

**Estrategias de intervención para el problema de deformación superficial presente en la Ruta Nacional 2, sección de control 60012, estación 605+650 y la sección de control 60001, estación 350+080**

# Abstract

This project consists of the development of different intervention strategies to provide a solution to the main problem of surface deformation, as well as to the different pathologies that threaten the safety and comfort of users who pass through the sections of SC 60012, station 605 + 650 and the SC 60001 station 350 + 08 both corresponding to the National Route No.2 of the Costa Rican territory.

For an adequate selection of strategies, manual counts are carried out to finish the average daily traffic, weight controls for the readjustment of the truck factors and laboratory tests to the existing materials to later select the appropriate layer thicknesses through a structural design based on the AASHTO 1993 methodology and verified by mechanistic-empirical performance models with the help of 3D-MOVE software for flexible or semi-rigid pavements and AP-Rigid software for rigid pavement.

Finally, each alternative is compared in technical and economic terms through an initial investment budget, maintenance costs and the SWOT matrix with the intention of choosing the most suitable proposal according to the characteristics of each section.

For both routes, the appropriate intervention strategy corresponds to the partial profiling of the current asphalt layer and the placement of a new asphalt overlay modified with type III polymers.

Key words: pathologies, pavement, strategies, mechanistic-empirical, budget.

# Resumen

Este proyecto consiste en la elaboración de diferentes estrategias de intervención para brindar solución al principal problema de deformación superficial, así como a las diferentes patologías que atentan contra la seguridad y confort de los usuarios que transitan por los tramos de SC 60012, estación 605 + 650 y la SC 60001 estación 350 + 08 ambas correspondientes a la ruta Nacional No.2 del territorio costarricense.

Para una adecuada selección de las estrategias, se realizan conteos manuales para determinar el tránsito promedio diario, controles de peso para el reajuste de los factores camión y ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales existentes, para después, dimensionar los espesores de capa mediante un diseño estructural basado en la metodología AASHTO 1993 y comprobados mediante modelos de desempeño mecánico-empírico con ayuda del software 3D-MOVE para pavimentos flexibles o semi-rígidos y el software AP-Rigid para pavimento rígido.

Por último, cada alternativa es comparada en términos técnicos y económicos por medio de un presupuesto de inversión inicial, costos de mantenimiento y una matriz FODA, con el fin de elegir la propuesta más apta según las características propias de cada tramo.

Para ambos tramos y con base en la información recabada, se considera que la estrategia de intervención más adecuada corresponde al perfilado parcial de la carpeta asfáltica actual y la colocación de una nueva sobre capa de asfalto modificado con polímeros del tipo III.

Palabras clave: patologías, pavimento, estrategias, AASHTO 1993, mecánico-empírico, presupuesto.

# **Estrategias de intervención para el problema de deformación superficial presente en la Ruta Nacional 2, sección de control 60012, estación 605+650 y la sección de control 60001, estación 350+080**

DIEGO ALEXÁNDER PORRAS CASTRO

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

Agosto de 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Sonia Vargas Calderón, Ing. Sergio Fernández Cerdas, Ing. Irving Pizarro Marchena, Ing. Alejandro Medina Angulo, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

SONIA  
VARGAS  
CALDERON  
(FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
SONIA VARGAS  
CALDERON (FIRMA)  
Fecha: 2021.09.08  
13:07:41 -06'00'

---

Ing. Sonia Vargas Calderón.  
En representación del Director

SERGIO  
FERNANDEZ  
CERDAS (FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
SERGIO FERNANDEZ  
CERDAS (FIRMA)

---

Ing. Sergio Fernández Cerdas.  
Profesor Guía

IRVING  
JORHANY  
PIZARRO  
MARCHENA  
(FIRMA)

Assinado de forma  
digital por IRVING  
JORHANY PIZARRO  
MARCHENA (FIRMA)  
Datos: 2021.09.08  
13:49:21 -06'00'

---

Ing. Irving Pizarro Marchena.  
Profesor Lector

EZEQUIEL  
ALEJANDRO  
MEDINA  
ANGULO  
(FIRMA)

