                  |                                | <b>₡5 787 376,45</b>   |         |
|                                     |                                |                        |         |
| 2045                                | Mantenimiento Rutinario        | ₡2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                     | Reacondicionamiento de Calzada | ₡3 196 666,80          | 1,63 km |
| Coste total anual:                  |                                | <b>₡5 787 376,45</b>   |         |
|                                     |                                |                        |         |
| 2046                                | Mantenimiento Rutinario        | ₡2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                     | Reacondicionamiento de Calzada | ₡3 196 666,80          | 1,63 km |
| Coste total anual:                  |                                | <b>₡5 787 376,45</b>   |         |
| Costes totales para la Alternativa: |                                | <b>₡173 620 460,82</b> |         |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 126. Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 1</b> |                                      |                        |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                     | Descripción de Trabajos              | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | RIG1: Mejoramiento Lastre-Concreto   | ₡575 720 017,50        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡578 310 727,16</b> |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2018                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | ₡304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2019                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2020                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | ₡304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2021                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | Sellado de Juntas                    | ₡6 201 914,42          |                     |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡8 792 607,43</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2022                                                                    | Mant. Rutinario                      | ₡2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | ₡304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>₡2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| 2023                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2024                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2025                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2026                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€9 096 740,73</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2027                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2028                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2029                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2030                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2031                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€8 792 607,43</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2032                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2033                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| 2034                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2035                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2036                      | Sellado de Juntas                    | ¢6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢9 096 740,73</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2037                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2038                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2039                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2040                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2041                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | ¢6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢8 792 607,43</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2042                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2043                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>¢2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2044                      | Mant. Rutinario                      | ¢2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | ¢304 116,65          | 1,63 km    |

|                                            |                                      |                        |            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |            |
|                                            |                                      |                        |            |
| 2045                                       | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |            |
|                                            |                                      |                        |            |
| 2046                                       | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42          | 2 580,00 m |
| Mant. Rutinario                            | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km    |
|                                            | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€9 096 740,73</b>   |            |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                                      | <b>€695 214 115,97</b> |            |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 127. Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 2</b> |                                      |                        |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                     | Descripción de Trabajos              | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | RIG2: Mejoramiento Lastre-Concreto   | €621 640 854,13        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€624 231 508,27</b> |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2018                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2019                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2020                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2021                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42          |                     |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€8 792 607,43</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2022                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2023                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| 2024                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
| 2025                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
| 2026                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€9 096 740,73</b> |            |
| 2027                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
| 2028                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
| 2029                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
| 2030                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
| 2031                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€8 792 607,43</b> |            |
| 2032                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
| 2033                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
| 2034                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2035                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2036                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€9 096 740,73</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2037                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2038                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2039                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2040                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2041                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€8 792 607,43</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2042                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2043                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2044                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2045                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |

|                                            |                                      |                        |            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |            |
|                                            |                                      |                        |            |
| 2046                                       | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42          | 2 580,00 m |
| Mant. Rutinario                            | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km    |
|                                            | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€9 096 740,73</b>   |            |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                                      | <b>€741 134 935,94</b> |            |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| <b>Cuadro 128. Calendario de Actuaciones por año Rígido Escenario 3</b> |                                      |                        |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Año                                                                     | Descripción de Trabajos              | Coste Económico        | Cantidad de Trabajo |
| 2017                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | RIG3: Mejoramiento Lastre-Concreto   | €465 311 240,12        | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€467 901 949,78</b> |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2018                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2019                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2020                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2021                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
|                                                                         | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42          |                     |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€8 792 607,43</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2022                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 894 815,20</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2023                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km             |
| <b>Coste total anual:</b>                                               |                                      | <b>€2 590 709,66</b>   |                     |
|                                                                         |                                      |                        |                     |
| 2024                                                                    | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 2 580,00 m          |
|                                                                         | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km             |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2025                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2026                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€9 096 740,73</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2027                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2028                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2029                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2030                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2031                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€8 792 607,43</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2032                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2033                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2034                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2035                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |

|                           |                                      |                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2036                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |
|                           | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€9 096 740,73</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2037                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2038                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2039                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2040                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2041                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
|                           | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        |            |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€8 792 607,43</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2042                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2043                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2044                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 2 580,00 m |
|                           | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65          | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 894 815,20</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2045                      | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66        | 1,63 km    |
| <b>Coste total anual:</b> |                                      | <b>€2 590 709,66</b> |            |
|                           |                                      |                      |            |
| 2046                      | Sellado de Juntas                    | €6 201 914,42        | 2 580,00 m |

|                                            |                                      |                        |         |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------|
| Mant. Rutinario                            | Mant. Rutinario                      | €2 590 709,66          | 1,63 km |
|                                            | Conformación de cunetas y espaldones | €304 116,65            | 1,63 km |
| <b>Coste total anual:</b>                  |                                      | <b>€9 096 740,73</b>   |         |
| <b>Costes totales para la Alternativa:</b> |                                      | <b>€584 805 349,69</b> |         |

*Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.*

## Apéndice 6. Beneficio neto anual descontado

| Cuadro 129. Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 1 |                                           |                      |                     |                                  |            |                        |                             |                           |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                      | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                        |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                          | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                        | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                          |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiempo & Operación |                             |                           |                        |
| 2017                                                                     | €325 945 922                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                     | €0                          | €0                        | -€322 749 261          |
| 2018                                                                     | €0                                        | -€2 854 162          | €0                  | €7 282 475                       | €4 968 008 | €0                     | €0                          | €0                        | €15 104 644            |
| 2019                                                                     | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 117 167                      | €7 197 200 | €0                     | €0                          | €0                        | €19 862 726            |
| 2020                                                                     | €0                                        | -€2 275 320          | €0                  | €10 800 103                      | €7 773 622 | €0                     | €0                          | €0                        | €20 849 045            |
| 2021                                                                     | €0                                        | -€2 031 536          | €0                  | €9 313 512                       | €6 650 760 | €0                     | €0                          | €0                        | €17 995 808            |
| 2022                                                                     | €0                                        | -€1 813 871          | €0                  | €8 709 641                       | €6 221 441 | €0                     | €0                          | €0                        | €16 744 953            |
| 2023                                                                     | €0                                        | -€1 619 528          | €0                  | €8 144 673                       | €5 819 784 | €0                     | €0                          | €0                        | €15 583 985            |
| 2024                                                                     | €0                                        | -€1 446 007          | €0                  | €7 616 037                       | €5 443 999 | €0                     | €0                          | €0                        | €14 506 043            |
| 2025                                                                     | €0                                        | -€1 291 078          | €0                  | €7 121 105                       | €5 092 377 | €0                     | €0                          | €0                        | €13 504 560            |
| 2026                                                                     | €0                                        | -€1 152 748          | €0                  | €6 657 178                       | €4 763 311 | €0                     | €0                          | €0                        | €12 573 238            |
| 2027                                                                     | €0                                        | -€1 029 239          | €0                  | €6 221 487                       | €4 455 278 | €0                     | €0                          | €0                        | €11 706 004            |
| 2028                                                                     | €0                                        | -€918 964            | €0                  | €5 810 712                       | €4 166 861 | €0                     | €0                          | €0                        | €10 896 536            |
| 2029                                                                     | €0                                        | -€820 503            | €0                  | €5 419 989                       | €3 896 690 | €0                     | €0                          | €0                        | €10 137 183            |
| 2030                                                                     | €0                                        | -€732 592            | €0                  | €5 041 196                       | €3 643 434 | €0                     | €0                          | €0                        | €9 417 223             |
| 2031                                                                     | €0                                        | -€654 100            | €0                  | €4 679 707                       | €3 405 776 | €0                     | €0                          | €0                        | €8 739 584             |
| 2032                                                                     | €0                                        | -€577 987            | €0                  | €4 341 803                       | €3 182 570 | €0                     | €0                          | €0                        | €8 102 360             |
| 2033                                                                     | €5 282 628                                | €101 487             | €0                  | €4 029 671                       | €2 973 100 | €0                     | €0                          | €0                        | €1 618 656             |
| 2034                                                                     | €0                                        | -€465 576            | €0                  | €3 923 066                       | €2 797 771 | €0                     | €0                          | €0                        | €7 186 412             |
| 2035                                                                     | €0                                        | -€415 692            | €0                  | €3 668 995                       | €2 617 243 | €0                     | €0                          | €0                        | €6 701 930             |
| 2036                                                                     | €0                                        | -€371 154            | €0                  | €3 431 118                       | €2 448 323 | €0                     | €0                          | €0                        | €6 250 595             |

|            |              |              |    |              |              |    |    |    |              |
|------------|--------------|--------------|----|--------------|--------------|----|----|----|--------------|
| 2037       | €0           | -€331 387    | €0 | €3 208 482   | €2 290 270   | €0 | €0 | €0 | €5 830 139   |
| 2038       | €0           | -€295 882    | €0 | €3 000 052   | €2 142 372   | €0 | €0 | €0 | €5 438 306   |
| 2039       | €0           | -€264 180    | €0 | €2 804 833   | €2 003 959   | €0 | €0 | €0 | €5 072 972   |
| 2040       | €0           | -€235 875    | €0 | €2 621 804   | €1 874 395   | €0 | €0 | €0 | €4 732 074   |
| 2041       | €0           | -€210 603    | €0 | €2 449 763   | €1 753 068   | €0 | €0 | €0 | €4 413 434   |
| 2042       | €0           | -€188 038    | €0 | €2 287 045   | €1 639 406   | €0 | €0 | €0 | €4 114 489   |
| 2043       | €0           | -€167 891    | €0 | €2 341 849   | €1 699 659   | €0 | €0 | €0 | €4 209 400   |
| 2044       | €0           | -€149 903    | €0 | €1 982 771   | €1 434 254   | €0 | €0 | €0 | €3 566 928   |
| 2045       | €0           | -€131 726    | €0 | €1 834 115   | €1 334 784   | €0 | €0 | €0 | €3 300 624   |
| 2046       | €0           | -€117 399    | €0 | €1 704 979   | €1 247 669   | €0 | €0 | €0 | €3 070 047   |
| Total<br>: | €331 228 551 | -€28 206 476 | €0 | €146 565 328 | €104 937 382 | €0 | €0 | €0 | -€51 519 365 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 130. Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 2 |                                           |                      |                     |                                  |            |                        |                             |                           |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                      | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                        |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                          | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                        | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                          |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiempo & Operación |                             |                           |                        |
| 2017                                                                     | €385 963 543                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                     | €0                          | €0                        | -€382 766 881          |
| 2018                                                                     | €0                                        | -€2 854 162          | €0                  | €7 281 969                       | €4 967 938 | €0                     | €0                          | €0                        | €15 104 069            |
| 2019                                                                     | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 116 131                      | €7 197 040 | €0                     | €0                          | €0                        | €19 861 531            |
| 2020                                                                     | €0                                        | -€2 275 320          | €0                  | €10 798 980                      | €7 773 444 | €0                     | €0                          | €0                        | €20 847 745            |
| 2021                                                                     | €0                                        | -€2 031 536          | €0                  | €9 312 298                       | €6 650 558 | €0                     | €0                          | €0                        | €17 994 393            |
| 2022                                                                     | €0                                        | -€1 813 871          | €0                  | €8 708 315                       | €6 221 217 | €0                     | €0                          | €0                        | €16 743 404            |
| 2023                                                                     | €0                                        | -€1 619 528          | €0                  | €8 143 213                       | €5 819 531 | €0                     | €0                          | €0                        | €15 582 272            |
| 2024                                                                     | €0                                        | -€1 446 007          | €0                  | €7 614 322                       | €5 443 705 | €0                     | €0                          | €0                        | €14 504 034            |
| 2025                                                                     | €0                                        | -€1 291 078          | €0                  | €7 118 867                       | €5 092 007 | €0                     | €0                          | €0                        | €13 501 952            |
| 2026                                                                     | €0                                        | -€1 152 748          | €0                  | €6 654 007                       | €4 762 825 | €0                     | €0                          | €0                        | €12 569 580            |
| 2027                                                                     | €0                                        | -€1 029 239          | €0                  | €6 216 614                       | €4 454 637 | €0                     | €0                          | €0                        | €11 700 490            |

|        |              |              |    |              |              |    |    |    |               |
|--------|--------------|--------------|----|--------------|--------------|----|----|----|---------------|
| 2028   | €0           | -€918 964    | €0 | €5 802 440   | €4 166 000   | €0 | €0 | €0 | €10 887 404   |
| 2029   | €0           | -€820 503    | €0 | €5 404 345   | €3 895 514   | €0 | €0 | €0 | €10 120 363   |
| 2030   | €0           | -€732 592    | €0 | €5 018 372   | €3 641 792   | €0 | €0 | €0 | €9 392 755    |
| 2031   | €0           | -€647 521    | €0 | €4 655 822   | €3 403 500   | €0 | €0 | €0 | €8 706 843    |
| 2032   | €0           | -€575 276    | €0 | €4 319 755   | €3 179 770   | €0 | €0 | €0 | €8 074 801    |
| 2033   | €5 282 628   | €287 064     | €0 | €4 009 229   | €2 969 699   | €0 | €0 | €0 | €1 409 235    |
| 2034   | €0           | -€465 576    | €0 | €3 923 035   | €2 797 767   | €0 | €0 | €0 | €7 186 377    |
| 2035   | €0           | -€415 692    | €0 | €3 668 901   | €2 617 230   | €0 | €0 | €0 | €6 701 824    |
| 2036   | €0           | -€371 154    | €0 | €3 430 967   | €2 448 301   | €0 | €0 | €0 | €6 250 421    |
| 2037   | €0           | -€331 387    | €0 | €3 208 276   | €2 290 237   | €0 | €0 | €0 | €5 829 900    |
| 2038   | €0           | -€295 882    | €0 | €2 999 790   | €2 142 328   | €0 | €0 | €0 | €5 438 000    |
| 2039   | €0           | -€264 180    | €0 | €2 804 501   | €2 003 902   | €0 | €0 | €0 | €5 072 583    |
| 2040   | €0           | -€235 875    | €0 | €2 621 365   | €1 874 320   | €0 | €0 | €0 | €4 731 560    |
| 2041   | €0           | -€210 603    | €0 | €2 449 095   | €1 752 966   | €0 | €0 | €0 | €4 412 665    |
| 2042   | €0           | -€188 038    | €0 | €2 285 797   | €1 639 262   | €0 | €0 | €0 | €4 113 098    |
| 2043   | €0           | -€167 891    | €0 | €2 339 191   | €1 699 453   | €0 | €0 | €0 | €4 206 536    |
| 2044   | €0           | -€149 903    | €0 | €1 978 676   | €1 433 962   | €0 | €0 | €0 | €3 562 541    |
| 2045   | €0           | -€131 726    | €0 | €1 829 683   | €1 334 380   | €0 | €0 | €0 | €3 295 788    |
| 2046   | €0           | -€117 399    | €0 | €1 700 224   | €1 247 125   | €0 | €0 | €0 | €3 064 748    |
| Total: | €391 246 171 | -€28 011 608 | €0 | €146 414 182 | €104 920 411 | €0 | €0 | €0 | -€111 899 970 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3.

| Cuadro 131. Beneficios Netos Anuales Descontados de Flexible Escenario 3 |                                           |                      |                     |                                  |            |                               |                             |                           |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                      | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                               |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                          | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                               | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                          |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiemp<br>o &<br>Operación |                             |                           |                        |
| 2017                                                                     | €229 823 560                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                            | €0                          | €0                        | -€226 626 899          |
| 2018                                                                     | €0                                        | -€2 854 162          | €0                  | €7 283 079                       | €4 968 097 | €0                            | €0                          | €0                        | €15 105 338            |
| 2019                                                                     | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 118 402                      | €7 197 390 | €0                            | €0                          | €0                        | €19 864 151            |
| 2020                                                                     | €0                                        | -€2 275 320          | €0                  | €10 801 446                      | €7 773 836 | €0                            | €0                          | €0                        | €20 850 602            |
| 2021                                                                     | €0                                        | -€2 031 536          | €0                  | €9 314 966                       | €6 650 996 | €0                            | €0                          | €0                        | €17 997 497            |
| 2022                                                                     | €0                                        | -€1 813 871          | €0                  | €8 711 210                       | €6 221 705 | €0                            | €0                          | €0                        | €16 746 787            |
| 2023                                                                     | €0                                        | -€1 619 528          | €0                  | €8 146 380                       | €5 820 073 | €0                            | €0                          | €0                        | €15 585 982            |
| 2024                                                                     | €0                                        | -€1 446 007          | €0                  | €7 617 926                       | €5 444 323 | €0                            | €0                          | €0                        | €14 508 256            |
| 2025                                                                     | €0                                        | -€1 291 078          | €0                  | €7 123 414                       | €5 092 770 | €0                            | €0                          | €0                        | €13 507 261            |
| 2026                                                                     | €0                                        | -€1 152 748          | €0                  | €6 660 419                       | €4 763 832 | €0                            | €0                          | €0                        | €12 576 999            |
| 2027                                                                     | €0                                        | -€1 029 239          | €0                  | €6 226 409                       | €4 455 995 | €0                            | €0                          | €0                        | €11 711 644            |
| 2028                                                                     | €0                                        | -€918 964            | €0                  | €5 818 713                       | €4 167 839 | €0                            | €0                          | €0                        | €10 905 515            |
| 2029                                                                     | €0                                        | -€820 503            | €0                  | €5 434 198                       | €3 898 034 | €0                            | €0                          | €0                        | €10 152 735            |
| 2030                                                                     | €0                                        | -€732 592            | €0                  | €5 068 305                       | €3 645 306 | €0                            | €0                          | €0                        | €9 446 203             |
| 2031                                                                     | €0                                        | -€654 100            | €0                  | €4 713 962                       | €3 408 411 | €0                            | €0                          | €0                        | €8 776 473             |
| 2032                                                                     | €0                                        | -€584 018            | €0                  | €4 376 926                       | €3 186 130 | €0                            | €0                          | €0                        | €8 147 073             |
| 2033                                                                     | €0                                        | -€515 913            | €0                  | €4 061 475                       | €2 977 356 | €0                            | €0                          | €0                        | €7 554 744             |
| 2034                                                                     | €4 716 633                                | €90 707              | €0                  | €3 769 843                       | €2 781 433 | €0                            | €0                          | €0                        | €1 743 936             |
| 2035                                                                     | €0                                        | -€415 692            | €0                  | €3 670 202                       | €2 617 418 | €0                            | €0                          | €0                        | €6 703 312             |
| 2036                                                                     | €0                                        | -€371 154            | €0                  | €3 432 570                       | €2 448 539 | €0                            | €0                          | €0                        | €6 252 264             |
| 2037                                                                     | €0                                        | -€331 387            | €0                  | €3 210 084                       | €2 290 516 | €0                            | €0                          | €0                        | €5 831 988             |
| 2038                                                                     | €0                                        | -€295 882            | €0                  | €3 001 853                       | €2 142 661 | €0                            | €0                          | €0                        | €5 440 396             |
| 2039                                                                     | €0                                        | -€264 180            | €0                  | €2 806 914                       | €2 004 307 | €0                            | €0                          | €0                        | €5 075 402             |
| 2040                                                                     | €0                                        | -€235 875            | €0                  | €2 624 342                       | €1 874 829 | €0                            | €0                          | €0                        | €4 735 047             |

|        |              |              |    |              |              |    |    |    |             |
|--------|--------------|--------------|----|--------------|--------------|----|----|----|-------------|
| 2041   | €0           | -€210 603    | €0 | €2 453 208   | €1 753 634   | €0 | €0 | €0 | €4 417 445  |
| 2042   | €0           | -€188 038    | €0 | €2 292 449   | €1 640 153   | €0 | €0 | €0 | €4 120 640  |
| 2043   | €0           | -€167 891    | €0 | €2 350 992   | €1 700 578   | €0 | €0 | €0 | €4 219 462  |
| 2044   | €0           | -€149 903    | €0 | €1 997 686   | €1 435 318   | €0 | €0 | €0 | €3 582 907  |
| 2045   | €0           | -€133 842    | €0 | €1 850 957   | €1 336 047   | €0 | €0 | €0 | €3 320 845  |
| 2046   | €0           | -€117 548    | €0 | €1 720 131   | €1 249 093   | €0 | €0 | €0 | €3 086 772  |
| Total: | €234 540 193 | -€28 275 889 | €0 | €146 658 462 | €104 946 618 | €0 | €0 | €0 | €45 340 777 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3