Digitally signed by EZEQUIEL  
ALEJANDRO MEDINA ANGULO  
(FIRMA)  
Date: 2021.08.14 09:54:59 -06'00'

---

Ing. Alejandro Medina Angulo.  
Profesor Observador

Palmar Norte, 25 de setiembre de 2021

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Presente

Respetados señores

Hago constar que el estudiante, **DIEGO ALEXÁNDER PORRAS CASTRO**, cédula **6-0428-0827**, me encargó la revisión de estilo de su trabajo de investigación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El título de este trabajo es:

**ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PARA EL PROBLEMA DE DEFORMACIÓN SUPERFICIAL PRESENTE EN LA RUTA NACIONAL 2, SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650 Y LA SECCIÓN DE CONTROL 60001, ESTACIÓN 350+080**

El citado documento cumple con los requisitos de un texto con esta naturaleza en los diversos componentes del código escrito (diferentes niveles de discursos: capítulos, apartados, párrafos, periodos) semánticos (significado de las palabras) léxico (vocabulario) y morfosintáctico (funciones y relaciones de elementos oracionales).

Se deja constancia, que el autor hace uso correcto de los distintos elementos relacionados con la elaboración de un trabajo de investigación.

En síntesis, el documento sometido a nuestra consideración satisface todas las exigencias de un trabajo final de graduación.

Atentamente,

  
Lic. Jairo Vargas Rodríguez  
Cédula 1 – 1087 – 228  
Celular 8720 – 1650  
Carnet 26937



# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Marco Teórico.....	8
Metodología .....	28
Resultados .....	49
Análisis de los resultados .....	109
Conclusiones.....	128
Recomendaciones .....	130
Apéndice .....	131
Anexos .....	205
Referencias .....	247

## Lista de nomenclatura y siglas.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

**CAUE:** Costo Anual Uniforme Equivalente.

**CBR:** California Bearing Ratio (Relación de Soporte de California).

**CONAVI:** Consejo Nacional de Viabilidad.

**CRCP:** Continuously Reinforced Concrete Pavements (Pavimento de Concreto Reforzado Continuamente).

**EEQ:** Ejes Equivalentes de Diseño.

**EMA:** Etileno Metil Acrilato.

**EPDM:** Etileno Propileno Dieno tipo M.

**EVA:** Etileno Vinil Acetato.

**FWD:** Falling Weight Deflectometer (Deflectómetro de Impacto)

**FODA:** Fortaleza Oportunidad Debilidad Amenaza.

**G<sub>mb</sub>:** Gravedad Específica Bruta Compactada.

**G<sub>mm</sub>:** Gravedad Específica Máxima Teórica.

**ITP:** Ingeniería Técnica de Proyectos.

**JPCP:** Jointed Plain Concrete Pavements (Pavimento de Concreto Hidráulico Simple con Dovelas).

**JRPC:** Jointed Reinforced Concrete Pavements (Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas)

**Lanamme:** Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

**LEF:** Load Equivalent Factor (Factor Equivalente de Carga).

**MAC:** Mezcla Asfáltica en Caliente.

**MAV:** Manual de Auscultación Visual.

**MOPT:** Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

**MVD:** Máximo Valor Deducido.

**MVDC:** Máximo Valor Deducido Corregido.

**PCA:** Portland Cement Association.

**PCI:** Pavement Condition Index. (Índice de Condición del Pavimento).

**PE:** Polietileno.

**PSI:** Pavement Service Index (Índice de Servicio del Pavimento).

**SC:** Sección de Control.

**SB:** Caucho Estireno-Butadieno

**SBR:** Caucho Estireno-Butadieno

**SHRP:** Strategic Highway Research Program (Programa de Investigación Estratégica de Carreteras).

**TEC:** Tecnológico de Costa Rica.

**TPD:** Tránsito Promedio Diario.

**UCR:** Universidad de Costa Rica.

**UM:** Unidad de Muestra.

**VDT:** Valor Deducido Total.

# Prefacio

Como parte de las carreteras clasificadas como rutas primarias, según el Anuario de Información de Tránsito del año 2020, publicado por la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), la Ruta Nacional No.2 se clasifica como primaria, lo que la cataloga como una ruta de alta prioridad. Esta ruta se extiende desde la provincia de San José hasta Paso Canoas (frontera sur del país), lo que la convierte en una ruta de gran importancia para el desarrollo de la economía costarricense debido a que es utilizada para la exportación e importación de productos.