| Cuadro 132. Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 1 |                                           |                      |                     |                                  |            |                          |                             |                           |                        |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                    | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                          |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                        | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                          | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                        |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiemp o & Oper ación |                             |                           |                        |
| 2017                                                                   | €575 720 006                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                       | €0                          | €0                        | -€572 523 345          |
| 2018                                                                   | €0                                        | -€2 582 619          | €0                  | €7 469 648                       | €4 983 136 | €0                       | €0                          | €0                        | €15 035 403            |
| 2019                                                                   | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 244 676                      | €7 205 586 | €0                       | €0                          | €0                        | €19 998 621            |
| 2020                                                                   | €0                                        | -€2 058 848          | €0                  | €10 896 449                      | €7 778 332 | €0                       | €0                          | €0                        | €20 733 629            |
| 2021                                                                   | €3 941 429                                | -€2 031 536          | €0                  | €9 402 259                       | €6 654 958 | €0                       | €0                          | €0                        | €14 147 324            |
| 2022                                                                   | €0                                        | -€1 641 301          | €0                  | €8 792 206                       | €6 225 303 | €0                       | €0                          | €0                        | €16 658 810            |
| 2023                                                                   | €0                                        | -€1 619 528          | €0                  | €8 222 034                       | €5 823 418 | €0                       | €0                          | €0                        | €15 664 980            |
| 2024                                                                   | €0                                        | -€1 308 435          | €0                  | €7 688 977                       | €5 447 495 | €0                       | €0                          | €0                        | €14 444 907            |
| 2025                                                                   | €0                                        | -€1 291 078          | €0                  | €7 190 498                       | €5 095 837 | €0                       | €0                          | €0                        | €13 577 413            |
| 2026                                                                   | €2 236 472                                | -€1 043 077          | €0                  | €6 724 282                       | €4 766 879 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 297 765            |
| 2027                                                                   | €0                                        | -€1 029 239          | €0                  | €6 288 181                       | €4 459 146 | €0                       | €0                          | €0                        | €11 776 566            |
| 2028                                                                   | €0                                        | -€831 534            | €0                  | €5 880 184                       | €4 171 267 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 882 985            |
| 2029                                                                   | €0                                        | -€820 503            | €0                  | €5 498 429                       | €3 901 960 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 220 892            |
| 2030                                                                   | €0                                        | -€662 894            | €0                  | €5 141 170                       | €3 650 022 | €0                       | €0                          | €0                        | €9 454 086             |
| 2031                                                                   | €1 269 034                                | -€654 100            | €0                  | €4 806 775                       | €3 414 330 | €0                       | €0                          | €0                        | €7 606 171             |

|        |              |              |    |              |              |    |    |    |               |
|--------|--------------|--------------|----|--------------|--------------|----|----|----|---------------|
| 2032   | €0           | -€528 455    | €0 | €4 493 717   | €3 193 840   | €0 | €0 | €0 | €8 216 012    |
| 2033   | €0           | -€521 445    | €0 | €4 200 568   | €2 987 567   | €0 | €0 | €0 | €7 709 580    |
| 2034   | €0           | -€421 281    | €0 | €3 925 978   | €2 794 595   | €0 | €0 | €0 | €7 141 854    |
| 2035   | €0           | -€415 692    | €0 | €3 668 691   | €2 614 062   | €0 | €0 | €0 | €6 698 446    |
| 2036   | €720 084     | -€335 843    | €0 | €3 427 519   | €2 445 171   | €0 | €0 | €0 | €5 488 448    |
| 2037   | €0           | -€331 387    | €0 | €3 201 342   | €2 287 165   | €0 | €0 | €0 | €5 819 894    |
| 2038   | €0           | -€267 732    | €0 | €2 989 143   | €2 139 345   | €0 | €0 | €0 | €5 396 220    |
| 2039   | €0           | -€264 180    | €0 | €2 790 727   | €2 001 052   | €0 | €0 | €0 | €5 055 959    |
| 2040   | €0           | -€213 434    | €0 | €2 605 472   | €1 871 673   | €0 | €0 | €0 | €4 690 580    |
| 2041   | €408 595     | -€210 603    | €0 | €2 432 504   | €1 750 631   | €0 | €0 | €0 | €3 985 143    |
| 2042   | €0           | -€170 148    | €0 | €2 271 003   | €1 637 390   | €0 | €0 | €0 | €4 078 541    |
| 2043   | €0           | -€167 891    | €0 | €2 330 503   | €1 698 169   | €0 | €0 | €0 | €4 196 562    |
| 2044   | €0           | -€135 641    | €0 | €1 980 743   | €1 433 341   | €0 | €0 | €0 | €3 549 725    |
| 2045   | €0           | -€133 842    | €0 | €1 841 240   | €1 334 533   | €0 | €0 | €0 | €3 309 615    |
| 2046   | €231 848     | -€108 132    | €0 | €1 718 906   | €1 248 097   | €0 | €0 | €0 | €2 843 288    |
| Total: | €584 527 469 | -€27 545 421 | €0 | €148 123 822 | €105 014 299 | €0 | €0 | €0 | -€303 843 927 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3

| Cuadro 133. Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 2 |                                           |                      |                     |                                  |            |                           |                             |                           |                        |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                    | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                           |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                        | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                           | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                        |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiem po & Oper acción |                             |                           |                        |
| 2017                                                                   | €621 640 826                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                        | €0                          | €0                        | -€618 444 165          |
| 2018                                                                   | €0                                        | -€2 582 619          | €0                  | €7 466 897                       | €4 982 799 | €0                        | €0                          | €0                        | €15 032 315            |
| 2019                                                                   | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 241 591                      | €7 205 184 | €0                        | €0                          | €0                        | €19 995 134            |
| 2020                                                                   | €0                                        | -€2 058 848          | €0                  | €10 890 241                      | €7 777 349 | €0                        | €0                          | €0                        | €20 726 438            |
| 2021                                                                   | €3 941 429                                | -€2 031 536          | €0                  | €9 395 700                       | €6 653 871 | €0                        | €0                          | €0                        | €14 139 679            |
| 2022                                                                   | €0                                        | -€1 641 301          | €0                  | €8 785 317                       | €6 224 125 | €0                        | €0                          | €0                        | €16 650 743            |

|        |             |             |   |             |             |   |   |   |              |
|--------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|---|---|---|--------------|
| 2023   | 0           | -1 619 528  | 0 | 8 214 778   | 5 822 166   | 0 | 0 | 0 | 15 656 472   |
| 2024   | 0           | -1 308 435  | 0 | 7 681 262   | 5 446 174   | 0 | 0 | 0 | 14 435 871   |
| 2025   | 0           | -1 291 078  | 0 | 7 182 200   | 5 094 451   | 0 | 0 | 0 | 13 567 729   |
| 2026   | 2 236 472   | -1 043 077  | 0 | 6 715 237   | 4 765 436   | 0 | 0 | 0 | 10 287 277   |
| 2027   | 0           | -1 029 239  | 0 | 6 278 194   | 4 457 643   | 0 | 0 | 0 | 11 765 076   |
| 2028   | 0           | -831 534    | 0 | 5 869 031   | 4 169 708   | 0 | 0 | 0 | 10 870 273   |
| 2029   | 0           | -820 503    | 0 | 5 485 842   | 3 900 346   | 0 | 0 | 0 | 10 206 692   |
| 2030   | 0           | -662 894    | 0 | 5 126 852   | 3 648 355   | 0 | 0 | 0 | 9 438 101    |
| 2031   | 1 269 034   | -654 100    | 0 | 4 790 380   | 3 412 610   | 0 | 0 | 0 | 7 588 056    |
| 2032   | 0           | -528 455    | 0 | 4 474 852   | 3 192 067   | 0 | 0 | 0 | 8 195 374    |
| 2033   | 0           | -521 445    | 0 | 4 178 786   | 2 985 741   | 0 | 0 | 0 | 7 685 972    |
| 2034   | 0           | -421 281    | 0 | 3 900 902   | 2 792 715   | 0 | 0 | 0 | 7 114 898    |
| 2035   | 0           | -415 692    | 0 | 3 641 239   | 2 612 130   | 0 | 0 | 0 | 6 669 061    |
| 2036   | 720 084     | -335 843    | 0 | 3 398 900   | 2 443 186   | 0 | 0 | 0 | 5 457 845    |
| 2037   | 0           | -331 387    | 0 | 3 172 716   | 2 285 128   | 0 | 0 | 0 | 5 789 231    |
| 2038   | 0           | -267 732    | 0 | 2 961 597   | 2 137 255   | 0 | 0 | 0 | 5 366 584    |
| 2039   | 0           | -264 180    | 0 | 2 764 532   | 1 998 909   | 0 | 0 | 0 | 5 027 620    |
| 2040   | 0           | -213 434    | 0 | 2 580 577   | 1 869 476   | 0 | 0 | 0 | 4 663 487    |
| 2041   | 408 595     | -210 603    | 0 | 2 408 857   | 1 748 381   | 0 | 0 | 0 | 3 959 245    |
| 2042   | 0           | -170 148    | 0 | 2 248 552   | 1 635 086   | 0 | 0 | 0 | 4 053 786    |
| 2043   | 0           | -167 891    | 0 | 2 309 202   | 1 695 811   | 0 | 0 | 0 | 4 172 904    |
| 2044   | 0           | -135 641    | 0 | 1 960 544   | 1 430 929   | 0 | 0 | 0 | 3 527 114    |
| 2045   | 0           | -133 842    | 0 | 1 822 096   | 1 332 068   | 0 | 0 | 0 | 3 288 006    |
| 2046   | 231 848     | -108 132    | 0 | 1 700 772   | 1 245 579   | 0 | 0 | 0 | 2 822 636    |
| Total: | 630 448 289 | -27 545 421 | 0 | 147 647 644 | 104 964 676 | 0 | 0 | 0 | -350 290 548 |

Fuente: Programa HDM-4 Versión 1.3

| Cuadro 134. Beneficios Netos Anuales Descontados de Rígido Escenario 3 |                                           |                      |                     |                                  |            |                          |                             |                           |                        |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Año                                                                    | Incremento de Costes de la Administración |                      |                     | Ahorro de Costes de los Usuarios |            |                          |                             | Beneficios Exógenos Netos | Total Beneficios Netos |
|                                                                        | Trabajos Capital                          | Trabajos Recurrentes | Trabajos Especiales | Tráfico Normal (+ Inducido)      |            |                          | Reducción Costes Accidentes |                           |                        |
|                                                                        |                                           |                      |                     | TM VOC                           | TM Tiempo  | TNM Tiemp o & Oper ación |                             |                           |                        |
| 2017                                                                   | €465 311 240                              | -€3 196 661          | €0                  | €0                               | €0         | €0                       | €0                          | €0                        | -€462 114 579          |
| 2018                                                                   | €0                                        | -€2 582 619          | €0                  | €7 467 655                       | €4 982 888 | €0                       | €0                          | €0                        | €15 033 163            |
| 2019                                                                   | €0                                        | -€2 548 359          | €0                  | €10 242 441                      | €7 205 299 | €0                       | €0                          | €0                        | €19 996 099            |
| 2020                                                                   | €0                                        | -€2 058 848          | €0                  | €10 891 964                      | €7 777 625 | €0                       | €0                          | €0                        | €20 728 437            |
| 2021                                                                   | €3 941 429                                | -€2 031 536          | €0                  | €9 397 535                       | €6 654 182 | €0                       | €0                          | €0                        | €14 141 824            |
| 2022                                                                   | €0                                        | -€1 641 301          | €0                  | €8 787 267                       | €6 224 462 | €0                       | €0                          | €0                        | €16 653 030            |
| 2023                                                                   | €0                                        | -€1 619 528          | €0                  | €8 216 876                       | €5 822 526 | €0                       | €0                          | €0                        | €15 658 930            |
| 2024                                                                   | €0                                        | -€1 308 435          | €0                  | €7 683 532                       | €5 446 555 | €0                       | €0                          | €0                        | €14 438 523            |
| 2025                                                                   | €0                                        | -€1 291 078          | €0                  | €7 184 698                       | €5 094 855 | €0                       | €0                          | €0                        | €13 570 630            |
| 2026                                                                   | €2 236 472                                | -€1 043 077          | €0                  | €6 718 020                       | €4 765 858 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 290 482            |
| 2027                                                                   | €0                                        | -€1 029 239          | €0                  | €6 281 335                       | €4 458 085 | €0                       | €0                          | €0                        | €11 768 659            |
| 2028                                                                   | €0                                        | -€831 534            | €0                  | €5 872 614                       | €4 170 169 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 874 318            |
| 2029                                                                   | €0                                        | -€820 503            | €0                  | €5 489 968                       | €3 900 824 | €0                       | €0                          | €0                        | €10 211 295            |
| 2030                                                                   | €0                                        | -€662 894            | €0                  | €5 131 621                       | €3 648 850 | €0                       | €0                          | €0                        | €9 443 366             |
| 2031                                                                   | €1 269 034                                | -€654 100            | €0                  | €4 795 921                       | €3 413 123 | €0                       | €0                          | €0                        | €7 594 109             |
| 2032                                                                   | €0                                        | -€528 455            | €0                  | €4 481 310                       | €3 192 596 | €0                       | €0                          | €0                        | €8 202 361             |
| 2033                                                                   | €0                                        | -€521 445            | €0                  | €4 186 326                       | €2 986 288 | €0                       | €0                          | €0                        | €7 694 059             |
| 2034                                                                   | €0                                        | -€421 281            | €0                  | €3 909 577                       | €2 793 280 | €0                       | €0                          | €0                        | €7 124 138             |
| 2035                                                                   | €0                                        | -€415 692            | €0                  | €3 649 852                       | €2 612 711 | €0                       | €0                          | €0                        | €6 678 256             |
| 2036                                                                   | €720 084                                  | -€335 843            | €0                  | €3 407 097                       | €2 443 783 | €0                       | €0                          | €0                        | €5 466 639             |
| 2037                                                                   | €0                                        | -€331 387            | €0                  | €3 180 514                       | €2 285 742 | €0                       | €0                          | €0                        | €5 797 643             |
| 2038                                                                   | €0                                        | -€267 732            | €0                  | €2 969 013                       | €2 137 886 | €0                       | €0                          | €0                        | €5 374 631             |
| 2039                                                                   | €0                                        | -€264 180            | €0                  | €2 771 579                       | €1 999 557 | €0                       | €0                          | €0                        | €5 035 316             |
| 2040                                                                   | €0                                        | -€213 434            | €0                  | €2 587 267                       | €1 870 141 | €0                       | €0                          | €0                        | €4 670 842             |

|        |              |              |    |              |              |    |    |    |               |
|--------|--------------|--------------|----|--------------|--------------|----|----|----|---------------|
| 2041   | €408 595     | -€210 603    | €0 | €2 415 202   | €1 749 063   | €0 | €0 | €0 | €3 966 273    |
| 2042   | €0           | -€170 148    | €0 | €2 254 571   | €1 635 784   | €0 | €0 | €0 | €4 060 504    |
| 2043   | €0           | -€167 891    | €0 | €2 314 909   | €1 696 526   | €0 | €0 | €0 | €4 179 326    |
| 2044   | €0           | -€135 641    | €0 | €1 965 951   | €1 431 661   | €0 | €0 | €0 | €3 533 254    |
| 2045   | €0           | -€133 842    | €0 | €1 827 214   | €1 332 816   | €0 | €0 | €0 | €3 293 872    |
| 2046   | €231 848     | -€108 132    | €0 | €1 705 613   | €1 246 343   | €0 | €0 | €0 | €2 828 241    |
| Total: | €474 118 703 | -€27 545 421 | €0 | €147 787 441 | €104 979 479 | €0 | €0 | €0 | -€193 806 362 |

**Fuente:** Programa HDM-4 Versión 1.3

# Anexos

La sección de Anexos está compuesta de la siguiente forma:

- Anexo 1: Información obtenida de la gira.
- Anexo 2: Informes de laboratorio (MOPT).
- Anexo 3: Diseño de Pavimento Flexible.
- Anexo 4: Diseño de Pavimento Rígido.
- Anexo 5: Estabilización con cal.
- Anexo 6: Conservación Vial.
- Anexo 7: Condición actual de El Guarco.
- Anexo 8: HDM-4.

# Anexo 1. Información obtenida de la gira

| Estación: 0+000<br>Camino Guayabal - Guatupo<br>3-08-041                                                                      |         |         | Fecha: 21/1/2016<br>Vehículo: 203-323<br>Hora inicio: 8:30 am<br>Hora final: 8:50 am |                |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Descripción                                                                                                                   | Espesor | Muestra | Profundidad                                                                          | Bombeo         |              |
| Materia Granular                                                                                                              | 39cm    | MG #1   | 0,0 - 0,39                                                                           | Lado izquierdo | Lado derecho |
|                                                                                                                               |         |         |                                                                                      |                |              |
| <b>Notas:</b> Lado Izquierdo del camino cuneta con estancamiento de agua. Lado Derecho s.n cuneta.<br>Ancho de calzada: 6.50m |         |         |                                                                                      |                |              |

| Estación: 0+200<br>Camino Guayabal - Guatupo<br>3-08-041                  |          |         | Fecha: 21/1/2016<br>Vehículo: 203-323<br>Hora inicio: 8:56 am<br>Hora final: 10:35 am |                |              |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Descripción                                                               | Espesor  | Muestra | Profundidad                                                                           | Bombeo         |              |
| Subrasante                                                                | 78cm ad. | SR#1    | 0,0 - 0,78 - adelante                                                                 | Lado izquierdo | Lado derecho |
| Materia Granular                                                          | 13cm     | MG #2   | 0,0 - 0,13                                                                            |                |              |
| Materia Gravela                                                           | 44cm     | MG #3   | 0,13 - 0,57                                                                           |                |              |
| <b>Notas:</b> Cuneta Lado Izquierdo de la calzada<br>Ancho de Calzada: 5m |          |         |                                                                                       |                |              |

| Estación: 0+400<br>Camino Guayabal - Guatupo<br>3-08-041 |         |         | Fecha: 21/1/2016<br>Vehículo: 203-326<br>Hora inicio: 10:51 am<br>Hora final: 11:09 am |                |              |
|----------------------------------------------------------|---------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Descripción                                              | Espesor | Muestra | Profundidad                                                                            | Bombeo         |              |
| Materia Granular                                         | 44cm    | MG #3   | 0,0 - 0,44                                                                             | Lado izquierdo | Lado derecho |
|                                                          |         |         |                                                                                        |                |              |
| <b>Notas:</b> Ancho - Calzada => 7.80 m                  |         |         |                                                                                        |                |              |

| Estación: 0+650<br>Guayabal - Guaturo<br>3-08-041                                                   |         | Fecha: 21/1/16<br>Vehículo: 203-323<br>Hora inicio: 11:18 am<br>Hora final: 11:43 am |              |                |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| Descripción                                                                                         | Espesor | Muestra                                                                              | Profundidad  | Bombeo         |              |
| Subrasante                                                                                          | 152 cm  | SR#2                                                                                 | 0,0 - 1,71 m | Lado izquierdo | Lado derecho |
| Materia Granular                                                                                    | 16 cm   | MR#4                                                                                 | 0,0 - 0,16   |                |              |
| Materia Granular                                                                                    | 39 cm   | MR#5                                                                                 | 0,16 - 0,55  |                |              |
| <b>Notas:</b> Presencia de Nivel Fiestro<br>Ancho de Calzada: 6,0 m<br>Drenaje pobre: Lado Derecho. |         |                                                                                      |              |                |              |

| Estación: 0+850<br>Guayabal - Guaturo<br>3-08-041                             |         | Fecha: 21/1/16<br>Vehículo: 203-323<br>Hora inicio: 11:49 am<br>Hora final: 12:25 pm |             |                |              |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|
| Descripción                                                                   | Espesor | Muestra                                                                              | Profundidad | Bombeo         |              |
| Materia Granular                                                              | 18 cm   | MR#6                                                                                 | 0,0 - 0,18  | Lado izquierdo | Lado derecho |
| Materia Granular                                                              | 39 cm   | MR#7                                                                                 | 0,18 - 0,57 |                |              |
| <b>Notas:</b> Ancho de calzada: 5,90 m<br>Cuseta Lado Izquierdo de la calzada |         |                                                                                      |             |                |              |

| Estación: 1+250<br>Guayabal - Guaturo<br>3-08-041 |         | Fecha: 21/1/16<br>Vehículo: 203-323<br>Hora inicio: 12:36 pm<br>Hora final: 12:46 pm |             |                |              |
|---------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|
| Descripción                                       | Espesor | Muestra                                                                              | Profundidad | Bombeo         |              |
| Subrasante                                        |         | SR#3                                                                                 |             | Lado izquierdo | Lado derecho |
|                                                   |         |                                                                                      |             |                |              |
| <b>Notas:</b>                                     |         |                                                                                      |             |                |              |

| Estación: 1+050<br>Guayabal - Guafuso<br>3-08-041 |         | Fecha: 28/1/16<br>Vehículo: 203-344<br>Hora inicio: 9:15 am<br>Hora final: 9:50 am |             |                |              |
|---------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|
| Descripción                                       | Espesor | Muestra                                                                            | Profundidad | Bombeo         |              |
| Material Gravel                                   | 28 cm   | MB#8                                                                               | 0.0 - 0.28  | Lado izquierdo | Lado derecho |
| Material Gravel                                   | 33 cm   | MB#9                                                                               | 0.28 - 0.61 |                |              |
| <b>Notas:</b> Ancho de calzada: 5.80 m            |         |                                                                                    |             |                |              |

| Estación: 1+200<br>Guayabal - Guafuso<br>3-08-041                      |         | Fecha: 28/1/16<br>Vehículo: 203-344<br>Hora inicio: 9:56 am<br>Hora final: 10:28 am |             |                |              |
|------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|
| Descripción                                                            | Espesor | Muestra                                                                             | Profundidad | Bombeo         |              |
| Material Gravel                                                        | 20 cm   | MB#10                                                                               | 0.0 - 0.20  | Lado izquierdo | Lado derecho |
| Material Gravel                                                        | 37 cm   | MB#11                                                                               | 0.20 - 0.44 |                |              |
| <b>Notas:</b> Ancho de calzada: 5.50 m<br>Lado derecho: Alcantarillado |         |                                                                                     |             |                |              |

| Estación:     |         | Fecha: _____<br>Vehículo: _____<br>Hora inicio: _____<br>Hora final: _____ |             |                |              |
|---------------|---------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|
| Descripción   | Espesor | Muestra                                                                    | Profundidad | Bombeo         |              |
|               |         |                                                                            |             | Lado izquierdo | Lado derecho |
|               |         |                                                                            |             |                |              |
| <b>Notas:</b> |         |                                                                            |             |                |              |

## **Anexo 2. Informes de laboratorio (MOPT)**

**Informe de Ensayos en Subrasante**

**Información General:**

MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales\_Depto. Pavimentos

Informe Número **SR-E-16-005**

Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal- Guatuso

Fecha Impresión 19/02/2016

Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez

Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003

**Descripción de la muestra:**

Fuente de Materiales: No indica.