La Ruta Nacional No. 2, sección de control SC 60012, límite Cantonal Osa/Golfito (Río esquinas)- Río Claro (Ruta 14), Estación 605+650, es un tramo conocido coloquialmente como "km 35 Puesto de control". En el sector mencionado se realiza un control policial para fiscalizar las mercancías que transportan tanto vehículos livianos como articulados, especialmente para evitar el trasiego ilegal de productos o sustancias debido a las cercanías con la frontera a Panamá. Las largas filas de vehículos detenidos esperando pasar el control policial, ha provocado condiciones especiales de velocidad de carga y frenado diferentes a la totalidad de la ruta.

Por otra parte, en la sección de control 60001, estación 350+080 de la ruta nacional No.2, por cuestiones sanitarias, se encuentra una estación de fumigación para todo tipo de vehículo proveniente de Panamá y que desee ingresar a Costa Rica, donde también se generan filas de vehículos, especialmente articulados y que al igual que como sucede en el tramo de la SC 60012, se dan condiciones distintas de velocidad de carga y acelerado/frenado.

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), encargado de controlar la conservación y la construcción del sistema vial nacional, realizó una inspección en mayo de 2020, encontrando en el sitio daños en la superficie de rodamiento por deformación, la cual urge intervenir por su clasificación de riesgo y su alto nivel de severidad, con roderas de profundidades mayores a los 25 mm.

Por lo anterior, este proyecto surgió ante la necesidad de investigar sobre las condiciones del sitio, las propiedades de los materiales utilizados, además de analizar la influencia del tránsito en relación con la aparición de roderas, el desplazamiento de mezcla, pulimiento y desprendimiento de agregados presente.

Una vez conocidos los motivos de las patologías en campo, este proyecto buscó crear alternativas de intervención para los tramos afectados, esto mediante el diseño de espesores de la estructura de pavimento, basado en la metodología de diseño AASHTO 1993 y la revisión de modelos de desempeño mecánico-empíricos; posteriormente se determinó el costo de inversión inicial de cada estrategia y se realizó una comparación en términos técnicos y económicos con el fin de darle una correcta rehabilitación a las rutas, en beneficio de la seguridad y confort de quienes transitan.

Quiero agradecerle a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias, a mis padres por siempre guiarme durante toda esta etapa universitaria, así como un sincero agradecimiento a la empresa constructora Meco S.A, al Ingeniero Hermes Bonilla e Ingeniero Sergio Fernández, por el asesoramiento y los consejos durante el desarrollo de este proyecto.

# Resumen ejecutivo

En Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) es el ente encargado de la gestión, regulación y control de las obras de infraestructura pública y servicios de transporte eficientes y seguros para el desarrollo sostenible del país. Como parte de la infraestructura vial que pertenece a la Ruta Nacional No.2, se ubica la sección de control 60012 “Límite cantonal Osa/Golfito (R. Esquinas)-Río Claro (R.14)”, estación 605+650 y SC 60001 “Ciudad Neilly (R.327) (R.608)-Paso Canoas (R.238) (frontera Sur), estación 350+080.

En año 2020, las rutas mencionadas anteriormente, fueron sometidas a inspección por la administración vial, encontrándose para ambos tramos problemas de deformación en la superficie de rodadura, con severidades catalogadas como altas y con larga extensión.

El mantenimiento y la rehabilitación de los sitios afectados por esta patología actualmente se encuentran a cargo de la empresa constructora Meco S.A, debido a la adjudicación de la licitación pública 2014LN-000018-OCV00. Por lo anterior, este proyecto consistió en brindar a la empresa Constructora Meco, dos estrategias de intervención para los problemas que actualmente afectan a la estructura de pavimento en cada tramo evaluado.

Para lograr un buen trabajo fue necesario inicialmente realizar la auscultación visual, siguiendo los lineamientos del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016) para determinar las patologías que actualmente están presentes en ambos tramos, encontrándose en la SC 60012, estación 605+650 problemas de roderas, exudación, desplazamiento de mezcla y pulimiento con severidades que van desde bajas hasta altas, lo que dio como resultado un Índice de Condición de Pavimento (PCI) de 35

puntos, entrando en una clasificación de estado Muy pobre.

Para el caso de la SC 60001 estación 350+080, las principales patologías encontradas fueron las roderas, exudación, desplazamiento de mezcla y desprendimiento de agregados con severidad y extensión menores a las encontradas en la SC 60012 por lo que el PCI asociado fue de 49,5 puntos, para clasificar este tramo como pobre en términos funcionales.

Se realizaron estudios para caracterizar las condiciones estructurales y funcionales de los materiales mediante sondeos de extracción de núcleos de mezclas asfálticas (ASTM D 5361), Granulometría de extracción (AASHTO T 30), Límite de Atterberg para subrasante, base granular y sub-base granular (ASTM D 4318), CBR para subrasante, base granular y sub-base granular (ASTM D 1883), Proctor estándar (ASTM D 698) además de ensayos de contenido de asfalto (AASHTO T 308), gravedad específica de pastillas compactadas (AASHTO T 166) y gravedad específica máxima teórica T 209.

A partir de los resultados de laboratorio realizados a los materiales granulares, fue posible comprobar que los suelos existentes cumplen con los parámetros descritos en el Manual CR-2010, por lo tanto, se descartó que las patologías presentes en ambos tramos estuvieran relacionadas con problemas en la base, sub-base o subrasante.

Los parámetros volumétricos obtenidos de la mezcla asfáltica fueron comparados con los valores aprobados en el diseño inicial de los tramos, encontrándose para la MAC de la SC 60012 un contenido de asfalto igual a 6.51%, valor que se encuentra por arriba del valor de diseño óptimo (5.7%) y por encima de la especificación (5.20 %- 6.20%) lo que indica un exceso en el

contenido de asfalto y es una de las causantes en la aparición de roderas y del desplazamiento de mezcla presente. En este mismo tramo, los vacíos de aire corresponden a 2.42%, siendo este un número bajo respecto al 4% óptimo indicado en el diseño inicial y también por debajo de la especificación en campo (3% -7%), por lo tanto, se pudo identificar que, tal y como era de esperarse, un alto contenido de asfalto repercute en una disminución de los vacíos de aire, debido a que el espacio vacío es ocupado por asfalto que sella la MAC, además, el peso de los vehículos que circulan por este tramo también ha provocado que la mezcla se encuentre con altos valores de compactación, sin embargo, el valor de 97.6 % de compactación actual es aceptable, ya que según la Sección 405.11 del CR-2010, la compactación en campo permitida se encuentra en un rango del 92%-97%.

Sobre la SC 60001, el contenido de asfalto corresponde a un 6.01% también por encima del valor óptimo (5.7%) lo que indica la presencia de cierto asfalto en exceso (0.31%), pero dentro del rango aceptable (5.20%-6.20), sin embargo, este exceso no deja de estar relacionado a la aparición de roderas y exudación en este tramo. Los vacíos de aire en la mezcla son de 4.1% solo 0.1% arriba del 4% óptimo, lo cual es aceptable. La compactación en campo es del 95.9%, lo cual es aceptable tomando como parámetro el valor máximo permitido del 97% y el mínimo del 92% establecido en la sección 405.11 de la especificación Nacional CR-2010.

Por otra parte, se investigó sobre la condición estructural del pavimento a través del ensayo de deflectometría por impacto (ASTM 4694), donde las deflexiones registradas por el primer geófono fueron comparadas con los rangos de deflexiones categorizados por LanammeUCR obteniendo deflexiones por debajo de los 76.5 mm  $\times 10^{-2}$  para prácticamente la totalidad de ambos tramos.