Muestra Número: IM-SBE-16-002

Ubicación de la Muestra: Guarco- Cartago

Fecha Muestreo: 21/01/2016

Punto de muestreo: Estación 0+200 L.I. 0,78 metros en adelante

Hora Muestreo: 8.56 a.m

Responsable del muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez

Fecha Recepción: 21/01/2016

| Ensayo                                | Método AASHTO  | Fecha de Ensayo | Especificación | Resultados |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------|
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL |                |                 |                |            |
| 76,2 mm (3")                          | T-27           | 08-02-16        | -              | 100        |
| 50,2 mm (2")                          |                |                 | -              | 100        |
| 38,1 mm (1 1/2")                      |                |                 | -              | 100        |
| 25,4 mm (1")                          |                |                 | -              | 100        |
| 19,0 mm (3/4")                        |                |                 | -              | 100        |
| 12,5 mm (1/2")                        |                |                 | -              | 100        |
| 9,5 mm (3/8")                         |                |                 | -              | 100        |
| No. 4 (4 75 mm)                       |                |                 | -              | 100        |
| No. 10 (2,00 mm)                      |                |                 | -              | 97         |
| No. 40 (425 µm)                       | T-11           |                 | -              | 93         |
| No. 200 (75 µm)                       |                |                 | -              | 58         |
| CONSTANTES DEL AGREGADO               |                |                 |                |            |
| Límite Líquido, %                     | T 89           | 29-01-16        | -              | 27         |
| Límite Plástico, %                    | T 90           |                 | -              | 15         |
| Índice de Plasticidad, %              | -              |                 | -              | 12         |
| Clasificación AASHTO                  | M-145-91(2000) | 18-02-16        | -              | A-6 (4)    |
| Clasificación SUCS                    | ASTM D-2487    |                 | -              | CL         |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD        |                |                 |                |            |
| Densidad Máxima (kg/m <sup>3</sup> )  | T 99           | 01-02-16        | -              | 1642       |
| Humedad Óptima, %                     | T 99           |                 | -              | 14         |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                  |                |                 |                |            |
| C B R , %                             | al 91%         | 08-02-16        | -              | 1          |
|                                       | al 95%         |                 | -              | -          |
| FRACCIÓN GRUESA                       |                |                 |                |            |
| Índice de Durabilidad, %              | T 210          | -               | -              | -          |
| Abrasión de los Ángeles, %            | T-96           | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras      | ASTM D-5821    | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras      |                | -               | -              | -          |

**COMENTARIOS:**

Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.

El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.

Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez

Ing. Marcia Durán Villalobos  
Jefe, Depto Laboratorio

Ing. Andrés Moya Herrera  
Sub-jefe, Depto Laboratorio

Pag 1 de 1

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

### Informe de Ensayos en Subrasante

#### Información General:

MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales\_Depto. Pavimentos

Informe Número **SR-E-16-006**

Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal- Guatuso

Fecha Impresión 19/02/2016

Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez

Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003

#### Descripción de la muestra:

Fuente de Materiales: No indica

Muestra Número: IM-SBE-16-003

Ubicación de la Muestra: Guarco- Cartago

Fecha Muestreo: 21/01/2016

Punto de muestreo: Estación 0+650 L D\_De 0,00 a 1,71 metros

Hora Muestreo: 11:18 a.m

Responsable del muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez

Fecha Recepción: 21/01/2016

| Ensayo                                | Método AASHTO  | Fecha de Ensayo | Especificación | Resultados |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------|
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL |                |                 |                |            |
| 76,2 mm (3")                          | T-27           | 08-02-16        | -              | 100        |
| 50,2 mm (2")                          |                |                 | -              | 100        |
| 38,1 mm (1 1/2")                      |                |                 | -              | 100        |
| 25,4 mm (1")                          |                |                 | -              | 100        |
| 19,0 mm (3/4")                        |                |                 | -              | 100        |
| 12,5 mm (1/2")                        |                |                 | -              | 100        |
| 9,5 mm (3/8")                         |                |                 | -              | 100        |
| No. 4 (4.75 mm)                       |                |                 | -              | 100        |
| No. 10 (2,00 mm)                      |                |                 | -              | 100        |
| No. 40 (425 µm)                       |                |                 | -              | 98         |
| No. 200 (75 µm)                       | T-11           |                 | -              | 57         |
| CONSTANTES DEL AGREGADO               |                |                 |                |            |
| Límite Líquido, %                     | T 89           | 29-01-16        | -              | 34         |
| Límite Plástico, %                    | T 90           |                 | -              | 14         |
| Índice de Plasticidad, %              | -              |                 | -              | 20         |
| Clasificación AASHTO                  | M-145-91(2000) | 18-02-16        | -              | A-6 (8)    |
| Clasificación SUCS                    | ASTM D-2487    |                 | -              | CL         |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD        |                |                 |                |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)               | T 99           | 04-02-16        | -              | 1553       |
| Humedad Óptima, %                     | T 99           |                 | -              | 15         |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                  |                |                 |                |            |
| C.B.R., %                             | T 193          | 08-02-16        | -              | 1          |
| al 95%                                | T 193          |                 | -              | -          |
| FRACCIÓN GRUESA                       |                |                 |                |            |
| Índice de Durabilidad, %              | T 210          | -               | -              | -          |
| Abrasión de los Ángeles, %            | T-96           | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras      | ASTM D-5821    | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras      |                | -               | -              | -          |

#### COMENTARIOS:

Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.

El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO corresponde al índice de grupo.

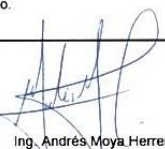
Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez

Ing. Marcia Durán Villalobos  
Jefe, Depto Laboratorio

Ing. Andrés Moya Herrera  
Sub-jefe, Depto Laboratorio

Pag 1 de 1

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <br><small>Ministerio de Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número:</td> <td style="width: 33%;">MG-E-16-008</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión:</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número: | MG-E-16-008   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión: | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003 |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número:                                                                     | MG-E-16-008           |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión:                                                                 | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 33%;">No indica.</td> <td style="width: 33%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 33%;">IM-SBE-16-004</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>No indica.</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>12:36 p m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica.                         | Muestra Número: | IM-SBE-16-004 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:     | 21/01/2016 | Profundidad: | No indica.            | Hora Muestreo: | 12:36 p m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 21/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-004         |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Hora Muestreo:                                                                      | 12:36 p m             |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 01-02-16                                                                            | -                     | 96                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 84                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 80                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 73                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 68                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 58                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 52                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 37                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 23                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 13                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -                                                                                                                                                                                                                                 | 1,6                                                                                 |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 02-02-16                                                                            | -                     | 30                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 20                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 10                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-2-4 (0)                          |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | GW                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 180                                                                                                                                                                                                                             | 03-02-16                                                                            | -                     | 1858                               |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 180                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | 10                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| C B R , %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 193                                                                                                                                                                                                                             | 05-02-16                                                                            | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| al 91%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | T 193                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | 5                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ASTM C 535                                                                                                                                                                                                                        | 02-02-16                                                                            | -                     | 45                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/> <small>(Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/> <small>(Sub-jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>DIRECCIÓN INGENIERÍA</b><br/> <b>MOPT</b><br/> <b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br/> <b>LABORATORIO</b> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

**Informe de Ensayos en Material Granular**

**Información General:**

MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales, Depto. Pavimentos

Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso Informe Número: **MG-E-16-009**  
Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha de Impresión: 19/02/2016  
Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003

**Descripción de la muestra:**

Fuente de Materiales: No indica Muestra Número: IM-SBE-16-005  
Ubicación de la Muestra: Guarco, Cartago Fecha Muestreo: 21/01/2016  
Profundidad: De 0,00 a 0,39 metros Hora Muestreo: 8:30 a.m.  
Responsable del Muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha Recepción: 21/01/2016

| Ensayo                                       | Método AASHTO | Fecha de Ensayo | Especificación | Resultados |
|----------------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|------------|
| <b>GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL</b> |               |                 |                |            |
| 76,2 mm (3")                                 | T 27          | 03-02-16        | -              | 100        |
| 50,2 mm (2")                                 |               |                 | -              | 98         |
| 38,1 mm (1 1/2")                             |               |                 | -              | 95         |
| 25,4 mm (1")                                 |               |                 | -              | 90         |
| 19,0 mm (3/4")                               |               |                 | -              | 82         |
| 12,5 mm (1/2")                               |               |                 | -              | 71         |
| 9,5 mm (3/8")                                |               |                 | -              | 64         |
| No. 4 (4,75 mm)                              |               |                 | -              | 52         |
| No. 10 (2,00 mm)                             |               |                 | -              | 41         |
| No. 40 (425 µm)                              |               |                 | -              | 25         |
| No. 200 (75 µm)                              | T 11          |                 | -              | 13         |

|                                |                |          |   |           |
|--------------------------------|----------------|----------|---|-----------|
| <b>CONSTANTES DEL AGREGADO</b> |                |          |   |           |
| Límite Líquido, %              | T 89           | 26-01-16 | - | N P       |
| Límite Plástico, %             | T 90           |          | - | N P       |
| Índice de Plasticidad, %       | -              |          | - | N P       |
| Clasificación AASHTO           | M-145-91(2000) | 18-02-16 | - | A-1-a (0) |
| Clasificación SUCS             | ASTM D-2487    |          | - | SM        |

|                                       |       |   |   |   |
|---------------------------------------|-------|---|---|---|
| <b>RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD</b> |       |   |   |   |
| Densidad Máxima (kg/m <sup>3</sup> )  | T 180 | - | - | - |
| Humedad Óptima, %                     | T 180 | - | - | - |

|                             |        |       |   |   |
|-----------------------------|--------|-------|---|---|
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE</b> |        |       |   |   |
| C.B.R., %                   | al 91% | T 193 | - | - |
|                             | al 95% | T 193 | - | - |

|                                  |             |   |   |   |
|----------------------------------|-------------|---|---|---|
| <b>FRACCIÓN GRUESA</b>           |             |   |   |   |
| Abrasión, %                      | T 96        | - | - | - |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras | ASTM D-5821 | - | - | - |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras |             |   | - | - |

**COMENTARIOS:**

Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.  
El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.  
Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez

Ing. Marcia Durán Villalobos  
(Jefe Depto Laboratorio)

Ing. Andrés Moya Herrera  
(Sub-jefe Depto Laboratorio)

Pag 1 de 1.

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------|--------------|-----------------------|----------------|----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <br><small>Ministerio de Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Proyecto:</td> <td style="width: 30%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 20%;">Informe Número:</td> <td style="width: 20%;">MG-E-16-010</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión:</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número: | MG-E-16-010   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión: | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003 |                |          |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número:                                                                     | MG-E-16-010           |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión:                                                                 | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 30%;">No indica</td> <td style="width: 20%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 20%;">IM-SBE-16-006</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,00 a 0,13 metros</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>8:56 a.m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> </table>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica                          | Muestra Número: | IM-SBE-16-006 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:     | 21/01/2016 | Profundidad: | De 0,00 a 0,13 metros | Hora Muestreo: | 8:56 a.m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 21/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | No indica                                                                                                                                                                                                                         | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-006         |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | De 0,00 a 0,13 metros                                                                                                                                                                                                             | Hora Muestreo:                                                                      | 8:56 a.m              |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 03-02-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 92                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 91                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 85                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 81                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 67                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 52                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 31                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 17                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 26-01-16                                                                            | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-1-b (0)                          |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SM                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 180                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| al 91%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | T 193                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/> <small>(Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/> <small>(Sub-jefe Depto Laboratorio)</small> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                       |                |          |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                   |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br>Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso Informe Número: <b>MG-E-16-011</b><br>Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha de Impresión: 19/02/2016<br>Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br>Fuente de Materiales: No indica Muestra Número: IM-SBE-16-007<br>Ubicación de la Muestra: Guarco, Cartago Fecha Muestreo: 21/01/2016<br>Profundidad: De 0,13 a 0,57 metros, estación 0+200 LI Hora Muestreo: 8.56 a.m.<br>Responsable del Muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha Recepción: 21/01/2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b> |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 03-02-16                                                                            | -                     | 100               |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100               |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100               |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 99                |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 98                |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 94                |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 92                |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 84                |
| No. 10 (2,00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 76                |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 65                |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 42                |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 28-01-16                                                                            | -                     | 24                |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 16                |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 8                 |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-4 (0)           |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SC                |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 180                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                 |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | al 91%                                                                                                                                                                                                                            | -                                                                                   | -                     | -                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | al 95%                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                     | -                     | -                 |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | -                 |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/>         (Jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/>         (Sub-jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>SELO</b> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |

## Informe de Ensayos en Material Granular

### Información General:

MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales\_ Depto. Pavimentos

Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso Informe Número: **MG-E-16-012**  
Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha de Impresión: 19/02/2016  
Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003

### Descripción de la muestra:

Fuente de Materiales: No indica Muestra Número: IM-SBE-16-008  
Ubicación de la Muestra: Guarco, Cartago Fecha Muestreo: 21/01/2016  
Profundidad: De 0,00 a 0,44 metros, estación 0+400 Hora Muestreo: 10:51 a.m.  
Responsable del Muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha Recepción: 21/01/2016

| Ensayo                                | Método AASHTO  | Fecha de Ensayo | Especificación | Resultados |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------|
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL |                |                 |                |            |
| 76,2 mm (3")                          | T 27           | 28-01-16        | -              | 100        |
| 50.2 mm (2")                          |                |                 | -              | 100        |
| 38,1 mm (1 1/2")                      |                |                 | -              | 96         |
| 25,4 mm (1")                          |                |                 | -              | 82         |
| 19,0 mm (3/4")                        |                |                 | -              | 76         |
| 12,5 mm (1/2")                        |                |                 | -              | 67         |
| 9,5 mm (3/8")                         |                |                 | -              | 63         |
| No. 4 (4.75 mm)                       |                |                 | -              | 51         |
| No. 10 (2,00 mm)                      |                |                 | -              | 40         |
| No. 40 (425 µm)                       |                |                 | -              | 23         |
| No. 200 (75 µm)                       | T 11           |                 | -              | 12         |
| CONSTANTES DEL AGREGADO               |                |                 |                |            |
| Límite Líquido, %                     | T 89           | 26-01-16        | -              | N P        |
| Límite Plástico, %                    | T 90           |                 | -              | N P        |
| Índice de Plasticidad, %              | -              |                 | -              | N P        |
| Clasificación AASHTO                  | M-145-91(2000) | 18-02-16        | -              | A-1-a (0)  |
| Clasificación SUCS                    | ASTM D-2487    |                 | -              | SW-SM      |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD        |                |                 |                |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)               | T 180          | -               | -              | -          |
| Humedad Óptima, %                     | T 180          |                 | -              | -          |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                  |                |                 |                |            |
| C.B.R., %                             | al 91%         | T 193           | -              | -          |
|                                       | al 95%         | T 193           | -              | -          |
| FRACCIÓN GRUESA                       |                |                 |                |            |
| Abrasión, %                           | T 96           | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras      | ASTM D-5821    | -               | -              | -          |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras      |                | -               | -              | -          |

### COMENTARIOS:

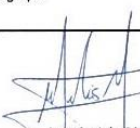
Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.

El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.

Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez

  
Ing. Marcia Durán Villalobos  
(Jefe Depto Laboratorio)

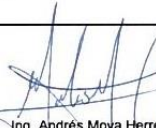


  
Ing. Andrés Moya Herrera  
(Sub-jefe Depto Laboratorio)

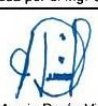
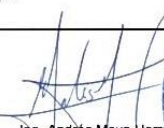