Los números estructurales retrocalculados fueron de 6.1 para la sección de control 60012 y 4.2 para la sección de control 60001, además, para ambos sitios estudiados los módulos de rigidez retrocalculados arrojaron resultados típicos de materiales granulares de buena calidad, pero a diferencia de los demás materiales, el módulo de

rigidez de la carpeta asfáltica en la SC 60012 corresponde a 353 158 psi y en la SC 60001 es de 239 227 psi lo cual indica una pérdida en la rigidez de la mezcla comparada con el módulo de rigidez típico de las mezclas asfálticas convencionales. Esta pérdida en la rigidez es en cierta parte a causa de las altas temperaturas (mayor a 30 °C) presentes en los tramos, lo que ha provocado un ablandamiento en la MAC debido a que el ligante asfáltico convencional no combate de manera apta ni la temperatura ni las condiciones de operación distintas a la totalidad de la ruta. Los estudios realizados recomiendan el uso de un ligante asfáltico de alto desempeño PG76.

Como parte de la actualización de los datos de diseño, los factores camión fueron ajustados a las solicitudes actuales mediante conteos manuales realizados durante cinco días en la SC 60012 y un día en la SC 60001, esto para conocer el Transito Promedio Diario (TPD). También se realizaron controles de peso para establecer las cargas, así como el daño al cual son sometidas las estructuras, encontrándose para la SC 60012 factores camión mayores a los establecidos en el diseño inicial, además de factores por arriba del peso permitido según el decreto ejecutivo N°31363-MOPT. El exceso de cargas presente en el tramo afectado sobre la SC 60012 también se encuentra relacionado con la creación de roderas y el acelerado deterioro que presenta la carretera.

Sobre el control de peso realizado sobre la SC 60001 se encontró que los vehículos tipo T3-S2, T2-S2 y C3 poseen factores camión mayores a los establecidos en el diseño inicial, sin embargo, ninguno de los vehículos evaluados superó los factores camión establecidos en el decreto, por lo que se determinó que no existe un exceso de carga y que los vehículos que entran al país cumplen la regulación de pesos, sin embargo, los diseños actuales se encuentran desajustados con respecto a las condiciones de carga utilizadas en el diseño inicial.

Debido a que, en ambas rutas afectadas, los diseños iniciales estuvieron enfocados en la generalidad del proyecto en términos de cargas y velocidades, no se consideraron las condiciones especiales de aplicación de carga y la acción acelerado/frenado que se presentan y la poca

oposición del cemento asfáltico colocado, influyendo en la creación de roderas.

Con respecto al diseño estructural de espesores, fue posible comprobar que la capacidad estructural requerida para un periodo de diseño de 8 años, es cubierta con el paquete estructural actual, por lo tanto, las cuatro propuestas de intervención evaluadas buscan cubrir las deficiencias funcionales encontradas.

Se determinó que la mejor estrategia de intervención para ambas rutas, corresponde al perfilado parcial de 5 cm de profundidad a la carpeta actual y la colocación de una sobrecapa de mezcla asfáltica con polímeros del tipo III, esto

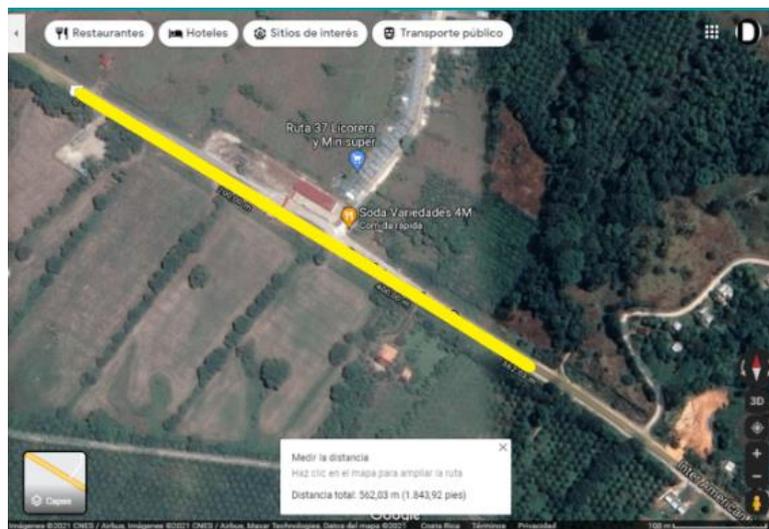
porque al perfilar las roderas se elimina la superficie dañada, dejando únicamente el espesor de MAC sana, la cual sería aprovechada, además, con el uso de una sobrecapa de asfalto modificado con polímeros del tipo III, se aumenta la rigidez de la capa más superficial, se puede combatir el tema de la temperatura alta, las magnitudes de carga alta, las bajas velocidades de carga y se puede controlar la amenaza de reflexión de grietas con una Geogrilla. Otra de las razones por la cual esta es la mejor opción, se basa en que representa un costo de inversión inicial bajo que corresponde a  $\$71\,835\,616.84$  colones para el tramo de la SC 60012 y de  $\$4\,740\,264.62$  colones para el segmento de la SC 60001.

# Introducción

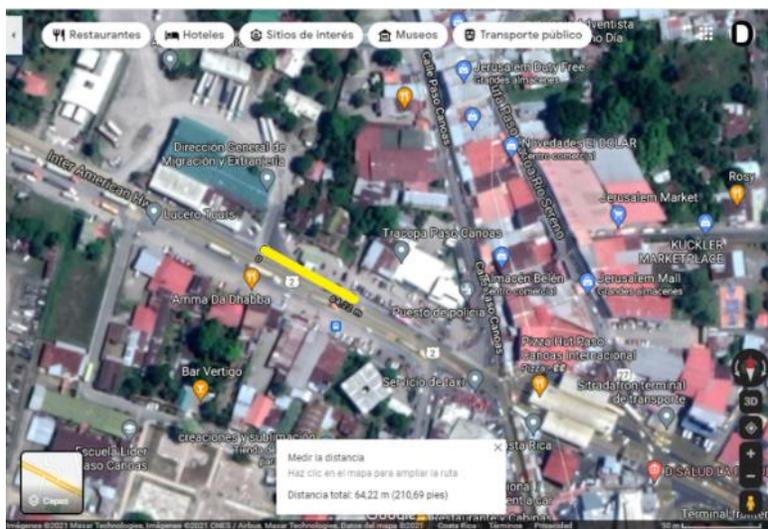
Las principales carreteras sobre el territorio costarricense están divididas en tres grandes grupos: rutas primarias, rutas secundarias y rutas terciarias. Las rutas primarias son de alto volumen de tránsito, conectan principalmente zonas de la Gran Área Metropolitana con fronteras, puertos y zonas de industriales, por lo que son de gran importancia dentro del desarrollo económico del país.

Como parte de las rutas primarias, el país cuenta con la Ruta nacional No.2 “Carretera

Interamericana Sur”, la cual atraviesa las provincias de San José, Cartago y Puntarenas, hasta llegar a la frontera con Panamá. Dentro de esta ruta se encuentran la SC 60012 “Límite cantonal Osa/Golfito (R. Esquinas)-Río Claro (R.14)”, estación 605+650 correspondiente a una longitud total de 562 m y la SC 60001 “Ciudad Neilly (R.327) (R.608)-Paso Canoas (R.238) (frontera Sur), estación 350+ 080 con un tramo de 64 m afectados.



**Figura 1.** Ubicación RN<sup>o</sup>2, sección de control 60012, estación 605+650.  
Coordenadas: 8°42'52.5" N 83°09'13.9"W.  
Fuente: Google maps, 2021.



**Figura 2.** Ubicación RN<sup>o</sup>2, sección de control 60001, estación 350+080.  
 Coordenadas: 8°32'05.4" N 82°50'24.6W  
 Fuente: Google Maps, 2021.

El consorcio Vieto-Poligonal-IAA-Lauher, mediante el Oficio AV-(4-3)-2020-079, menciona sobre la presencia de problemas de deformación en la superficie del tramo de la figura 1, con ahuellamientos de más 25 mm de profundidad, además, mediante inspecciones en campo realizadas por ingenieros de la zona, se ha identificado la presencia de patologías como desplazamiento de mezcla, exudación y pulimiento.

Para el caso de la sección de control 60001, estación 350+080 representada en la figura 2 también se identificaron patologías como roderas, exudación, desplazamiento de mezcla y desprendimiento de agregados, con severidades menores a las del tramo en la sección de control 60012.