|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------|--------------|-------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número:</td> <td style="width: 15%;">MG-E-16-013</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión:</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número: | MG-E-16-013   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión: | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                     |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número:                                                                     | MG-E-16-013           |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión:                                                                 | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 33%;">No indica</td> <td style="width: 33%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 15%;">IM-SBE-16-009</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,00 a 0,16 metros, estación 0+650 L.D</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>11:18 a.m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> </table>  |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica                          | Muestra Número: | IM-SBE-16-009 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:     | 21/01/2016 | Profundidad: | De 0,00 a 0,16 metros, estación 0+650 L.D | Hora Muestreo: | 11:18 a.m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 21/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | No indica                                                                                                                                                                                                                         | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-009         |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | De 0,00 a 0,16 metros, estación 0+650 L.D                                                                                                                                                                                         | Hora Muestreo:                                                                      | 11:18 a.m             |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 28-01-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 92                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 88                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 82                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 78                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 66                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 52                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 30                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 14                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 26-01-16                                                                            | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-1-b (0)                          |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SM                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| al 91%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/>         (Jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/>         (Sub-jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|------------|--------------|-------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <br><small>Ministerio<br/>Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número</td> <td style="width: 33%;">MG-E-16-014</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número  | MG-E-16-014   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                     |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número                                                                      | MG-E-16-014           |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión                                                                  | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 33%;">No indica.</td> <td style="width: 33%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 33%;">IM-SBE-16-010</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,16 a 0,55 metros, estación 0+650 L.D</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>11:18 a.m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> </table>   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica.                         | Muestra Número: | IM-SBE-16-010 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:    | 21/01/2016 | Profundidad: | De 0,16 a 0,55 metros, estación 0+650 L.D | Hora Muestreo: | 11:18 a.m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 21/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-010         |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | De 0,16 a 0,55 metros, estación 0+650 L.D                                                                                                                                                                                         | Hora Muestreo:                                                                      | 11:18 a.m             |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 29-01-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 98                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 97                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 97                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 96                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 94                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 89                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2,00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 84                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 77                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 68                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 28-01-16                                                                            | -                     | 30                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 20                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 10                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-4 (5)                            |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | CL                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| al 95%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/> <small>(Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/> <small>(Sub-Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|------------|--------------|-------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número</td> <td style="width: 15%;">MG-E-16-015</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número  | MG-E-16-015   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                     |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número                                                                      | MG-E-16-015           |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión                                                                  | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 50%;">No indica</td> <td style="width: 20%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 30%;">IM-SBE-16-011</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,00 a 0,18 metros, estación 0+850 L.I</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>11.49 a.m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>21/01/2016</td> </tr> </table>    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica                          | Muestra Número: | IM-SBE-16-011 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:    | 21/01/2016 | Profundidad: | De 0,00 a 0,18 metros, estación 0+850 L.I | Hora Muestreo: | 11.49 a.m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 21/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | No indica                                                                                                                                                                                                                         | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-011         |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | De 0,00 a 0,18 metros, estación 0+850 L.I                                                                                                                                                                                         | Hora Muestreo:                                                                      | 11.49 a.m             |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 21/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 03-02-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 96                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 89                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 85                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4,75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 73                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2,00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 57                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 33                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 16                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 26-01-16                                                                            | -                     | N.P                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | N.P                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | N.P                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-1-b (0)                          |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SM                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T 180                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 180                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 193                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 193                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 96                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/>         (Jefe Depto. Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/>         (Sub-jefe Depto. Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                   |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales, Depto. Pavimentos<br>Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso Informe Número: <b>MG-E-16-016</b><br>Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha de Impresión: 19/02/2016<br>Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br>Fuente de Materiales: No indica. Muestra Número: IM-SBE-16-012<br>Ubicación de la Muestra: Guarco, Cartago Fecha Muestreo: 21/01/2016<br>Profundidad: De 0,18 a 0,57 metros, estación 0+850 L.I. Hora Muestreo: 11:49 a.m.<br>Responsable del Muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha Recepción: 21/01/2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b> |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 03-02-16                                                                            | -                     | 100               |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100               |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 95                |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 91                |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 89                |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 85                |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 83                |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 75                |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 66                |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 39                |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 28-01-16                                                                            | -                     | 26                |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 17                |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 9                 |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-4 (0)           |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SC                |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                 |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | al 91%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | al 95%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                 |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                 |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/>         (Jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/>         (Sub-jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>SELO</b> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------|--------------|---------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número:</td> <td style="width: 33%;">MG-E-16-017</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión:</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número: | MG-E-16-017   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión: | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                 |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número:                                                                     | MG-E-16-017           |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión:                                                                 | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 33%;">No indica.</td> <td style="width: 33%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 33%;">IM-SBE-16-013</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,00 a 0,28 metros, estación 1+050</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>09:15 a m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> </table>    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica.                         | Muestra Número: | IM-SBE-16-013 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:     | 22/01/2016 | Profundidad: | De 0,00 a 0,28 metros, estación 1+050 | Hora Muestreo: | 09:15 a m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 22/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-013         |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | De 0,00 a 0,28 metros, estación 1+050                                                                                                                                                                                             | Hora Muestreo:                                                                      | 09:15 a m             |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 29-01-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 96                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 93                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 82                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 76                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 63                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 49                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    | -               | 28            |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 17                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Limite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 05-02-16                                                                            | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Limite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | N P                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-1-b (0)                          |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SM                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | al 91%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | al 95%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/>         (Jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/>         (Sub-jefe Depto Laboratorio)       </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------|--------------|---------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <br><small>Ministerio de Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número:</td> <td style="width: 33%;">MG-E-16-018</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión:</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número: | MG-E-16-018   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión: | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                 |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número:                                                                     | MG-E-16-018           |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión:                                                                 | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 50%;">No indica.</td> <td style="width: 25%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 20%;">IM-SBE-16-014</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,28 a 0,61 metros, estación 1+050</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>09:15 a m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> </table>       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica.                         | Muestra Número: | IM-SBE-16-014 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:     | 22/01/2016 | Profundidad: | De 0,28 a 0,61 metros, estación 1+050 | Hora Muestreo: | 09:15 a m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 22/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-014         |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | De 0,28 a 0,61 metros, estación 1+050                                                                                                                                                                                             | Hora Muestreo:                                                                      | 09:15 a m             |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 29-01-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 98                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 92                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 84                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 79                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4 75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 69                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2,00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 59                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 46                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 37                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 05-02-16                                                                            | -                     | 29                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 18                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 11                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-6 (1)                            |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SC                                 |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | al 91%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | al 95%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/> <small>(Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/> <small>(Sub-Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                     |            |              |                                       |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <br><small>Ministerio de Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                   |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br>Proyecto: Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso Informe Número <b>MG-E-16-019</b><br>Solicitado por: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha de Impresión 19/02/2016<br>Oficio: DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br>Fuente de Materiales: No indica Muestra Número: IM-SBE-16-015<br>Ubicación de la Muestra: Guarco, Cartago Fecha Muestreo: 22/01/2016<br>Profundidad: De 0,00 a 0,20 metros, estación 1+200 L.D. Hora Muestreo: 09:56 a.m.<br>Responsable del Muestreo: Ing. Hugo Chaves Gutiérrez Fecha Recepción: 22/01/2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b> |
| GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 03-02-16                                                                            | -                     | 100               |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100               |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 91                |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 81                |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 76                |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 69                |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 66                |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 58                |
| No. 10 (2,00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 49                |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 31                |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 21                |
| CONSTANTES DEL AGREGADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 15-02-16                                                                            | -                     | N P               |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | N P               |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | N P               |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-1-b (0)         |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SM                |
| RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                 |
| CAPACIDAD DE SOPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | al 91%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | al 95%                                                                                                                                                                                                                            | T 193                                                                               | -                     | -                 |
| FRACCIÓN GRUESA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                 |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                 |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Marcia Durán Villalobos</b><br/> <small>(Jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Ing. Andrés Moya Herrera</b><br/> <small>(Sub-jefe Depto Laboratorio)</small> </div> <div style="text-align: center;"> <br/> <b>SUBDIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br/> <b>LABORATORIO</b> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                   |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|------------|--------------|-------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <br><small>Ministerio de Obras Públicas y Transportes</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>DIRECCIÓN DE INGENIERÍA</b><br><b>SUB-DIRECCIÓN DE GEOTECNIA Y MATERIALES</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b><br>Costado Oeste del Liceo de Costa Rica<br>Tél. (506) 2-523-2000 Ext. 2279 Fax. (506) 2-523-2143 Ext. 2493 | <input checked="" type="checkbox"/> Original<br><input type="checkbox"/> Corrección |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Informe de Ensayos en Material Granular</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Información General:</b><br>MOPT, Subdirección de Geotecnia y Materiales_ Depto. Pavimentos<br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Proyecto:</td> <td style="width: 33%;">Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso</td> <td style="width: 33%;">Informe Número</td> <td style="width: 15%;">MG-E-16-020</td> </tr> <tr> <td>Solicitado por:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha de Impresión</td> <td>19/02/2016</td> </tr> <tr> <td>Oficio:</td> <td>DVOP-DI-GM-P-2016-003</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Proyecto:             | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso | Informe Número  | MG-E-16-020   | Solicitado por:          | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha de Impresión | 19/02/2016 | Oficio:      | DVOP-DI-GM-P-2016-003                     |                |           |                           |                            |                  |            |
| Proyecto:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Camino 3-08-041 Guayabal - Guatuso                                                                                                                                                                                                | Informe Número                                                                      | MG-E-16-020           |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Solicitado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha de Impresión                                                                  | 19/02/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Oficio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DVOP-DI-GM-P-2016-003                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Descripción de la muestra:</b><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Fuente de Materiales:</td> <td style="width: 50%;">No indica.</td> <td style="width: 25%;">Muestra Número:</td> <td style="width: 20%;">IM-SBE-16-016</td> </tr> <tr> <td>Ubicación de la Muestra:</td> <td>Guarco, Cartago</td> <td>Fecha Muestreo:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> <tr> <td>Profundidad:</td> <td>De 0,20 a 0,44 metros, estación 1+200 L D</td> <td>Hora Muestreo:</td> <td>09:56 a.m</td> </tr> <tr> <td>Responsable del Muestreo:</td> <td>Ing. Hugo Chaves Gutiérrez</td> <td>Fecha Recepción:</td> <td>22/01/2016</td> </tr> </table> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Fuente de Materiales: | No indica.                         | Muestra Número: | IM-SBE-16-016 | Ubicación de la Muestra: | Guarco, Cartago            | Fecha Muestreo:    | 22/01/2016 | Profundidad: | De 0,20 a 0,44 metros, estación 1+200 L D | Hora Muestreo: | 09:56 a.m | Responsable del Muestreo: | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez | Fecha Recepción: | 22/01/2016 |
| Fuente de Materiales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | No indica.                                                                                                                                                                                                                        | Muestra Número:                                                                     | IM-SBE-16-016         |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Ubicación de la Muestra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Guarco, Cartago                                                                                                                                                                                                                   | Fecha Muestreo:                                                                     | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Profundidad:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | De 0,20 a 0,44 metros, estación 1+200 L D                                                                                                                                                                                         | Hora Muestreo:                                                                      | 09:56 a.m             |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Responsable del Muestreo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ing. Hugo Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                        | Fecha Recepción:                                                                    | 22/01/2016            |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>Ensayo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Método AASHTO</b>                                                                                                                                                                                                              | <b>Fecha de Ensayo</b>                                                              | <b>Especificación</b> | <b>Resultados</b>                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>GRADUACIÓN - PORCENTAJE PASANDO TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 76,2 mm (3")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | T 27                                                                                                                                                                                                                              | 29-01-16                                                                            | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 50,2 mm (2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 38,1 mm (1 1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 100                                |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 25,4 mm (1")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 95                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 19,0 mm (3/4")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 93                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 12,5 mm (1/2")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 87                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| 9,5 mm (3/8")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 84                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 4 (4.75 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 74                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 10 (2.00 mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 61                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 40 (425 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | -                     | 45                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| No. 200 (75 µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | T 11                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 35                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>CONSTANTES DEL AGREGADO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Líquido, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 89                                                                                                                                                                                                                              | 15-02-16                                                                            | -                     | 29                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Límite Plástico, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | T 90                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     | -                     | 20                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Índice de Plasticidad, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     | -                     | 9                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación AASHTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | M-145-91(2000)                                                                                                                                                                                                                    | 18-02-16                                                                            | -                     | A-2-4 (0)                          |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Clasificación SUCS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ASTM D-2487                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     | -                     | SC                                 |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>RELACIONES DE HUMEDAD-DENSIDAD</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Densidad Máxima (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Humedad Óptima, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | T 180                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>CAPACIDAD DE SOPORTE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| C.B.R., %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| al 95%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | T 193                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>FRACCIÓN GRUESA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Abrasión, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | T 96                                                                                                                                                                                                                              | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 1 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ASTM D-5821                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| Caras Fracturadas, 2 o más caras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                                                   | -                     | -                                  |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <b>COMENTARIOS:</b><br>Los resultados deberán compararse con las especificaciones del proyecto.<br>El valor reportado en el paréntesis en la Clasificación AASHTO, corresponde al índice de grupo.<br>Muestra entregada por el Ing. Chaves Gutiérrez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Ing. Marcia Durán Villalobos<br/>(Jefe Depto Laboratorio)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Ing. Andrés Moya Herrera<br/>(Sub-jefe Depto Laboratorio)</p> </div> </div>                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                       |                                    |                 |               |                          |                            |                    |            |              |                                           |                |           |                           |                            |                  |            |

La reproducción parcial o total de este informe no podrá realizarse sin la aprobación escrita del Departamento de Materiales (Laboratorio). Los resultados incluidos en este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada.

## Anexo 3. Diseño de Pavimento Flexible

| <b>Cuadro 135. Factor de distribución por dirección</b> |                                  |                        |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Número de carriles en ambas direcciones                 | Porcentaje EEq por dirección (%) | F <sub>dirección</sub> |
| 2                                                       | 50                               | 0,50                   |
| 4                                                       | 45                               | 0,45                   |
| 6                                                       | 40                               | 0,40                   |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 136. Factor de Distribución por carril</b> |                                        |                     |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| Número de carriles por sentido                       | Porcentaje EEq en carril de diseño (%) | F <sub>carril</sub> |
| 1                                                    | 100                                    | 1,00                |
| 2                                                    | 80-100                                 | 0,90                |
| 3                                                    | 60-80                                  | 0,70                |
| 4                                                    | 50-75                                  | 0,65                |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 137. Chart for estimating structural layer coefficient of dense-graded asphalt concrete based on the elastic (resilient) modulus (AASHTO, 1993)</b> |                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| EAC, (1000psi) of Asphalt Concrete (at 68°F)                                                                                                                  | Structural Layer Coefficient $a_1$ , for Asphalt Concrete Surface Course |
| 105                                                                                                                                                           | 0,200                                                                    |
| 150                                                                                                                                                           | 0,255                                                                    |
| 200                                                                                                                                                           | 0,295                                                                    |
| 250                                                                                                                                                           | 0,330                                                                    |
| 300                                                                                                                                                           | 0,365                                                                    |
| 350                                                                                                                                                           | 0,390                                                                    |
| 400                                                                                                                                                           | 0,420                                                                    |
| 450                                                                                                                                                           | 0,445                                                                    |
| 500                                                                                                                                                           | 0,460                                                                    |

Fuente: Nichols, 2015.

**Cuadro 138. Correlations between structural layer coefficient  $a_2$  and various strength and stiffness parameters for unbound granular bases (AASHTO, 1993)**

| CBR (Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois) | Structural Coefficient, $a_2$ | R-value (Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming) | Structural Coefficient, $a_2$ | Texas Triaxial (Scale derived by averaging correlations obtained from Texas) | Structural Coefficient, $a_2$ | Modulus - 1000 psi (Scale derived on NCHRP project) | Structural Coefficient, $a_2$ |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 100                                                                  | 0,140                         | 85                                                                                                 | 0,140                         | 2,0                                                                          | 0,140                         | 30                                                  | 0,140                         |
| 70                                                                   | 0,130                         | 80                                                                                                 | 0,130                         | 2,5                                                                          | 0,105                         | 25                                                  | 0,120                         |
| 60                                                                   | 0,125                         | 70                                                                                                 | 0,105                         | 3,5                                                                          | 0,080                         | 20                                                  | 0,095                         |
| 50                                                                   | 0,115                         | 60                                                                                                 | 0,085                         | 4,0                                                                          | 0,055                         | 15                                                  | 0,070                         |
| 40                                                                   | 0,105                         | 50                                                                                                 | 0,060                         |                                                                              |                               |                                                     |                               |
| 30                                                                   | 0,095                         |                                                                                                    |                               |                                                                              |                               |                                                     |                               |
| 20                                                                   | 0,070                         |                                                                                                    |                               |                                                                              |                               |                                                     |                               |

*Fuente: Nichols, 2015.*

| <b>Cuadro 139. Correlations between structural layer coefficient a2 and various strength and stiffness parameters for cement-treated granular bases (AASHTO, 1993)</b> |                                        |                                                                |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Unconfined Compressive Strength (psi)<br/>7 day break<br/>(Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas)</b>                          | <b>Structural Coefficient, a sub 2</b> | <b>Modulus - 1000 psi<br/>(Scale derived on NCHRP project)</b> | <b>Structural Coefficient, a sub 2</b> |
| 1000                                                                                                                                                                   | 0,250                                  | 10                                                             | 0,265                                  |
| 800                                                                                                                                                                    | 0,220                                  | 9                                                              | 0,240                                  |
| 600                                                                                                                                                                    | 0,190                                  | 8                                                              | 0,215                                  |
| 400                                                                                                                                                                    | 0,155                                  | 7                                                              | 0,190                                  |
| 200                                                                                                                                                                    | 0,125                                  | 6                                                              | 0,150                                  |
|                                                                                                                                                                        |                                        | 5                                                              | 0,115                                  |

*Fuente: Nichols, 2015.*

| <b>Cuadro 140. Correlations between structural layer coefficient a2 and various strength and stiffness parameters for bituminous-treated granular bases (AASHTO, 1993)</b> |                                        |                                                                |                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Marshall Stability, lb.<br/>(Scale derived by correlation obtained from Illinois)</b>                                                                                   | <b>Structural Coefficient, a sub 2</b> | <b>Modulus - 1000 psi<br/>(Scale derived on NCHRP project)</b> | <b>Structural Coefficient, a sub 2</b> |
| 1900                                                                                                                                                                       | 0,330                                  | 4,0                                                            | 0,335                                  |
| 1800                                                                                                                                                                       | 0,320                                  | 3,0                                                            | 0,275                                  |
| 1700                                                                                                                                                                       | 0,305                                  | 2,5                                                            | 0,250                                  |
| 1600                                                                                                                                                                       | 0,295                                  | 2,0                                                            | 0,220                                  |
| 1500                                                                                                                                                                       | 0,285                                  | 1,5                                                            | 0,190                                  |
| 1400                                                                                                                                                                       | 0,270                                  | 1,0                                                            | 0,125                                  |
| 1300                                                                                                                                                                       | 0,260                                  |                                                                |                                        |
| 1200                                                                                                                                                                       | 0,250                                  |                                                                |                                        |
| 1100                                                                                                                                                                       | 0,240                                  |                                                                |                                        |

|      |       |  |
|------|-------|--|
| 1000 | 0,230 |  |
| 900  | 0,215 |  |
| 800  | 0,205 |  |
| 700  | 0,190 |  |
| 600  | 0,180 |  |
| 500  | 0,170 |  |
| 400  | 0,160 |  |
| 300  | 0,145 |  |
| 200  | 0,125 |  |
| 100  | 0,090 |  |
| 0    | 0,065 |  |

**Fuente:** Nichols, 2015.

| Cuadro 141. Correlations between structural layer coefficient $a_3$ and various strength and stiffness parameters for unbound granular Sub-bases (AASHTO, 1993) |                               |                                                                                                    |                               |                                                                              |                               |                                                     |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| CBR (Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois)                                                                                            | Structural Coefficient, $a_3$ | R-value (Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming) | Structural Coefficient, $a_3$ | Texas Triaxial (Scale derived by averaging correlations obtained from Texas) | Structural Coefficient, $a_3$ | Modulus - 1000 psi (Scale derived on NCHRP project) | Structural Coefficient, $a_3$ |
| 100                                                                                                                                                             | 0,140                         | 90                                                                                                 | 0,140                         | 2,0                                                                          | 0,140                         | 20                                                  | 0,135                         |
| 70                                                                                                                                                              | 0,130                         | 80                                                                                                 | 0,130                         | 3,0                                                                          | 0,120                         | 15                                                  | 0,110                         |
| 50                                                                                                                                                              | 0,125                         | 70                                                                                                 | 0,120                         | 4,0                                                                          | 0,085                         | 14                                                  | 0,105                         |
| 40                                                                                                                                                              | 0,120                         | 60                                                                                                 | 0,105                         | 5,0                                                                          | 0,045                         | 13                                                  | 0,095                         |
| 30                                                                                                                                                              | 0,110                         | 50                                                                                                 | 0,090                         |                                                                              |                               | 12                                                  | 0,090                         |
| 20                                                                                                                                                              | 0,095                         | 40                                                                                                 | 0,070                         |                                                                              |                               | 11                                                  | 0,085                         |
| 10                                                                                                                                                              | 0,080                         | 30                                                                                                 | 0,055                         |                                                                              |                               | 10                                                  | 0,075                         |
| 5                                                                                                                                                               | 0,050                         | 25                                                                                                 | 0,050                         |                                                                              |                               |                                                     |                               |

Fuente: Nichols, 2015.

**Cuadro 142. Correlations between sub-grade resilient modulus and other soil properties (1 psi = 6.9 kPa; from Huang, 1993, after Van Til et al., 1972)**

| S, Soil Support Value | Modulus, MR (1000psi) | R Value (CA) | Modulus, MR (1000psi) | R Value (WA) | Modulus, MR (1000psi) | CBR (%) | Modulus, MR (1000psi) | TX triaxial class | Modulus, MR (1000psi) | Group Index | Modulus, MR (1000psi) |
|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|---------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 10,0                  | 40,00                 | 90           | 47,00                 | 90           | 47,50                 | 100     | 44,00                 | 2,0               | 40,00                 | 0,0         | 10,0                  |
| 9,5                   | 34,00                 | 85           | 40,00                 | 85           | 41,00                 | 95      | 42,50                 | 2,5               | 30,00                 | 2,5         | 8,8                   |
| 9,0                   | 27,00                 | 80           | 34,00                 | 80           | 35,80                 | 90      | 41,00                 | 3,0               | 23,00                 | 5,0         | 7,2                   |
| 8,5                   | 22,00                 | 75           | 28,00                 | 75           | 29,10                 | 85      | 40,00                 | 3,5               | 16,00                 | 7,5         | 6,0                   |
| 8,0                   | 19,00                 | 70           | 27,50                 | 70           | 25,00                 | 80      | 39,00                 | 4,0               | 11,30                 | 10,0        | 5,0                   |
| 7,5                   | 16,00                 | 65           | 20,00                 | 65           | 21,20                 | 75      | 37,00                 | 4,5               | 7,40                  | 12,5        | 4,3                   |
| 7,0                   | 13,50                 | 60           | 17,00                 | 60           | 18,00                 | 70      | 36,00                 | 5,0               | 4,80                  | 15,0        | 3,7                   |
| 6,5                   | 11,30                 | 55           | 14,40                 | 55           | 15,50                 | 65      | 33,80                 | 5,5               | 3,20                  | 17,5        | 3,2                   |
| 6,0                   | 9,40                  | 50           | 12,20                 | 50           | 13,40                 | 60      | 31,20                 | 6,0               | 2,08                  | 20,0        | 2,5                   |
| 5,5                   | 7,90                  | 45           | 10,10                 | 45           | 11,50                 | 55      | 29,20                 |                   |                       |             |                       |
| 5,0                   | 6,40                  | 40           | 8,80                  | 40           | 9,60                  | 50      | 27,90                 |                   |                       |             |                       |
| 4,5                   | 5,20                  | 35           | 7,40                  | 35           | 8,20                  | 45      | 25,40                 |                   |                       |             |                       |
| 4,0                   | 4,40                  | 30           | 6,00                  | 30           | 6,80                  | 40      | 23,90                 |                   |                       |             |                       |
| 3,5                   | 3,70                  | 25           | 5,00                  | 25           | 4,75                  | 35      | 21,50                 |                   |                       |             |                       |
| 3,0                   | 3,00                  | 20           | 4,60                  | 20           | 4,90                  | 30      | 19,80                 |                   |                       |             |                       |
| 2,5                   | 2,70                  | 15           | 3,60                  | 15           | 4,20                  | 25      | 17,00                 |                   |                       |             |                       |
| 2,0                   | 2,08                  | 10           | 3,10                  | 10           | 3,60                  | 20      | 15,00                 |                   |                       |             |                       |
| 1,5                   | 1,70                  | 5            | 2,55                  | 5            | 3,00                  | 15      | 12,00                 |                   |                       |             |                       |
| 1,0                   | 1,46                  | 0            | 2,15                  | 0            | 2,58                  | 10      | 9,60                  |                   |                       |             |                       |
|                       |                       |              |                       |              |                       | 9,5     | 9,20                  |                   |                       |             |                       |
|                       |                       |              |                       |              |                       | 9       | 9,00                  |                   |                       |             |                       |
|                       |                       |              |                       |              |                       | 8,5     | 8,60                  |                   |                       |             |                       |
|                       |                       |              |                       |              |                       | 8       | 8,20                  |                   |                       |             |                       |
|                       |                       |              |                       |              |                       | 7,5     | 7,80                  |                   |                       |             |                       |

|  |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|-----|------|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  | 7   | 7,45 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 6,5 | 7,00 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 6   | 6,60 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 5,5 | 6,20 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 5   | 5,80 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 4,5 | 5,20 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 4   | 4,90 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 3,5 | 4,50 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 3   | 4,10 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 2,5 | 3,50 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 2   | 3,05 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 1,5 | 2,40 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 1   | 1,89 |  |  |  |  |