Por lo anterior, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) ha solicitado a la empresa Constructora Meco S.A, a quien se le adjudicó la licitación Pública 2014LN-000018-0CV00 "Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada" la pronta intervención debido a que las condiciones actuales atentan contra la funcionalidad y durabilidad de la carretera, además de que son rutas fundamentales para la

importación y exportación de productos con Panamá.

En vista de lo antes anotado, el objetivo principal de este proyecto está basado en la creación de estrategias de intervención para el problema de deformación superficial presente en la Ruta Nacional No.2 sección de control 60012, estación 605+650 y la sección de control 60001, estación 350+080, para ello, inicialmente se propuso realizar un levantamiento de deterioros, tanto en extensión como en severidad, de acuerdo con lo establecido en la Norma ASTM D-6433, con el fin de determinar el índice de condición de pavimento.

Seguidamente se realizó la caracterización estructural y funcional de los materiales como parte del diseño de la estructura de pavimento, según lo establecido en las normas nacionales vigentes. Para este proyecto también se consideró determinar el tránsito promedio diario y analizar la influencia de las cargas vehiculares por medio de conteos manuales y la estimación de factores camión ajustados a las condiciones actuales, esto para efectuar un análisis de las principales causas del problema y ser tomadas en consideración para la elaboración del diseño estructural del pavimento basado en la

metodología de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) y criterios de diseño Mecánico-empíricos.

Una vez establecido todo lo anterior se realizó un análisis de costos para determinar la estrategia más factible por construir en términos técnicos y económicos con información basada en precios de conservación de la red vial nacional pavimentada, estipulados en la licitación Pública No. 2014LN-000018-0CV00.

# Marco Teórico

## Pavimento.

Los pavimentos son definidos como un conjunto de capas superpuestas de manera horizontal, las cuales deben ser diseñadas considerando el uso adecuado de materiales y una correcta compactación, además, tienen la función de resistir los esfuerzos generados por las cargas del tránsito. (Tacza & Rodríguez, 2018).

Para Castro (2020) la estructura de pavimento debe ser diseñada para proveer una superficie de rueda cómoda, segura y durable ante las cargas de tránsito y condiciones ambientales a las que podría ser expuesta.

## Tipos de pavimentos.

Los pavimentos son clasificados en tres categorías con base en los módulos de rigidez de las capas que la componen:

1. **Pavimentos Flexibles.**
2. **Pavimentos Semi rígidos**
3. **Pavimentos Rígidos.**

## Pavimento Flexible.

**Este es un tipo de pavimento conformado por una capa de rodadura compuesta por agregados pétreos y cemento asfáltico. La carpeta asfáltica es comúnmente apoyada sobre una capa de material base granular y una sub-base granular, a su vez, todo el paquete estructural descansa sobre la subrasante.**

Castro (2020) menciona las siguientes ventajas de un pavimento flexible:

1. **Menor costo de inversión.**
2. **Mayor facilidad de rehabilitación/reconstrucción.**
3. **Mayor facilidad para trabajos diferidos.**

Generalmente el módulo de rigidez del concreto asfáltico de la capa superficial se encuentra entre 300 000 psi (2 068 427 kPa) y 500 000 psi (3 447 379 kPa), para el caso de una base granular entre 18 000 psi - 35 000 psi (124 106 kPa - 241316.51 kPa) y para un material de subbase entre 8 000 psi (55 158 kPa) hasta 20 000 psi (137 895 kPa) (Castro, 2020).

## Pavimento semi rígido.

**Al igual que en el pavimento flexible la superficie de rodadura es conformada por materiales pétreos y cemento asfáltico, sin embargo, un pavimento semi rígido se caracteriza por estar conformado por una base estabilizada con cemento, esto genera que la rigidez de la capa aumente y alcance valores mayores a los de la carpeta asfáltica.**

El aumento en la rigidez de la base permite que se disminuya el espesor de la carpeta, sin embargo, esto puede ser contraproducente, debido a una susceptibilidad al agrietamiento por contracción.

## Pavimento Rígido.

Los Pavimentos rígidos son diferenciados del resto por poseer una superficie de rueda en concreto hidráulico (losa). Según Hurtado (2016), los pavimentos rígidos pueden ser colocados directamente sobre el suelo de la subrasante, pero, es común colocar material granular para base o sub-base, de esta manera se sella el suelo y se evita el contacto directo con finos provenientes de la subrasante.