**Fuente:** Nichols, 2015.

| <b>Cuadro 143. Valores recomendados de coeficiente de drenaje Cmi para las capas de base granular y Sub-base granular en Pavimentos Flexibles</b> |                                                                                                            |                  |                   |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                   | <b>Porcentaje de tiempo que una capa de la estructura de pavimento es expuesta a niveles de saturación</b> |                  |                   |                    |
| <b>Calidad del Drenaje</b>                                                                                                                        | <b>Menor al 1%</b>                                                                                         | <b>Del 1%-5%</b> | <b>Del 5%-25%</b> | <b>Más del 25%</b> |
| Excelente                                                                                                                                         | 1,40-1,35                                                                                                  | 1,35-1,30        | 1,30-1,20         | 1,20               |
| Buena                                                                                                                                             | 1,35-1,25                                                                                                  | 1,25-1,15        | 1,15-1,00         | 1,00               |
| Regular                                                                                                                                           | 1,25-1,15                                                                                                  | 1,15-1,05        | 1,00-0,80         | 0,80               |
| Pobre                                                                                                                                             | 1,15-1,05                                                                                                  | 1,05-0,8         | 0,80-0,60         | 0,60               |
| Muy pobre                                                                                                                                         | 1,05-0,95                                                                                                  | 0,95-0,75        | 0,75-0,40         | 0,40               |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 144. Valores de Índice de Servicialidad (PSI) recomendados</b> |                              |                                             |                                          |                                  |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Tipo de pavimento</b>                                                 | <b>PSI<sub>inicial</sub></b> | <b>PSI<sub>terminal</sub></b>               |                                          |                                  |
|                                                                          |                              | <b>Inter-estatales o autopistas mayores</b> | <b>Arterias principales y colectores</b> | <b>Calles y arterias menores</b> |
| Flexible                                                                 | 4,2                          | 3,0                                         | 2,5                                      | 2,0                              |
| Semi-rígido                                                              | 4,3-4,4                      |                                             |                                          |                                  |
| Rígido                                                                   | 4,5                          |                                             |                                          |                                  |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 145. Niveles de confianza R recomendados</b> |               |              |
|--------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| <b>Clasificación Funcional</b>                         | <b>Urbano</b> | <b>Rural</b> |
| Primaria                                               | 85-99,9       | 80-99,9      |
| Secundaria                                             | 80-99         | 75-95        |
| Terciaria                                              | 80-98         | 75-95        |
| Local                                                  | 50-80         | 50-80        |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 146. Niveles de Confianza e Índices terminales de servicio</b> |                   |                           |                                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| <b>Zona</b>                                                              | <b>TPD</b>        | <b>Nivel de Confianza</b> | <b>Índice de Servicio Terminal PSI</b> |
| Rutas Primarias                                                          | Menos a 500       | 75                        | 2,00                                   |
|                                                                          | Entre 500 y 2 000 | 85                        | 2,50                                   |
|                                                                          | Mayor a 2 000     | 90                        | 2,50                                   |
| Rutas Secundarias                                                        | Menor a 500       | 70                        | 2,00                                   |
|                                                                          | Entre 500 y 2 000 | 80                        | 2,00                                   |
|                                                                          | Mayor a 2 000     | 85                        | 2,50                                   |
| Rutas Terciarias                                                         | Menor a 500       | 70                        | 2,00                                   |
|                                                                          | Entre 500 y 2 000 | 75                        | 2,00                                   |
|                                                                          | Mayor a 2 000     | 80                        | 2,00                                   |

**Fuente:** Directriz DVOP-5170-07 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2007.

| <b>Cuadro 147. Desviación estándar en desempeño (So)</b> |                                            |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Tipo de pavimento</b>                                 | <b>Desviación Estándar (S<sub>0</sub>)</b> |
| Flexible                                                 | 0,45                                       |
| Rígido                                                   | 0,35                                       |

**Fuente:** AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 148. Valores del estadístico Z<sub>r</sub> en función del Nivel de Confianza R</b> |                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Confiabilidad R (%)</b>                                                                   | <b>Desviación normal estándar Z<sub>r</sub></b> |
| 50                                                                                           | 0,000                                           |
| 60                                                                                           | -0,253                                          |
| 70                                                                                           | -0,524                                          |
| 75                                                                                           | -0,674                                          |
| 80                                                                                           | -0,841                                          |
| 85                                                                                           | -1,037                                          |
| 90                                                                                           | -1,282                                          |
| 91                                                                                           | -1,340                                          |

|       |        |
|-------|--------|
| 92    | -1,405 |
| 93    | -1,476 |
| 94    | -1,555 |
| 95    | -1,645 |
| 96    | -1,751 |
| 97    | -1,881 |
| 98    | -2,054 |
| 99    | -2,327 |
| 99,9  | -3,000 |
| 99,99 | -3,750 |

**Fuente:** AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 149. Espesores mínimos sugeridos</b> |                       |                    |
|------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Cantidad de EEq                                | Capas asfálticas (cm) | Base granular (cm) |
| Menos de 50 000                                | 3,0                   | 10                 |
| 50 000-150 000                                 | 5,0                   | 10                 |
| 150 000-500 000                                | 6,5                   | 10                 |
| 500 000-2 000 000                              | 7,5                   | 15                 |
| 2 000 000-7 000 000                            | 9,0                   | 15                 |
| Más de 7 000 000                               | 10,0                  | 15                 |

**Fuente:** AASHTO, 1993.

| Cuadro 150. Características de los suelos según su clasificación                |                                 |               |                   |         |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------|---------|------------------|
| AASHTO Class                                                                    | Description                     | Unified Class | Dry Density (pcf) | CBR (%) | k-value (psi/in) |
| Coarse-grained soils:                                                           |                                 |               |                   |         |                  |
| A-1-a, well graded                                                              | Gravel                          | GW, GP        | 125-140           | 60-80   | 300-450          |
| A-1-a, poorly graded                                                            |                                 |               | 120-130           | 35-60   | 300-400          |
| A-1-b                                                                           | Coarse Sand                     | SW            | 110-130           | 20-40   | 200-400          |
| A-3                                                                             | Fine Sand                       | SP            | 105-120           | 15-25   | 150-300          |
| A-2 soils (granular materials with high fines):                                 |                                 |               |                   |         |                  |
| A-2-4, gravelly                                                                 | Silty gravel                    | GM            | 130-145           | 40-80   | 300-500          |
| A-2-5, gravelly                                                                 | Silty sandy gravel              |               |                   |         |                  |
| A-2-4, sandy                                                                    | Silty sand                      | SM            | 120-135           | 20-40   | 300-400          |
| A-2-5, sandy                                                                    | Silty gravelly sand             |               |                   |         |                  |
| A-2-6, gravelly                                                                 | Clayey gravel                   | GC            | 120-140           | 20-40   | 200-450          |
| A-2-7, gravelly                                                                 | Clayey sandy gravel             |               |                   |         |                  |
| A-2-6, sandy                                                                    | Clayey sand                     | SC            | 105-130           | 10-20   | 150-350          |
| A-2-7, sandy                                                                    | Clayey gravelly sand            |               |                   |         |                  |
| Fine-grained soils:                                                             |                                 |               |                   |         |                  |
| A-4                                                                             | Silt                            | ML,OL         | 90-105            | 4-8     | 25-165*          |
|                                                                                 | Silt/sand/gravel mixture        |               | 100-125           | 5-15    | 40-220*          |
| A-5                                                                             | Poorly graded silt              | MH            | 80-100            | 4-8     | 25-190*          |
| A-6                                                                             | plastic clay                    | CL            | 100-125           | 5-15    | 25-225*          |
| A-7-5                                                                           | Moderately plastic elastic clay | CL, OL        | 90-125            | 4-15    | 25-215*          |
| A-7-6                                                                           | Highly plastic elastic clay     | CH, OH        | 80-110            | 3-5     | 40 to 220*       |
| Note: *k-value of fine-grained soil is highly dependent on degree of saturation |                                 |               |                   |         |                  |

Fuente: AASHTO, 1998.

## Anexo 4. Diseño de Pavimento Rígido

| <b>Cuadro 151. Rangos típicos de factores de pérdida de soporte (LS) para varios tipos de materiales</b> |                                    |                                |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Tipo de material</b>                                                                                  | <b>Módulo de Elasticidad (psi)</b> | <b>Pérdida de Soporte (LS)</b> | <b>Pérdida de Soporte (LS)</b> |
| Base estabilizada con cemento                                                                            | 1 000 000 a 2 000 000              | 0,0 a 1,0                      | 1                              |
| Agregado mezclado con cemento                                                                            | 500 000 a 1 000 000                | 0,0 a 1,0                      | 1                              |
| Base estabilizada con asfalto                                                                            | 3 500 000 a 2 000 000              | 0,0 a 1,0                      | 1                              |
| Estabilizada con cal                                                                                     | 20 000 a 70 000                    | 1,0 a 3,0                      | 2                              |
| Material granular                                                                                        | 15 000 a 45 000                    | 1,0 a 3,0                      | 2                              |
| Suelo fino o material de sub-rasante                                                                     | 30 00 a 40 000                     | 2,0 a 3,0                      | 3                              |

Fuente: SIECA 2002.

| <b>Cuadro 152. Correction of effective modulus of sub-grade reaction for potential loss of Sub-base support (AASHTO, 1993)</b>                                                                                                    |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LS = 0</b>                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                   | <b>LS = 1.0</b>                                         |                                                                                                   | <b>LS = 2.0</b>                                         |                                                                                                   | <b>LS = 3.0</b>                                         |                                                                                                   |
| <b>Little or No Erosion</b>                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   | <b>Most Erosion</b>                                     |                                                                                                   |
| <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci)</b>                                                                                                                                                                           | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci) - Corrected for Potential Loss of Support</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci)</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci) - Corrected for Potential Loss of Support</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci)</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci) - Corrected for Potential Loss of Support</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci)</b> | <b>Effective Modulus of Sub-grade Reaction, k (pci) - Corrected for Potential Loss of Support</b> |
| NOTE: Corrected $k_{eff}$ values are approximate and estimated based on the original figure included in the FHWA 05-037, May 2006, NHI Course No. 132040, Geotechnical Aspects of Pavements Reference Manual/Participant Workbook |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |                                                         |                                                                                                   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                 | 1,0                                                                                               | 1,3                                                     | 1,0                                                                                               | 1,45                                                    | 1,0                                                                                               | 2                                                       | ---                                                                                               |
| 2                                                                                                                                                                                                                                 | 2,0                                                                                               | 2                                                       | 1,5                                                                                               | 2                                                       | 1,4                                                                                               | 2,2                                                     | 1                                                                                                 |
| 3                                                                                                                                                                                                                                 | 3,0                                                                                               | 3                                                       | 2,2                                                                                               | 3                                                       | 1,7                                                                                               | 3                                                       | 1,2                                                                                               |
| 4                                                                                                                                                                                                                                 | 4,0                                                                                               | 4                                                       | 2,8                                                                                               | 4                                                       | 2,0                                                                                               | 4                                                       | 1,5                                                                                               |
| 5                                                                                                                                                                                                                                 | 5,0                                                                                               | 5                                                       | 3,3                                                                                               | 5                                                       | 2,3                                                                                               | 5                                                       | 1,7                                                                                               |

|      |       |      |       |      |       |      |      |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| 6    | 6,0   | 6    | 3,9   | 6    | 2,7   | 6    | 1,8  |
| 7    | 7,0   | 7    | 4,4   | 7    | 2,9   | 7    | 1,9  |
| 8    | 8,0   | 8    | 4,8   | 8    | 3,2   | 8    | 2    |
| 9    | 9,0   | 9    | 5,3   | 9    | 3,4   | 9    | 2,2  |
| 10   | 10,0  | 10   | 5,9   | 10   | 3,6   | 10   | 2,4  |
| 20   | 20,0  | 20   | 10,5  | 20   | 5,7   | 20   | 3,4  |
| 30   | 31,5  | 30   | 15,5  | 30   | 7,2   | 30   | 4,1  |
| 40   | 41,5  | 40   | 19    | 40   | 8,8   | 40   | 4,8  |
| 50   | 52    | 50   | 22,5  | 50   | 10    | 50   | 5,3  |
| 60   | 62,0  | 60   | 26,0  | 60   | 11,5  | 60   | 6,0  |
| 70   | 72,0  | 70   | 29,5  | 70   | 13,5  | 70   | 6,5  |
| 80   | 83,0  | 80   | 33,0  | 80   | 14,5  | 80   | 6,9  |
| 90   | 94,0  | 90   | 36,0  | 90   | 15,7  | 90   | 7,3  |
| 100  | 105,5 | 100  | 40,0  | 100  | 16,7  | 100  | 7,7  |
| 200  | 208,5 | 200  | 69,0  | 200  | 25,0  | 200  | 11,5 |
| 300  | 314,0 | 300  | 100,0 | 300  | 32,0  | 300  | 14,5 |
| 400  | 417,0 | 400  | 134,0 | 400  | 38,5  | 400  | 17,5 |
| 500  | 529,0 | 500  | 161,0 | 500  | 44,5  | 500  | 19,0 |
| 600  | 639,0 | 600  | 181,0 | 600  | 49,0  | 600  | 21,0 |
| 700  | 743,0 | 700  | 200,0 | 700  | 55,0  | 700  | 22,5 |
| 800  | 862,0 | 800  | 229,0 | 800  | 60,0  | 800  | 24,0 |
| 900  | 980,0 | 900  | 254,0 | 900  | 64,5  | 900  | 25,5 |
| 1000 |       | 1000 | 269,0 | 1000 | 67,0  | 1000 | 27,0 |
| 2000 |       | 2000 | 485,0 | 2000 | 109,0 | 2000 | 39,0 |

Fuente: Nichols, 2015.

| <b>Cuadro 153. Valores Promedio del Coeficiente de Drenaje<br/>C<sub>D</sub> para Pavimentos Rígidos</b> |                                                                                                                |                       |                        |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
|                                                                                                          | <b>Porcentaje de tiempo que una capa de la estructura<br/>de pavimento es expuesta a niveles de saturación</b> |                       |                        |                    |
| <b>Calidad del<br/>Drenaje</b>                                                                           | <b>Menor al 1%</b>                                                                                             | <b>Del 1%-<br/>5%</b> | <b>Del 5%-<br/>25%</b> | <b>Más del 25%</b> |
| Excelente                                                                                                | 1,23                                                                                                           | 1,18                  | 1,13                   | 1,10               |
| Buena                                                                                                    | 1,18                                                                                                           | 1,13                  | 1,05                   | 1,00               |
| Aceptable                                                                                                | 1,13                                                                                                           | 1,05                  | 0,95                   | 0,90               |
| Pobre                                                                                                    | 1,05                                                                                                           | 0,95                  | 0,85                   | 0,80               |
| Muy pobre                                                                                                | 0,95                                                                                                           | 0,85                  | 0,75                   | 0,70               |

Fuente: AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 154. Valores de coeficiente de transmisión de carga J</b> |                           |         |                            |         |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|----------------------------|---------|
| <b>Espaldón</b>                                                     | <b>Concreto Asfáltico</b> |         | <b>Concreto Hidráulico</b> |         |
| <b>Existe dispositivo de transferencia de carga</b>                 | Sí                        | No      | Sí                         | No      |
| <b>Tipo de Pavimento</b>                                            |                           |         |                            |         |
| No reforzado (JPCP) o reforzado con juntas (JRCP)                   | 3,2                       | 3,8-4,4 | 2,5-3,1                    | 3,6-4,2 |
| Reforzado continuo (CRCP)                                           | 2,9-3,2                   | -       | 2,3-2,9                    | -       |

**Fuente:** AASHTO, 1993.

| <b>Cuadro 155. Recomendaciones de Diámetro y Largo de Dovela</b> |                                |                                |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Espesor de la losa de concreto (in)</b>                       | <b>Diámetro de dovela (in)</b> | <b>Longitud de dovela (in)</b> |
| 5                                                                | 5/8                            | 12                             |
| 6                                                                | 3/4                            | 14                             |
| 7                                                                | 7/8                            | 14                             |
| 8                                                                | 1                              | 14                             |
| 9                                                                | 1 1/8                          | 16                             |
| 10                                                               | 1 1/4                          | 18                             |
| 11                                                               | 1 3/8                          | 18                             |
| 12                                                               | 1 1/2                          | 20                             |

**Fuente:** PCA, 1975.

| <b>Cuadro 156. Factores de Fricción Fa recomendados</b> |                              |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Tipo de Material Inferior a Losa de Concreto</b>     | <b>Factor de Fricción Fa</b> |
| Tratamiento superficial                                 | 2,2                          |
| Estabilización con cal                                  | 1,8                          |
| Estabilización con asfalto                              | 1,8                          |
| Estabilización con cemento                              | 1,8                          |
| Grava de río                                            | 1,5                          |
| Grava triturada                                         | 1,5                          |
| Arena                                                   | 1,2                          |
| Suelo natural                                           | 0,9                          |

**Fuente:** AASHTO, 1993

| <b>Cuadro 157. Esfuerzo de Fluencia y Esfuerzo Permisible <math>f_s</math></b> |                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Grado del Acero</b>                                                         | <b>Esfuerzo permisible <math>f_s</math> (psi)</b> |
| 40                                                                             | 27 000                                            |
| 50                                                                             | 33 000                                            |
| 60                                                                             | 40 000                                            |
| 65                                                                             | 43 000                                            |
| 70                                                                             | 46 000                                            |

*Fuente: Huang, 2004*

| <b>Cuadro 158. Propiedades Estándar de las Varillas Acero de Refuerzo</b> |                     |                      |                                                        |                       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Calibre de Varilla</b>                                                 | <b>Peso (lb/ft)</b> | <b>Diámetro (in)</b> | <b>Área de la sección Transversal (in<sup>2</sup>)</b> | <b>Perímetro (in)</b> |
| Varilla #3                                                                | 0,376               | 0,375                | 0,11                                                   | 1,178                 |
| Varilla #4                                                                | 0,668               | 0,5                  | 0,20                                                   | 1,571                 |
| Varilla #5                                                                | 1,043               | 0,625                | 0,31                                                   | 1,963                 |
| Varilla #6                                                                | 1,502               | 0,75                 | 0,44                                                   | 2,356                 |
| Varilla #7                                                                | 2,044               | 0,875                | 0,6                                                    | 2,749                 |
| Varilla #8                                                                | 2,670               | 1                    | 0,79                                                   | 3,142                 |

*Fuente: Huang, 2004*

## Anexo 5. Estabilización con cal

| Cuadro 159. Propiedades del suelo en estudio sin cal |                 |                            |                                       |
|------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Clasificación                                        | SUCS ASTM 2487  | CL                         | Arcilla de baja a mediana plasticidad |
|                                                      | AASHTO M 145    | A-6(4)                     | Suelo Arcilloso                       |
| Próctor                                              | AASHTO T-99     | PSV=1540 kg/m <sup>3</sup> | %Wopt=23.8%                           |
| CBR                                                  | AASHTO T 193-99 | 3%                         |                                       |
| Compresión Simple                                    | ASTM D 2166     | 3 días                     | Esfuerzo= 9 kg/cm <sup>2</sup>        |
|                                                      |                 | 7 días                     | Esfuerzo= 9 kg/cm <sup>2</sup>        |
|                                                      |                 | 28 días                    | Esfuerzo= 9 kg/cm <sup>2</sup>        |
|                                                      |                 | 90 días                    | Esfuerzo= 9 kg/cm <sup>2</sup>        |
| Límite Líquido LL                                    | AASHTO T 89     | 36%                        |                                       |
| Límite Plástico LP                                   | AASHTO T 90     | 24%                        |                                       |
| Índice Plástico IP                                   | -               | 12%                        |                                       |

Fuente: Orellana & Huez, 2009

| Cuadro 160. Propiedades del suelo en estabilizado con un 4% de cal |                 |                            |                                 |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Clasificación                                                      | SUCS ASTM 2487  | ML                         | Limo ligeramente plástico       |
|                                                                    | AASHTO M 145    | A-4                        | Suelo Limoso                    |
| Próctor                                                            | AASHTO T-99     | PSV=1550 kg/m <sup>3</sup> | %Wopt=25%                       |
| CBR                                                                | AASHTO T 193-99 | 14% (4 días)               |                                 |
| Compresión Simple                                                  | ASTM D 2166     | 3 días                     | Esfuerzo= 6 kg/cm <sup>2</sup>  |
|                                                                    |                 | 7 días                     | Esfuerzo= 9 kg/cm <sup>2</sup>  |
|                                                                    |                 | 28 días                    | Esfuerzo= 12 kg/cm <sup>2</sup> |
|                                                                    |                 | 90 días                    | Esfuerzo= 17 kg/cm <sup>2</sup> |
| Límite Líquido LL                                                  | AASHTO T 89     | N.P.                       |                                 |
| Límite Plástico LP                                                 | AASHTO T 90     | N.P.                       |                                 |
| Índice Plástico IP                                                 | -               | N.P.                       |                                 |

Fuente: Orellana & Huez, 2009

## Anexo 6. Conservación Vial

| Cuadro 161. Técnicas de Conservación del Derecho de Vía |                                                             |                      |           |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|
| Código                                                  | Técnica de Conservación                                     | Tipo de Conservación |           |
| CV-101                                                  | Limpieza de la zona del derecho de vía                      | Rutinaria            |           |
| CV-102                                                  | Manejo de la vegetación menor en la zona del derecho de vía | Rutinaria            |           |
| CV-103                                                  | Manejo de la vegetación mayor en la zona del derecho de vía | Rutinaria            |           |
| CV-104                                                  | Remoción manual de material suelto en taludes               | Rutinaria            |           |
| CV-105                                                  | Perfilado manual de taludes                                 |                      | Periódica |
| CV-106                                                  | Estabilización de taludes                                   |                      | Periódica |
| CV-107                                                  | Protección de taludes contra la erosión y sedimentación     |                      | Periódica |
| CV-108                                                  | Remoción de derrumbes                                       | Rutinaria            |           |

Fuente: MOPT, 2015.

| Cuadro 162. Técnicas de Conservación de Estructuras Menores |                                                                                  |                      |           |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|
| Código                                                      | Técnica de Conservación                                                          | Tipo de Conservación |           |
| CV-201                                                      | Limpieza de canales, cunetas y contra cunetas                                    | Rutinaria            |           |
| CV-202                                                      | Reconformación de cunetas y contra cunetas no revestidas                         | Rutinaria            |           |
| CV-203                                                      | Reparación menor de canales, cunetas y contra cunetas revestidas                 | Rutinaria            |           |
| CV-204                                                      | Reparación de espaldones en material granular                                    | Rutinaria            |           |
| CV-205                                                      | Reparación de espaldones asfaltados                                              | Rutinaria            |           |
| CV-206                                                      | Limpieza del sistema de alcantarillas                                            | Rutinaria            |           |
| CV-207                                                      | Reparación menor del sistema de alcantarillas de concreto                        | Rutinaria            |           |
| CV-208                                                      | Reparación menor del sistema de alcantarillas metálicas                          | Rutinaria            |           |
| CV-209                                                      | Limpieza de otras estructuras de drenaje superficial                             | Rutinaria            |           |
| CV-210                                                      | Reparación menor de otras estructuras de drenaje superficial                     | Rutinaria            |           |
| CV-211                                                      | Revestimiento y reparación mayor de canales, cunetas y contra cunetas revestidas |                      | Periódica |
| CV-212                                                      | Reparación mayor del sistema de alcantarillas de concreto                        |                      | Periódica |
| CV-213                                                      | Reparación mayor del sistema de alcantarillas metálicas                          |                      | Periódica |
| CV-214                                                      | Reparación mayor de otras estructuras de drenaje superficial                     |                      | Periódica |
| CV-215                                                      | Sustitución o instalación de sub-drenajes                                        |                      | Periódica |

Fuente: MOPT, 2015.

| <b>Cuadro 163. Técnicas de Conservación de Pavimentos Flexibles</b> |                                                                    |                             |           |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Código</b>                                                       | <b>Técnica de Conservación</b>                                     | <b>Tipo de Conservación</b> |           |
| CV-301                                                              | Sellado de fisuras y grietas                                       | Rutinaria                   |           |
| CV-302                                                              | Bacheo                                                             | Rutinaria                   |           |
| CV-303                                                              | Sellos y tratamientos superficiales asfálticos                     |                             | Periódica |
| CV-304                                                              | Sustitución de capa asfáltica o colocación de sobre capa asfáltica |                             | Periódica |

*Fuente: MOPT, 2015.*

| <b>Cuadro 164. Técnicas de Conservación de Pavimentos Rígidos</b> |                                            |                             |           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Código</b>                                                     | <b>Técnica de Conservación</b>             | <b>Tipo de Conservación</b> |           |
| CV-401                                                            | Sellado de juntas y grietas                | Rutinaria                   |           |
| CV-402                                                            | Reparación de losas en espesores parciales | Rutinaria                   |           |
| CV-403                                                            | Reparación de losas en todo el espesor     |                             | Periódica |
| CV-404                                                            | Recalce localizado de losas                |                             | Periódica |
| CV-405                                                            | Reemplazo de dovelas                       |                             | Periódica |

*Fuente: MOPT, 2015.*

| <b>Cuadro 165. Técnicas de Conservación de Vías Lastradas</b> |                                                                 |                             |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Código</b>                                                 | <b>Técnica de Conservación</b>                                  | <b>Tipo de Conservación</b> |           |
| CV-501                                                        | Bacheo manual en rutas de lastre                                | Rutinaria                   |           |
| CV-502                                                        | Reconformación de una ruta en lastre (bacheo mecanizado)        |                             | Periódica |
| CV-503                                                        | Reposición de lastre o colocación de sobre capa de lastre       |                             | Periódica |
| CV-504                                                        | Reparación de sitios inestables en una ruta de lastre           |                             | Periódica |
| CV-505                                                        | Mejoramiento de una superficie de ruedo en lastre               |                             | Periódica |
| CV-506                                                        | Protección de una superficie de ruedo en lastre                 |                             | Periódica |
| CV-507                                                        | Control de polvo mediante riego de agua y otros estabilizadores | Rutinaria                   |           |

*Fuente: MOPT, 2015.*

| <b>Cuadro 166. Técnicas de Conservación de Estructuras Mayores</b> |                                                                                                 |                             |           |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Código</b>                                                      | <b>Técnica de Conservación</b>                                                                  | <b>Tipo de Conservación</b> |           |
| CV-601                                                             | Limpieza manual de puentes                                                                      | Rutinaria                   |           |
| CV-602                                                             | Limpieza de cauces en puentes                                                                   | Rutinaria                   |           |
| CV-603                                                             | Reparación parcial o reposición total de barandas de puentes                                    | Rutinaria                   |           |
| CV-604                                                             | Reemplazo y complementación de dispositivos de drenaje del puente                               | Rutinaria                   |           |
| CV-605                                                             | Limpieza de superficie de puentes de concreto o acero con agua a presión                        |                             | Periódica |
| CV-606                                                             | Limpieza y sellado de grietas en elemento de concreto en puentes                                |                             | Periódica |
| CV-607                                                             | Reparación superficial de elementos de concreto en puentes                                      | Rutinaria                   |           |
| CV-608                                                             | Reparación de concreto con corrosión en el acero de refuerzo de puentes                         |                             | Periódica |
| CV-609                                                             | Reemplazo de juntas de expansión de puentes                                                     |                             | Periódica |
| CV-610                                                             | Mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo de puentes                                   |                             | Periódica |
| CV-611                                                             | Reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes                          |                             | Periódica |
| CV-612                                                             | Reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico en puentes                           |                             | Periódica |
| CV-613                                                             | Preparación y protección de superficies de puentes                                              |                             | Periódica |
| CV-614                                                             | Retiro y reposición de pernos de alta resistencia en puentes                                    |                             | Periódica |
| CV-615                                                             | Reparación de puentes de acero mediante reposición y adición de elementos de acero.             |                             | Periódica |
| CV-616                                                             | Restitución del contacto suelo-cimentación en puentes                                           |                             | Periódica |
| CV-617                                                             | Protección de riberas                                                                           |                             | Periódica |
| CV-618                                                             | Reparación de puentes de madera mediante reposición y adición de elementos de madera y herrajes |                             | Periódica |
| CV-619                                                             | Reparación de muros de contención y de refuerzo                                                 |                             | Periódica |

**Fuente:** MOPT, 2015.

| <b>Cuadro 167. Técnicas de Conservación de Componentes de Seguridad Vial</b> |                                                                     |                             |           |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Código</b>                                                                | <b>Técnica de Conservación</b>                                      | <b>Tipo de Conservación</b> |           |
| CV-701                                                                       | Conservación de señales verticales y elevadas                       | Rutinaria                   |           |
| CV-702                                                                       | Conservación de sistemas de contención vehicular                    | Rutinaria                   |           |
| CV-703                                                                       | Mantenimiento de la demarcación vial horizontal                     |                             | Periódica |
| CV-704                                                                       | Reemplazo o instalación de delineadores                             |                             | Periódica |
| CV-705                                                                       | Reparación, instalación o demolición de reductores de velocidad     |                             | Periódica |
| CV-706                                                                       | Reparación y construcción de aceras de concreto                     |                             | Periódica |
| CV-707                                                                       | Conservación de pasarelas peatonales en puentes                     | Rutinaria                   |           |
| CV-708                                                                       | Diseño y construcción de pasarelas peatonales en puentes existentes |                             | Periódica |

**Fuente:** MOPT, 2015.

## Anexo 7. Condición actual de El Guarco



Figura 92. Distritos del cantón de El Guarco.  
Fuente: Rodríguez, 2014.

| Cuadro 168. Extensión en km de los Distritos de El Guarco |               |                              |
|-----------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|
| Distrito                                                  |               | Extensión (km <sup>2</sup> ) |
| 01                                                        | El Tejar      | 6,06                         |
| 02                                                        | San Isidro    | 129,68                       |
| 03                                                        | Tobosí        | 21,12                        |
| 04                                                        | Patio de Agua | 10,93                        |
| Total                                                     |               | 167,69                       |

Fuente: UTGVM, 2016.

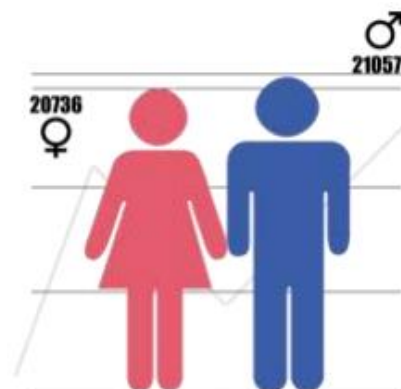


Figura 93. Población por sexo.  
Fuente: UTGVM, 2016.

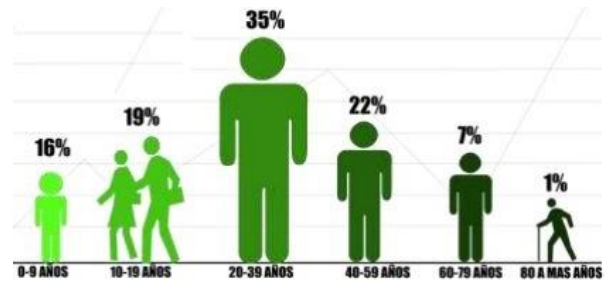


Figura 94. Porcentaje de población por grupos de edad.  
Fuente: UTGVM, 2016.

| Cuadro 169. Población por distrito (cantidad de habitantes) |        |       |
|-------------------------------------------------------------|--------|-------|
|                                                             | Urbano | Rural |
| El Guarco                                                   | 36 636 | 5 157 |
| El Tejar                                                    | 24 723 | 231   |
| San Isidro                                                  | 5 648  | 4 180 |
| Tobosí                                                      | 6 235  | 334   |
| Patio de Agua                                               | 0      | 412   |

Fuente: UTGVM, 2016.

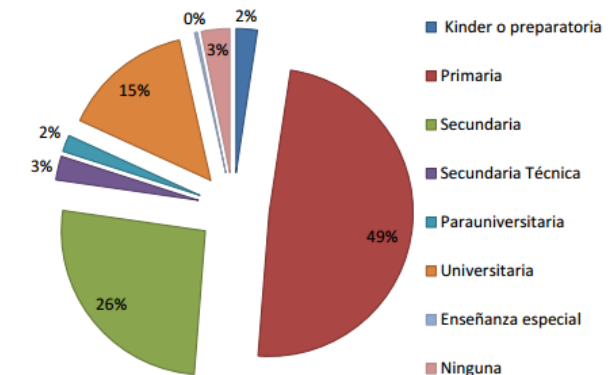


Figura 95. Nivel de Instrucción del Cantón de El Guarco.  
Fuente: UTGVM, 2016.

| <b>Cuadro 170. Población económicamente activa</b> |              |                |                   |                |                           |
|----------------------------------------------------|--------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------------|
| <b>Cantón/Distrito</b>                             | <b>Total</b> | <b>Ocupada</b> | <b>Desocupada</b> |                |                           |
|                                                    |              |                | <b>Total</b>      | <b>Cesante</b> | <b>Busca por 1era vez</b> |
| El Guarco                                          | 17 252       | 16 675         | 577               | 502            | 75                        |
| El Tejar                                           | 10 776       | 10 432         | 344               | 289            | 55                        |
| San Isidro                                         | 3 798        | 3 657          | 141               | 128            | 55                        |
| Tobosi                                             | 2 504        | 2 427          | 77                | 70             | 7                         |
| Patio de Agua                                      | 174          | 159            | 15                | 15             | 0                         |

Fuente: UTGVM, 2016.

| <b>Cuadro 171. Población económicamente inactiva</b> |              |                            |                   |                             |             |
|------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------|
| <b>Canton/Distrito</b>                               | <b>Total</b> | <b>Pensionado Rentista</b> | <b>Estudiante</b> | <b>Quehaceres del hogar</b> | <b>Otra</b> |
| El Guarco                                            | 14 040       | 1 415                      | 3 783             | 6 805                       | 2 037       |
| El Tejar                                             | 8 200        | 933                        | 2 356             | 3 763                       | 1 148       |
| San Isidro                                           | 3 424        | 313                        | 799               | 1 783                       | 529         |
| Tobosi                                               | 2 276        | 167                        | 576               | 1 189                       | 344         |
| Patio de Agua                                        | 140          | 2                          | 52                | 70                          | 16          |

Fuente: UTGVM, 2016.

| <b>Cuadro 172. Empresas y comercio de El Guarco</b> |                             |                  |                              |                                            |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Sector</b>                                       | <b>Tamaño de la empresa</b> | <b>Absolutos</b> | <b>% Por sector y tamaño</b> | <b>% entre el Total todos los sectores</b> |
| Industria                                           | Micro                       | 16               | 47,06%                       | 10,74%                                     |
|                                                     | Pequeña                     | 14               | 41,18%                       | 9,40%                                      |
|                                                     | Mediana                     | 2                | 5,88%                        | 1,34%                                      |
|                                                     | Grande                      | 2                | 5,88%                        | 1,34%                                      |
|                                                     | Total Industria             | 34               | 100,00%                      |                                            |
| Comercio                                            | Micro                       | 21               | 61,76%                       | 14,09%                                     |
|                                                     | Pequeña                     | 11               | 32,35%                       | 7,38%                                      |
|                                                     | Mediana                     | 2                | 5,88%                        | 1,34%                                      |
|                                                     | Grande                      | 0                | 0,00%                        | 0,00%                                      |
|                                                     | Total Comercio              | 34               | 100,00%                      |                                            |
| Servicios                                           | Micro                       | 60               | 74,07%                       | 40,27%                                     |
|                                                     | Pequeña                     | 17               | 20,99%                       | 11,41%                                     |
|                                                     | Mediana                     | 3                | 3,70%                        | 2,01%                                      |
|                                                     | Grande                      | 1                | 1,23%                        | 0,67%                                      |
|                                                     | Total Servicios             | 81               | 100,00%                      |                                            |
| Total                                               |                             | 149              |                              | 100,00%                                    |

Fuente: UTGVM, 2016.

De acuerdo con UTGVM (2016), la composición de la población ocupada según el sector de la economía, para los distritos de San Isidro presenta características urbanas y rurales; Tobosi y Patio de Agua se dedica a la agricultura y ganadería principalmente, mientras que Tejar a los servicios

En el cantón de El Guarco se concentran importantes actividades agrícolas intensivas de alta rentabilidad y dirigidas a la exportación, que son principalmente la floricultura y el cultivo de helechos. Estos cultivos se concentran entre el cruce del Quijongo y el núcleo de Tobosi a lo largo de la vía 228 y las inmediaciones de Barrancas. (UTGVM, 2016)

Como menciona UTGVM (2016), a pesar de que se puedan dar desplazamientos de mano de obra hacia otros lugares fuera del cantón, la actividad agropecuaria muestra una relación más estrecha entre el lugar de residencia del trabajador al lugar de trabajo.

El uso de suelo del cantón esta mayormente conformado por actividades agrícolas y zonas de conservación. Las zonas habitacionales se encuentran mayormente al norte del cantón, y las zonas de comercio sobre los ejes vehiculares más importantes. (UTGVM, 2016)

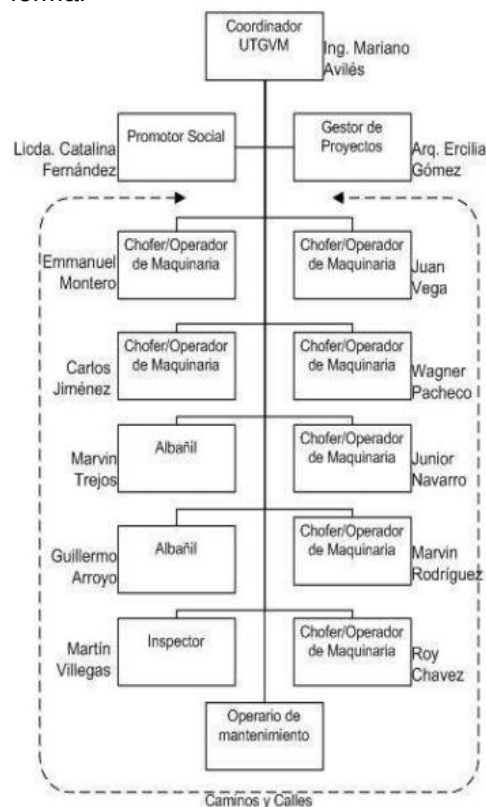
| <b>Cuadro 173. Índices de Desarrollo Social de El Guarco</b> |              |                       |
|--------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Tipo de Índice</b>                                        | <b>Valor</b> | <b>Nivel Nacional</b> |
| Índice de Desarrollo Humano Cantonal                         | 0,844        | #17                   |
| Índice de Pobreza Humana Cantonal                            | 13,20        | #18                   |
| Índice de Desarrollo Relativo al Genero Cantonal             | 0,782        | #14                   |
| Índice de Potenciación de Genero Cantonal                    | 0,847        | #14                   |

|                                       |         |     |
|---------------------------------------|---------|-----|
| Índice de Bienestar Material Cantonal | 0,784   | #14 |
| Índice de Esperanza de Vida           | 80 años | -   |
| Índice de Competividad Cantonal       | 0,892   | #32 |

**Fuente:** UTGVM, 2016.

Con respecto a la condición vial el ente de la Municipalidad de el Guarco encargado de la gestión vial cantonal es la Unidad de Gestión Técnica Vial de la Municipalidad del El Guarco (UTGVM), y por medio del Plan de Gestión y Desarrollo Vial de El Guarco 2016-2021, pretenden planificar el desarrollo de la Gestión Vial con el fin de brindar desarrollo económico, social y humano del cantón, por medio de metodologías técnicas y de planificación de los recursos.

La UTGVM está compuesta de la siguiente forma:



**Figura 96.** Organigrama de la UTGVM.

**Fuente:** UTGVM, 2016.

| Cuadro 174. Capacidad de Maquinaria Instalada de la UTGVM |               |      |               |
|-----------------------------------------------------------|---------------|------|---------------|
| Maquina                                                   | Matricula     | Año  | Marca         |
| Vagoneta                                                  | SM 3043       | 1980 | Mercedes Benz |
| Vagoneta                                                  | SM 3560       | 1989 | International |
| Vagoneta                                                  | SM 5718       | 2012 | Iveco         |
| Back Hoe                                                  | SM 5136       | 2088 | JCB           |
| Back Hoe                                                  | SM 5691       | 2012 | John Deere    |
| Niveladora                                                | SM 2360       | 1987 | Caterpillar   |
| Niveladora                                                | SM 5692       | 2012 | John Deere    |
| Mini cargador                                             | SM 5139       | 2008 | JCB           |
| Compactadora                                              | 12 ton        | 2008 | Intensus      |
| Compactadora                                              | Doble Rodillo | 2008 |               |
| Pick Up                                                   | SM 4567       | 2008 | Toyota        |

Fuente: UTGVM, 2016.

En cuanto a maquinaria se poseen dos frentes de trabajo, para los caminos cantonales rurales, los cuales en su mayoría se encuentran en lastre o tierra. Uno de los frentes está incompleto, ya que, el estado de la niveladora SM 5692 es malo, al igual que el de la compactadora de 12ton. Una de las vagonetas posee una tanqueta de agua. Además se cuenta con 1 cortadora de asfalto, una máquina soldadora y una distribución de diésel.



Figura 97. Extensión de la Red Vial Cantonal.  
Fuente: UTGVM, 2016.

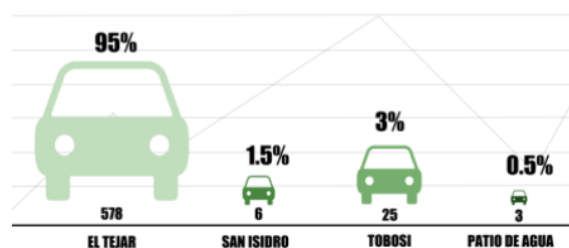


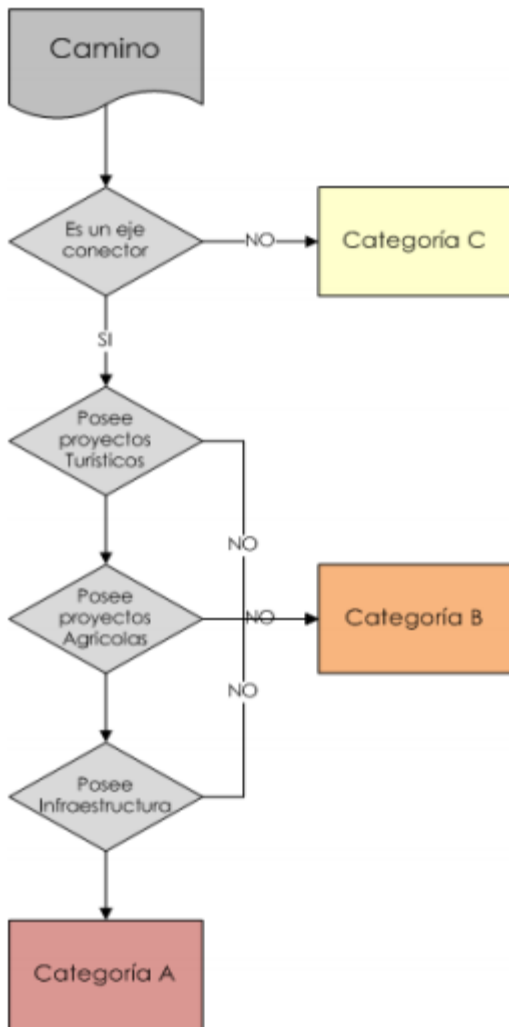
Figura 98. Flota Vehicular por distrito.  
Fuente: UTGVM, 2016.

| Cuadro 175. Tipo de Superficie de la Red Vial Cantonal |            |                          |
|--------------------------------------------------------|------------|--------------------------|
| Acabado                                                | Kilómetros | Porcentaje del Total (%) |
| Asfalto                                                | 70,31      | 24,38%                   |
| Lastre                                                 | 141,555    | 49,09%                   |
| Adoquín                                                | 0,39       | 0,14%                    |
| Tierra                                                 | 76,09      | 26,39%                   |
| Total                                                  | 288,345    | 100,00%                  |

Fuente: UTGVM, 2016.

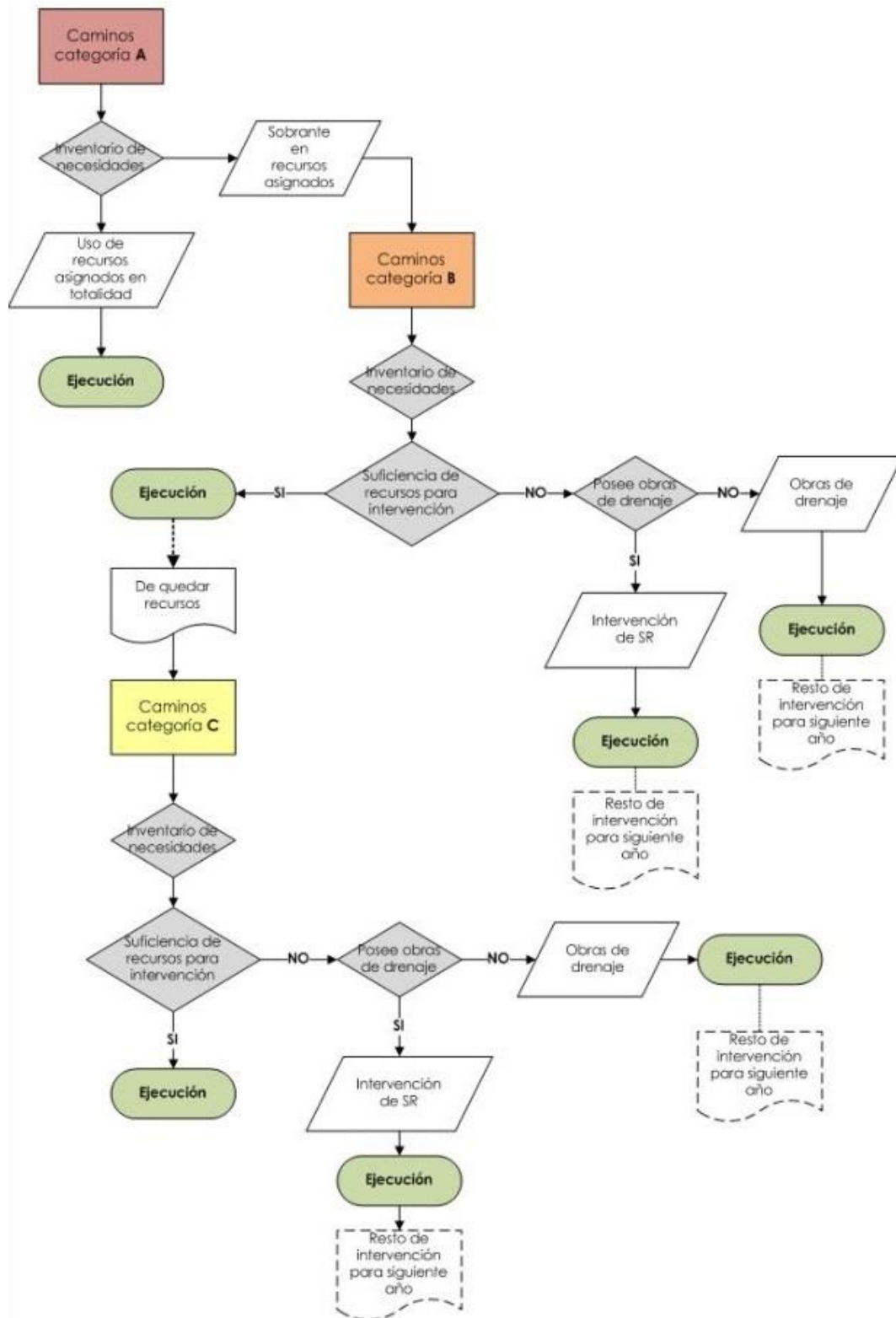
| Cuadro 176. Estado de la Red Vial Cantonal |            |                          |
|--------------------------------------------|------------|--------------------------|
| Estado                                     | Kilómetros | Porcentaje del Total (%) |
| Bueno                                      | 87,495     | 30,34%                   |
| Regular                                    | 55,475     | 19,24%                   |
| Malo                                       | 145,375    | 50,42%                   |
| Total                                      | 288,345    | 100,00%                  |

Fuente: UTGVM, 2016.



**Figura 99.** Categorización de los caminos del Cantón de El Guarco.

**Fuente:** UTGVM, 2016.



**Figura 100.** Diagrama de criterio de intervención de los proyectos de El Guarco.  
**Fuente:** UTGVM, 2016.

| <b>Cuadro 177. Normas de Calidad y Normas de Intervención para cada clasificación de caminos</b> |                      |    |                 |    |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|-----------------|----|---------------------------|
|                                                                                                  | Normas de Calidad NQ |    |                 |    | Normas de Intervención NI |
|                                                                                                  | Condición Inicial    |    | Condición Final |    | -                         |
| Asfalto                                                                                          | Asfalto Bueno        | Ab | Asfalto Bueno   | Ab | Mantenimiento Rutinario   |
|                                                                                                  | Asfalto Regular      | Ar | Asfalto Bueno   | Ab | Mantenimiento Periódico   |
|                                                                                                  | Asfalto Malo         | Am | Asfalto Bueno   | Ab | Mejoramiento              |
| Lastre-Asfalto                                                                                   | Lastre Bueno         | Lb | Asfalto Bueno   | Ab | Mejoramiento              |
|                                                                                                  | Lastre Regular       | Lr | Asfalto Bueno   | Ab | Mejoramiento              |
| Lastre-TSB                                                                                       | Lastre Bueno         | Lb | TSB             | Tb | Mejoramiento              |
| Lastre                                                                                           | Lastre Bueno         | Lb | Lastre Bueno    | Lb | Mantenimiento Rutinario   |
|                                                                                                  | Lastre Regular       | Lr | Lastre Bueno    | Lb | Mantenimiento Periódico   |
|                                                                                                  | Lastre Malo          | Lm | Lastre Bueno    | Lb | Mejoramiento              |
| Tierra-Lastre                                                                                    | Tierra Bueno         | TB | Lastre Bueno    | Lb | Mejoramiento              |
|                                                                                                  | Tierra Regular       | Tr | Lastre Bueno    | Lb | Mejoramiento              |
|                                                                                                  | Tierra Malo          | Tm | Lastre Bueno    | Lb | Mejoramiento              |

**Fuente:** UTGVM, 2016.

## Anexo 8. HDM-4

| <b>Cuadro 178. Promedios climáticos mensuales de Cartago</b> |                  |       |        |                      |             |                      |
|--------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------|----------------------|-------------|----------------------|
| Mes                                                          | Temperatura (°C) |       |        | Humedad Relativa (%) | Lluvia (mm) | Días con lluvia (mm) |
|                                                              | Max.             | Min.  | Med.   |                      |             |                      |
| Enero                                                        | 21,8             | 13,4  | 17,6   | 62,3                 | 62,3        | 17                   |
| Febrero                                                      | 22,7             | 13,4  | 18     | 87                   | 40,8        | 12                   |
| Marzo                                                        | 23,5             | 13,7  | 18,6   | 87                   | 23,9        | 11                   |
| Abril                                                        | 24,5             | 14,9  | 19,7   | 87                   | 37,6        | 12                   |
| Mayo                                                         | 25               | 15,9  | 20,5   | 89                   | 172,5       | 21                   |
| Junio                                                        | 24,7             | 16    | 20,3   | 90                   | 180,2       | 23                   |
| Julio                                                        | 23,9             | 15,7  | 19,8   | 91                   | 140,7       | 22                   |
| Agosto                                                       | 24,5             | 15,6  | 20     | 90                   | 149,3       | 22                   |
| Septiembre                                                   | 25,1             | 15,6  | 20,3   | 89                   | 210         | 24                   |
| Octubre                                                      | 24,4             | 15,8  | 20,1   | 89                   | 224,5       | 24                   |
| Noviembre                                                    | 22,7             | 15,2  | 18,9   | 91                   | 140,9       | 22                   |
| Diciembre                                                    | 21,9             | 14,2  | 18,1   | 91                   | 85,5        | 21                   |
| MINIMO                                                       | 21,8             | 13,4  | 17,6   | 62,3                 | 23,9        | 11                   |
| MÁXIMO                                                       | 25,1             | 16    | 20,5   | 91                   | 224,5       | 24                   |
| PROMEDIO                                                     | 23,725           | 14,95 | 19,325 | 86,94                | 122,35      | 19,25                |

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2016.

### 3-08-153 / Camino Cantonal Guayabal-Guatuso

#### Definición

|                                              |                                       |                               |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Nombre del tramo: Camino Cantonal Guayabal-G | Zona climática: Clima Cartaginés      | Ancho arcos: 0.60 m           |
| ID del tramo: 3-08-153                       | Clase de carretera: Tertiary or Local | Numero de carriles: 2         |
| Nombre del itinerario: Guayabal-Guatuso      | Tipo de superficie: Sin Pavimentar    | IMD motorizado: 171           |
| ID del itinerario: 3-08-153                  | Tipo de firme: Grava                  | IMD no motorizado: 0          |
| Tipo de vel/capacidad: Two Lane Narrow       | Longitud: 1.63 km                     | Año de la IMD: 2016           |
| Modelo de tráfico: Free-Flow                 | Ancho calzada: 6.00 m                 | Sentido tráfico: Dos sentidos |

#### Geometría

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Rampa + Pendiente: 23 m/km     | Limite de velocidad: 105 km/h |
| Curv. horizont. media: 35 °/km | Altitud: 1,391 m              |

#### Firme

|                                                                   |                               |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Mat. capa rodadura: Grava volcanica angulosa                      | Metodo compactación: Mecanico |
| Mat. explanada: Arcillas (no orgánicas) de plasticidad media (CI) | Año ultimo recargo: 2015      |

#### Estado

|           |                      |                |
|-----------|----------------------|----------------|
| Año: 2016 | Espesor arido: 60 mm | IRI: 4.00 m/km |
|-----------|----------------------|----------------|

#### Referido a la velocidad

|                             |            |                                |
|-----------------------------|------------|--------------------------------|
| No. Ramp. + Pend.: 2 no./km | XNMT: 1.00 | XMT: 1.00                      |
| Peralte: 4.00 %             | XFR: 1.00  | Cumplimiento vel. limite: 1.10 |
| Sigma adral: 0.10 m/s²      |            |                                |

#### Gradación material capa rodadura

|                                 |                               |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Max. tamaño partícula: 25.00 mm | % pasa tamiz 2.00mm: 49.30 %  | % pasa tamiz 0.075mm: 23.50 % |
| Índice plasticidad: 17.00 %     | % pasa tamiz 0.425mm: 77.00 % |                               |

#### Gradación material explanada

|                                |                               |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Max. tamaño partícula: 8.00 mm | % pasa tamiz 2.00mm: 83.50 %  | % pasa tamiz 0.075mm: 59.00 % |
| Índice plasticidad: 18.80 %    | % pasa tamiz 0.425mm: 77.00 % |                               |

#### Arcenes y carriles TNM

|                            |                     |                                          |
|----------------------------|---------------------|------------------------------------------|
| No. arcenes: 2             | No. carriles TNM: 0 | Tipo de superf. carriles TNM: Bituminosa |
| Carriles sep. para TNM: No |                     |                                          |

#### Calibración del modelo de regularidad

|                                |                                |                               |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Metodo usado: Calculada        | IRI min. capa rod.: 2.96 m/km  | IRI min. explanada: 2.17 m/km |
| IRI max. capa rod.: 19.40 m/km | IRI max. explanada: 17.56 m/km |                               |

#### Calibración perdida material

|                                |                            |                                  |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Factor perdida c.rod.: 1.00    | Factor perdida expl.: 1.00 | Perdida ind. tráfico expl.: 1.00 |
| Perdida ind. tra. c.rod.: 1.00 |                            |                                  |

## H D M - 4 Parque de Vehiculos - Vehiculo por hoja

### Automovil

|                                      |                                              |                                             |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Definición</b>                    |                                              |                                             |
| Tipo Base :                          | Coche Medio                                  | Info: vehículos de pasajeros medios         |
| Categoría:                           | Motorizado                                   | Método de vida: Vida constante              |
| <b>Características Básicas</b>       |                                              |                                             |
| PCSE: 1.00                           | Coste recauchutado: 15%                      | Uso privado: 90%                            |
| No. de ruedas: 4                     | ESALF: 0.02                                  | Pasajeros: 2                                |
| No. de ejes: 2                       | Km anuales: 23,000 km/año                    | Viajes de trabajo: 56%                      |
| Tipo de rueda: Radial                | Horas trabajo: 550 horas                     | Peso en marcha: 1.68 t                      |
| No. basico recauchut.: 1.30          | Vida media: 10 años                          |                                             |
| <b>Costes unitarios económicos</b>   |                                              |                                             |
| Vehículo Nuevo: 17,767               | Trabajo mantenimiento: 2.15 por hora         | Tiempo trabajo pasajero: 5.52 por hora      |
| Rueda de repuesto: 57.00             | Gastos personal: 0.01 por hora               | Tiempo de ocio: 2.76 por hora               |
| Combustible: 1.02 por litro          | Gastos generales: 1.664                      | Tiempo retraso carga: 0                     |
| Aceite lubricante: 1.60 por litro    | Interés anual: 10.00%                        |                                             |
| <b>Fuerzas</b>                       |                                              |                                             |
| Area frontal: 1.90 m <sup>2</sup>    | Potencia frenado: 20 kW                      | Resist. rodadura a2: 0.01                   |
| CD: 0.42                             | Potencia nominal: 70 kW                      | FPLIM: 1.00                                 |
| Multiplicador CD: 1.10               | Resist. rodadura a0: 37.00                   |                                             |
| Potencia motor: 33 kW                | Resist. rodadura a1: 0.06                    |                                             |
| <b>Velocidad</b>                     |                                              |                                             |
| VCURVE_a0: 3.90                      | Bituminoso VDES2: 125.28 km/h                | Sin pavim. CW1: 4.00m                       |
| VCURVE_a1: 0.34                      | Bituminoso VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Sin pavim. CW2: 6.80m                       |
| VROUGH_a0: 1.15                      | Bituminoso VDESa1: 2.90                      | Hormigón VDES2: 125.28 km/h                 |
| ARVMAX: 203 mm/s                     | Bituminoso VDESa2: 0.75                      | Hormigón VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>    |
| Velocidad beta: 0.15                 | Bituminoso CW1: 4.00                         | Hormigón VDESa1: 2.90                       |
| Velocidad sigma: 0.00                | Bituminoso CW2: 6.80                         | Hormigón VDESa2: 0.75                       |
| COV: 0.15                            | Sin pavim. VDES2: 125.28 km/h                | Hormigón CW1: 4.00m                         |
| CGR_a0: 94.90                        | Sin pavim. VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Hormigón CW2: 6.80m                         |
| CGR_a1: 0.85                         | Sin pavim. VDESa1: 2.90                      |                                             |
| CGR_a2: 2.80                         | Sin pavim. VDESa2: 0.75                      |                                             |
| <b>Combustible</b>                   |                                              |                                             |
| RPM_a0: 2,280 RPM                    | IDLE_FUEL: 0.36 mL/s                         | PCTPENG: 80.00%                             |
| RPM_a1: 17.00 RPM/(m/s)              | ZETAB: 0.067 mL/KW/s                         | Kpea: 1.00                                  |
| RPM_a2: 0.83 RPM/(m/s) <sup>2</sup>  | EHP: 0.25                                    | Pérd. contam. aceite: 0.40 L/1000km         |
| RPM_a3: 42.00 m/s                    | EDT: 0.90                                    | Pérd. uso aceite: 0.0028 L/1000km           |
| RPM_IDLE: 800 RPM                    | PACCS_a0: 0.20                               |                                             |
| <b>Efectos Aceleración</b>           |                                              |                                             |
| Sigma amaxv: 0.75 m/s <sup>2</sup>   | NMTAMAX: 0.40 m/s <sup>2</sup>               | AMAXRI: 20.00 m/s <sup>2</sup>              |
| FRIAMAX: 0.20 m/s <sup>2</sup>       | RIAMAX: 0.30 m/s <sup>2</sup>                |                                             |
| <b>Ruedas</b>                        |                                              |                                             |
| Diám. rueda: 0.60 m                  | Coef. desgaste: 0.00204 dm <sup>3</sup> /J-m | Vol. desgastable goma: 1.40 dm <sup>3</sup> |
| Término cte: 0.02616 dm <sup>3</sup> | Factor efecto congest.: 0.10                 |                                             |
| <b>Mantenimiento</b>                 |                                              |                                             |
| Término cte piezas: 36.94            | Efecto edad piezas: 0.308                    | Término cte. trabajo: 77.14                 |
| Efecto regul. piezas: 6.20           | Factor desg. piezas: 0.25                    | Exponente trabajo piezas: 0.550             |
| Factor rotacion piezas: 1.00         | Límite regul. piezas: 6.20                   | Factor rotac. trabajo: 1.00                 |
| Efecto transl. piezas: 0.00          | Factor cong. piezas: 0.10                    | Factor trasl. trabajo: 0.00                 |
| <b>Vida óptima</b>                   |                                              |                                             |
| Coef. Regresión. 1: -65.8553         | Min valor residual: 2.00%                    | Max umbral regularidad: 5.00 IRI            |
| Coef. Regresión. 2: -1.9194          | Max valor residual: 15.00%                   |                                             |
| <b>Emisiones</b>                     |                                              |                                             |
| Hidrocarbónico k0: 1.00              | óxido nítrico k0: 1.00                       | dioxido carbono k0: 1.00                    |
| Hidrocarbónico k1: 1.00              | óxido nítrico k1: 1.00                       | dioxido azufre k0: 1.00                     |
| monóxido de carbono k0: 1.00         | Partículas k0: 1.00                          | Plomo k0: 1.00                              |
| monóxido de carbono k1: 1.00         | Partículas k1: 1.00                          |                                             |
| <b>Energía</b>                       |                                              |                                             |
| Usada en producc.: 100 GJ            | % vehic. hechos en país: 10.00%              | Peso en vacío: 1.00 t                       |
| % piezas hechas país: 10.00%         | Peso neumático: 3.50 kg                      |                                             |

## H D M - 4 Parque de Vehiculos - Vehiculo por hoja

### Camion C2

|                                      |                                              |                                                         |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Definición</b>                    |                                              |                                                         |
| Tipo Base :                          | Camion Medio                                 | Info: Camión medio, rígid de dos ejes (> 3,5 toneladas) |
| Categoría:                           | Motorizado                                   | Método de vida: Vida optima                             |
| <b>Características Básicas</b>       |                                              |                                                         |
| PCSE: 1.40                           | Coste recauchutado: 15%                      | Uso privado: 0%                                         |
| No. de ruedas: 6                     | ESALF: 1.00                                  | Pasajeros: 2                                            |
| No. de ejes: 2                       | Km anuales: 60,000 km/año                    | Viajes de trabajo: 0%                                   |
| Tipo de rueda: Diagonal              | Horas trabajo: 1,200 horas                   | Peso en marcha: 10.45 t                                 |
| No. basico recauchut.: 1.30          | Vida media: 12 años                          |                                                         |
| <b>Costes unitarios económicos</b>   |                                              |                                                         |
| Vehículo Nuevo: 63,694               | Trabajo mantenimiento: 2.15 por hora         | Tiempo trabajo pasajero: 0                              |
| Rueda de repuesto: 316.00            | Gastos personal: 2.09 por hora               | Tiempo de ocio: 0                                       |
| Combustible: 0.97 por litro          | Gastos generales: 3.115                      | Tiempo retraso carga: 0.05 por hora                     |
| Aceite lubricante: 1.60 por litro    | Interés anual: 10.00%                        |                                                         |
| <b>Fuerzas</b>                       |                                              |                                                         |
| Area frontal: 5.00 m <sup>2</sup>    | Potencia frenado: 70 kW                      | Resist. rodadura a2: 0.01                               |
| CD: 0.60                             | Potencia nominal: 100 kW                     | FPLIM: 1.00                                             |
| Multiplicador CD: 1.13               | Resist. rodadura a0: 0.37                    |                                                         |
| Potencia motor: 87 kW                | Resist. rodadura a1: 0.06                    |                                                         |
| <b>Velocidad</b>                     |                                              |                                                         |
| VCURVE_a0: 4.80                      | Bituminoso VDES2: 105.48 km/h                | Sin pavim. CW1: 4.00m                                   |
| VCURVE_a1: 0.29                      | Bituminoso VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Sin pavim. CW2: 6.80m                                   |
| VROUGH_a0: 1.15                      | Bituminoso VDESa1: 0.70                      | Hormigón VDES2: 105.48 km/h                             |
| ARVMAX: 200 mm/s                     | Bituminoso VDESa2: 0.75                      | Hormigón VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>                |
| Velocidad beta: 0.16                 | Bituminoso CW1: 4.00                         | Hormigón VDESa1: 0.70                                   |
| Velocidad sigma: 0.00                | Bituminoso CW2: 6.80                         | Hormigón VDESa2: 0.75                                   |
| COV: 0.15                            | Sin pavim. VDES2: 105.48 km/h                | Hormigón CW1: 4.00m                                     |
| CGR_a0: 94.90                        | Sin pavim. VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Hormigón CW2: 6.80m                                     |
| CGR_a1: 0.85                         | Sin pavim. VDESa1: 0.70                      |                                                         |
| CGR_a2: 2.80                         | Sin pavim. VDESa2: 0.75                      |                                                         |
| <b>Combustible</b>                   |                                              |                                                         |
| RPM_a0: 1,214 RPM                    | IDLE_FUEL: 0.37 mL/s                         | PCTPENG: 80.00%                                         |
| RPM_a1: 17.60 RPM/(m/s)              | ZETAB: 0.057 mL/KW/s                         | Kpea: 1.00                                              |
| RPM_a2: 2.32 RPM/(m/s) <sup>2</sup>  | EHP: 0.10                                    | Pérd. contam. aceite: 1.56 L/1000km                     |
| RPM_a3: 22.00 m/s                    | EDT: 0.86                                    | Pérd. uso aceite: 0.0021 L/1000km                       |
| RPM_IDLE: 500 RPM                    | PACCS_a0: 0.20                               |                                                         |
| <b>Efectos Aceleración</b>           |                                              |                                                         |
| Sigma amaxv: 0.75 m/s <sup>2</sup>   | NMTAMAX: 0.40 m/s <sup>2</sup>               | AMAXRI: 20.00 m/s <sup>2</sup>                          |
| FRIAMAX: 0.20 m/s <sup>2</sup>       | RIAMAX: 0.30 m/s <sup>2</sup>                |                                                         |
| <b>Ruedas</b>                        |                                              |                                                         |
| Diám. rueda: 1.05 m                  | Coef. desgaste: 0.00201 dm <sup>3</sup> /J-m | Vol. desgastable goma: 6.00 dm <sup>3</sup>             |
| Término cte: 0.02585 dm <sup>3</sup> | Factor efecto congest.: 0.10                 |                                                         |
| <b>Mantenimiento</b>                 |                                              |                                                         |
| Término cte piezas: 11.58            | Efecto edad piezas: 0.371                    | Término cte. trabajo: 242.03                            |
| Efecto regul. piezas: 2.96           | Factor desg. piezas: 0.25                    | Exponente trabajo piezas: 0.520                         |
| Factor rotacion piezas: 1.00         | Límite regul. piezas: 2.96                   | Factor rotac. trabajo: 1.00                             |
| Efecto transl. piezas: 0.00          | Factor cong. piezas: 0.10                    | Factor trasl. trabajo: 0.00                             |
| <b>Vida optima</b>                   |                                              |                                                         |
| Coef. Regresion. 1: -65.8553         | Min valor residual: 2.00%                    | Max umbral regularidad: 5.00 IRI                        |
| Coef. Regresión. 2: -1.9194          | Max valor residual: 15.00%                   |                                                         |
| <b>Emisiones</b>                     |                                              |                                                         |
| Hidrocarbónico k0: 1.00              | óxido nítrico k0: 1.00                       | dioxido carbono k0: 1.00                                |
| Hidrocarbónico k1: 1.00              | óxido nítrico k1: 1.00                       | dioxido azufre k0: 1.00                                 |
| monóxido de carbono k0: 1.00         | Partículas k0: 1.00                          | Plomo k0: 1.00                                          |
| monóxido de carbono k1: 1.00         | Partículas k1: 1.00                          |                                                         |
| <b>Energía</b>                       |                                              |                                                         |
| Usada en producc.: 600 GJ            | % vehic. hechos en país: 10.00%              | Peso en vacío: 4.50 t                                   |
| % piezas hechas país: 10.00%         | Peso neumático: 12.40 kg                     |                                                         |

**H D M - 4 Parque de Vehiculos - Vehiculo por hoja**
**Camion C3**

|                                      |                                              |                                             |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Definición</b>                    |                                              |                                             |
| Tipo Base :                          | Camion Pesado                                | Info: Camión rígido de varios ejes          |
| Categoría:                           | Motorizado                                   | Método de vida: Vida optima                 |
| <b>Características Básicas</b>       |                                              |                                             |
| PCSE: 1.60                           | Coste recauchutado: 15%                      | Uso privado: 0%                             |
| No. de ruedas: 10                    | ESALF: 1.50                                  | Pasajeros: 1                                |
| No. de ejes: 3                       | Km anuales: 86,000 km/año                    | Viajes de trabajo: 0%                       |
| Tipo de rueda: Diagonal              | Horas trabajo: 2,050 horas                   | Peso en marcha: 14.45 t                     |
| No. basico recauchut.: 1.30          | Vida media: 14 años                          |                                             |
| <b>Costes unitarios económicos</b>   |                                              |                                             |
| Vehículo Nuevo: 89,951               | Trabajo mantenimiento: 2.15 por hora         | Tiempo trabajo pasajero: 0                  |
| Rueda de repuesto: 671.00            | Gastos personal: 2.11 por hora               | Tiempo de ocio: 0                           |
| Combustible: 0.97 por litro          | Gastos generales: 4.401                      | Tiempo retraso carga: 0.09 por hora         |
| Aceite lubricante: 1.60 por litro    | Interés anual: 10.00%                        |                                             |
| <b>Fuerzas</b>                       |                                              |                                             |
| Area frontal: 8.50 m <sup>2</sup>    | Potencia frenado: 255 kW                     | Resist. rodadura a2: 0.01                   |
| CD: 0.70                             | Potencia nominal: 280 kW                     | FPLIM: 1.00                                 |
| Multiplicador CD: 1.14               | Resist. rodadura a3: 0.07                    |                                             |
| Potencia motor: 227 kW               | Resist. rodadura a1: 0.06                    |                                             |
| <b>Velocidad</b>                     |                                              |                                             |
| VCURVE_a0: 4.60                      | Bituminoso VDES2: 88.56 km/h                 | Sin pavim. CW1: 4.00m                       |
| VCURVE_a1: 0.28                      | Bituminoso VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Sin pavim. CW2: 6.80m                       |
| VROUGH_a0: 1.15                      | Bituminoso VDESa1: 0.70                      | Hormigón VDES2: 88.56 km/h                  |
| ARVMAX: 180 mm/s                     | Bituminoso VDESa2: 0.75                      | Hormigón VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>    |
| Velocidad beta: 0.11                 | Bituminoso CW1: 4.00                         | Hormigón VDESa1: 0.70                       |
| Velocidad sigma: 0.00                | Bituminoso CW2: 6.80                         | Hormigón VDESa2: 0.75                       |
| COV: 0.15                            | Sin pavim. VDES2: 88.56 km/h                 | Hormigón CW1: 4.00m                         |
| CGR_a0: 94.90                        | Sin pavim. VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Hormigón CW2: 6.80m                         |
| CGR_a1: 0.85                         | Sin pavim. VDESa1: 0.70                      |                                             |
| CGR_a2: 2.80                         | Sin pavim. VDESa2: 0.75                      |                                             |
| <b>Combustible</b>                   |                                              |                                             |
| RPM_a0: 1,167 RPM                    | IDLE_FUEL: 1.12 mL/s                         | PCTPENG: 80.00%                             |
| RPM_a1: -24.00 RPM/(m/s)             | ZETAB: 0.056 mL/KW/s                         | Kpea: 1.00                                  |
| RPM_a2: 1.76 RPM/(m/s) <sup>2</sup>  | EHP: 0.10                                    | Pérd. contam. aceite: 3.10 L/1000km         |
| RPM_a3: 22.00 m/s                    | EDT: 0.86                                    | Pérd. uso aceite: 0.0021 L/1000km           |
| RPM_IDLE: 500 RPM                    | PACCS_a0: 0.20                               |                                             |
| <b>Efectos Aceleración</b>           |                                              |                                             |
| Sigma amaxv: 0.75 m/s <sup>2</sup>   | NMTAMAX: 0.40 m/s <sup>2</sup>               | AMAXRI: 20.00 m/s <sup>2</sup>              |
| FRIAMAX: 0.20 m/s <sup>2</sup>       | RIAMAX: 0.30 m/s <sup>2</sup>                |                                             |
| <b>Ruedas</b>                        |                                              |                                             |
| Diám. rueda: 1.05 m                  | Coef. desgaste: 0.00275 dm <sup>3</sup> /J-m | Vol. desgastable goma: 8.00 dm <sup>3</sup> |
| Término cte: 0.03529 dm <sup>3</sup> | Factor efecto congest.: 0.10                 |                                             |
| <b>Mantenimiento</b>                 |                                              |                                             |
| Término cte piezas: 11.58            | Efecto edad piezas: 0.371                    | Término cte. trabajo: 301.46                |
| Efecto regul. piezas: 2.96           | Factor desg. piezas: 0.25                    | Exponente trabajo piezas: 0.520             |
| Factor rotacion piezas: 1.00         | Límite regul. piezas: 2.96                   | Factor rotac. trabajo: 1.00                 |
| Efecto transl. piezas: 0.00          | Factor cong. piezas: 0.10                    | Factor trasl. trabajo: 0.00                 |
| <b>Vida optima</b>                   |                                              |                                             |
| Coef. Regresion. 1: -65.8553         | Min valor residual: 2.00%                    | Max umbral regularidad: 5.00 IRI            |
| Coef. Regresión. 2: -1.9194          | Max valor residual: 15.00%                   |                                             |
| <b>Emisiones</b>                     |                                              |                                             |
| Hidrocarbón k0: 1.00                 | óxido nítrico k0: 1.00                       | dioxido carbono k0: 1.00                    |
| Hidrocarbón k1: 1.00                 | óxido nítrico k1: 1.00                       | dioxido azufre k0: 1.00                     |
| monóxido de carbono k0: 1.00         | Partículas k0: 1.00                          | Plomo k0: 1.00                              |
| monóxido de carbono k1: 1.00         | Partículas k1: 1.00                          |                                             |
| <b>Energía</b>                       |                                              |                                             |
| Usada en producc.: 1,000 GJ          | % vehic. hechos en país: 10.00%              | Peso en vacío: 9.00 t                       |
| % piezas hechas país: 10.00%         | Peso neumático: 12.40 kg                     |                                             |

## H D M - 4 Parque de Vehiculos - Vehiculo por hoja

### Camioneta CL

|                                      |                                              |                                                                     |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Definición</b>                    |                                              |                                                                     |
| Tipo Base :                          | Vehiculo Mercancia I                         | Info: camion muy ligero para el transporte de mercancías (4 ruedas) |
| Categoría:                           | Motorizado                                   | Método de vida: Vida optima                                         |
| <b>Características Básicas</b>       |                                              |                                                                     |
| PCSE: 1.00                           | Coste recauchutado: 15%                      | Uso privado: 30%                                                    |
| No. de ruedas: 4                     | ESALF: 0.50                                  | Pasajeros: 2                                                        |
| No. de ejes: 2                       | Km anuales: 30,000 km/año                    | Viajes de trabajo: 56%                                              |
| Tipo de rueda: Radial                | Horas trabajo: 1,300 horas                   | Peso en marcha: 2.40 t                                              |
| No. basico recauchut.: 1.30          | Vida media: 8 años                           |                                                                     |
| <b>Costes unitarios económicos</b>   |                                              |                                                                     |
| Vehículo Nuevo: 27,867               | Trabajo mantenimiento: 2.15 por hora         | Tiempo trabajo pasajero: 5.52 por hora                              |
| Rueda de repuesto: 103.00            | Gastos personal: 0.01 por hora               | Tiempo de ocio: 2.76 por hora                                       |
| Combustible: 0.97 por litro          | Gastos generales: 2.610                      | Tiempo retraso carga: 0                                             |
| Aceite lubricante: 1.60 por litro    | Interés anual: 10.00%                        |                                                                     |
| <b>Fuerzas</b>                       |                                              |                                                                     |
| Area frontal: 2.80 m <sup>2</sup>    | Potencia frenado: 20 kW                      | Resist. rodadura a2: 0.01                                           |
| CD: 0.50                             | Potencia nominal: 55 kW                      | FPLIM: 1.00                                                         |
| Multiplicador CD: 1.11               | Resist. rodadura a3: 0.07                    |                                                                     |
| Potencia motor: 40 kW                | Resist. rodadura a1: 0.06                    |                                                                     |
| <b>Velocidad</b>                     |                                              |                                                                     |
| VCURVE_a0: 3.90                      | Bituminoso VDES2: 144.00 km/h                | Sin pavim. CW1: 4.00m                                               |
| VCURVE_a1: 0.34                      | Bituminoso VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Sin pavim. CW2: 6.80m                                               |
| VROUGH_a0: 1.15                      | Bituminoso VDESa1: 2.90                      | Hormigón VDES2: 144.00 km/h                                         |
| ARVMAX: 200 mm/s                     | Bituminoso VDESa2: 0.75                      | Hormigón VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>                            |
| Velocidad beta: 0.15                 | Bituminoso CW1: 4.00                         | Hormigón VDESa1: 2.90                                               |
| Velocidad sigma: 0.00                | Bituminoso CW2: 6.80                         | Hormigón VDESa2: 0.75                                               |
| COV: 0.15                            | Sin pavim. VDES2: 144.00 km/h                | Hormigón CW1: 4.00m                                                 |
| CGR_a0: 94.90                        | Sin pavim. VDESa0: 0.00 × 10 <sup>-3</sup>   | Hormigón CW2: 6.80m                                                 |
| CGR_a1: 0.85                         | Sin pavim. VDESa1: 2.90                      |                                                                     |
| CGR_a2: 2.80                         | Sin pavim. VDESa2: 0.75                      |                                                                     |
| <b>Combustible</b>                   |                                              |                                                                     |
| RPM_a0: 2,574 RPM                    | IDLE_FUEL: 0.37 mL/s                         | PCTPENG: 80.00%                                                     |
| RPM_a1: -27.80 RPM/(m/s)             | ZETAB: 0.067 mL/kW/s                         | Kpea: 1.00                                                          |
| RPM_a2: 2.46 RPM/(m/s) <sup>2</sup>  | EHP: 0.25                                    | Pérd. contam. aceite: 0.67 L/1000km                                 |
| RPM_a3: 32.00 m/s                    | EDT: 0.90                                    | Pérd. uso aceite: 0.0028 L/1000km                                   |
| RPM_IDLE: 800 RPM                    | PACCS_a0: 0.20                               |                                                                     |
| <b>Efectos Aceleración</b>           |                                              |                                                                     |
| Sigma amaxv: 0.75 m/s <sup>2</sup>   | NMTAMAX: 0.40 m/s <sup>2</sup>               | AMAXRI: 20.00 m/s <sup>2</sup>                                      |
| FRIAMAX: 0.20 m/s <sup>2</sup>       | RIAMAX: 0.30 m/s <sup>2</sup>                |                                                                     |
| <b>Ruedas</b>                        |                                              |                                                                     |
| Diám. rueda: 0.70 m                  | Coef. desgaste: 0.00187 dm <sup>3</sup> /J-m | Vol. desgastable goma: 1.60 dm <sup>3</sup>                         |
| Término cte: 0.02400 dm <sup>3</sup> | Factor efecto congest.: 0.10                 |                                                                     |
| <b>Mantenimiento</b>                 |                                              |                                                                     |
| Término cte piezas: 36.94            | Efecto edad piezas: 0.308                    | Término cte. trabajo: 77.14                                         |
| Efecto regul. piezas: 6.20           | Factor desg. piezas: 0.25                    | Exponente trabajo piezas: 0.550                                     |
| Factor rotacion piezas: 1.00         | Límite regul. piezas: 6.20                   | Factor rotac. trabajo: 1.00                                         |
| Efecto transl. piezas: 0.00          | Factor cong. piezas: 0.10                    | Factor trasl. trabajo: 0.00                                         |
| <b>Vida optima</b>                   |                                              |                                                                     |
| Coef. Regresion. 1: -65.8553         | Min valor residual: 2.00%                    | Max umbral regularidad: 5.00 IRI                                    |
| Coef. Regresión. 2: -1.9194          | Max valor residual: 15.00%                   |                                                                     |
| <b>Emisiones</b>                     |                                              |                                                                     |
| Hidrocarbón k0: 1.00                 | óxido nítrico k0: 1.00                       | dioxido carbono k0: 1.00                                            |
| Hidrocarbón k1: 1.00                 | óxido nítrico k1: 1.00                       | dioxido azufre k0: 1.00                                             |
| monóxido de carbono k0: 1.00         | Partículas k0: 1.00                          | Plomo k0: 1.00                                                      |
| monóxido de carbono k1: 1.00         | Partículas k1: 1.00                          |                                                                     |
| <b>Energía</b>                       |                                              |                                                                     |
| Usada en producc.: 160 GJ            | % vehic. hechos en país: 10.00%              | Peso en vacío: 0.90 t                                               |
| % piezas hechas país: 10.00%         | Peso neumático: 4.00 kg                      |                                                                     |

# Referencias

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (1998). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures Part II - Rigid Pavement Design and Joint Pavement Design*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide A Manual of Practice*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *Pavement Management Guide*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2013). *Practical Guide to Cost Estimating*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACPA. (2012). *Windows Pavement Analysis Software (WinPAS) Guide*. Washington D.C.: American Concrete Pavement Association.
- Asphalt Institute. (1982). *Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual* (Novena ed.). The Asphalt Institute.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la Regularidad Superficial de Pavimentos mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*. San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Barrantes, R., Badilla, G., & Sibaja, D. (2010). Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la Red Vial Nacional de Costa Rica. *Ingeniería*, 109-119.
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Costa Rica. (1972). *Ley General de Caminos Públicos, No 5060 del 22 de agosto de 1972 y sus Reformas*. Costa Rica.
- Crespo, R., & Yarza, P. (s.f.). *El HDM-4 como herramienta de ayuda para la Conservación de Carreteras*. Madrid.
- Dirección General de Educación Vial. (2015). *Manual del Conductor* (Novena ed.). San José, C.R.: EUNED.
- Elizondo, F. (2009). Establización y mejoramiento de rutas no pavimentadas. *Infraestructura Vial*(21), 49-55.
- FHWA. (1992). *Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations*. Washington D.C.: Federal Highway Administration U.S.A.
- FHWA. (2006). *Geotechnical Aspects of Pavements*. Washington D.C.: Federal Highway Administration U.S.A.
- FHWA. (2016). *Portland Cement Concrete Pavements Research - Thermal Coefficient Of Portland Cement Concrete*. Obtenido de Federal Highway Administration Research and Technology: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/thermal.cfm>
- Figueroa, A., Flores, C., León, M., Muñoz, E., Ojeda, B., Reyes, F., & Rodríguez, J. (s.f.). *Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado)*. Bogotá: Ministerio de Transporte de Colombia.
- Hoffman, C. (2007). *Modulus of Subgrade Reaction*. Obtenido de Pavement Interactive: [http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Modulus\\_of\\_Subgrade\\_Reaction](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Modulus_of_Subgrade_Reaction)
- Hoffman, C. (2007). *Plate Load Test*. Obtenido de Pavement Interactive: [http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Plate\\_Load\\_Test](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Plate_Load_Test)

- Hoffman, C. (2009). *Pavement Types/ Asphalt Concrete Base (ACB)*. Obtenido de Pavement Interactive: [http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Pavement\\_Types/Asphalt\\_Concrete\\_Base\\_%28ACB%29](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=Pavement_Types/Asphalt_Concrete_Base_%28ACB%29)
- Hoffman, C. (2009). *PCC Pavement*. Obtenido de Pavement Interactive: [http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=PCC\\_Pavement](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=PCC_Pavement)
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Segunda ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- INEC. (2013). *Anuario Estadístico 2011*. San José: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- LanammeUCR. (2008). Investigación en Infraestructura Vial: Determinación de factores camión en pavimentos en Costa Rica 2007. *Infraestructura Vial*(19).
- MIDEPLAN. (2012). *Guía Metodológica para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Vial en Costa Rica*. San José: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- MOPT. (2007). *Directriz DVOP-5170-07*. San José, C.R.: Dirección de Ingeniería.
- MOPT. (2009). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010*. San José, C.R.: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- MOPT. (2013). *Anuario de Información de Tránsito*. San José: Dirección de Planificación Sectorial.
- MOPT. (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- MOPT/GTZ, P. (1998). *Conservación de Caminos: Un modelo participativo*. San José: Sociedad Alemana de Cooperación Técnica GTZ.
- Muench, S. (2010). *HMA Pavement*. Obtenido de Pavement Interactive: [http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=HMA\\_Pavement](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=HMA_Pavement)
- Nichols, S. (2015). *Geotechnical Aspects of Pavements Reference Manual, Text Versions Of Graphs and Images*. Obtenido de Federal Highway Administration U.S.A.: <http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/alt.cfm>
- Orellana, A., & Huezo, H. (2009). *Guía Básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- PCA. (1975). *Joint Desing for Concrete Highway and Street Pavement*. Washington DC: Portland Cement Association.
- Pradena, M., & Posada, J. (2007). Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4. *Revista de la Construcción*, VI(1), 55-47.
- Rodríguez, N. (2014). *Cartago Provincia Nº 3 de Costa Rica*. Obtenido de Mapas de Costa Rica Blogspot: <http://mapasdecostarica.blogspot.com/2014/09/cartago.html>
- Sánchez, F. (2009). *Módulo 18 Evaluación de Pavimentos*. Obtenido de Escuela Colombiana de Ingeniería: [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%2018.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%2018.pdf)
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica de Centroamerica.
- SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- U.C.R. (2007). Comparación de diseños de pavimentos nuevos según AASHTO 93. *Infraestructura Vial*, 30-39.
- U.C.R. (2007). Evaluación empírico mecánica de las estructuras de pavimentos flexibles. *Infraestructura Vial*, 24-30.
- U.C.R. (2008). Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices. *Infraestructura Vial*, 34-45.

UTGVM. (2016). *Plan de Conservación y Desarrollo Vial Cantonal El Guarco 2016-2021*. Tejar de El Guarco: Municipalidad de El Guarco.