Algunas de las ventajas, según (Castro, 2020):

1. **Menor costo de mantenimiento con respecto al pavimento flexible.**

2. Los altos módulos de rigidez del concreto hidráulico permiten menores espesores en las capas de soporte.

Los pavimentos rígidos son diseñados con juntas longitudinales y transversales que permiten el amarre entre las losas y una transferencia efectiva de cargas. Este tipo de pavimento es clasificado en las siguientes categorías:

1. Pavimento de Concreto Simple con Dovelas (JPCP): es caracterizado por un funcionamiento a través de dovelas o dependiendo de las características de los agregados, la transferencia de cargas puede darse por angularidad sin necesidad de dovelas.
2. Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP): utilizan dovelas para la transferencia efectiva de carga, permite un mayor espaciamiento entre las juntas y acepta cierto nivel de agrietamiento, siempre y cuando sea sellado para evitar la entrada de agua.
3. Pavimento de Concreto Reforzado Continuamente (CRCP): se caracteriza por ser un pavimento con malla de refuerzo continuo que toma esfuerzos de contracción y expansión de la losa y permite menores espesores en la capa de rodamiento.

## Tipos de deterioros o fallas en los pavimentos

Los deterioros asociados a los pavimentos flexibles y semi-rígidos son diferentes a los deterioros presentes en los pavimentos rígidos, esto debido a que para el caso de los flexibles y semi rígidos la capa de rueda está conformada por cemento asfáltico, mientras que para el caso de los rígidos se conforman por una losa de cemento hidráulico, por lo tanto, el comportamiento varía.

Dicho lo anterior, a continuación, se detallan los deterioros para los pavimentos flexibles y semi rígidos.

### Agrietamiento por fatiga o piel de cocodrilo

Barrera (2014) define la piel de cocodrilo como fisuras o grietas interconectadas que forman

polígonos de tamaño variable. Las fisuras se expanden formando piezas angulares, las cuales generalmente tiene un diámetro promedio menor a 30 cm (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

La Universidad Nacional de Colombia (2006), en el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, menciona que la falla más usual es el agrietamiento por fatiga en la estructura o en la carpeta asfáltica, esto debido a los siguientes motivos:

1. Una mala compactación de las capas granulares o asfálticas.
2. Deformaciones de la subrasante.
3. Espesor de la estructura insuficiente.
4. Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica.
5. Problemas de drenaje.

En Costa Rica, el Ministerio Obras Públicas y transportes recomienda en el Manual de auscultación Visual de Pavimentos (2016) evaluar el sistema superficial de drenaje con el fin de realizar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura. También se recomienda el uso de sellos o tratamientos superficiales y en el caso de severidad alta, bacheos o una sustitución de la capa asfáltica

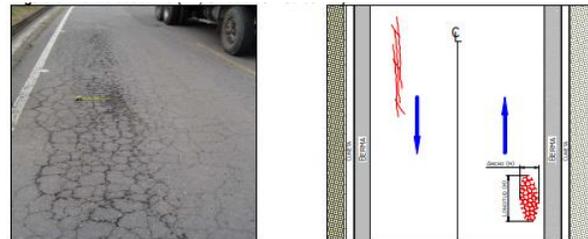


Figura 3. Agrietamiento po fatiga.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2006.

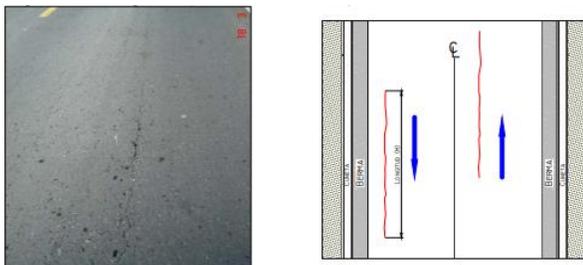
### Agrietamiento longitudinal-trasversal

Estas son grietas que indican que alguna de las capas está siendo sometida a tensiones, las cuales han superado la capacidad de resistencia del material. Estas grietas se generan en la misma dirección del tránsito o transversalmente (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

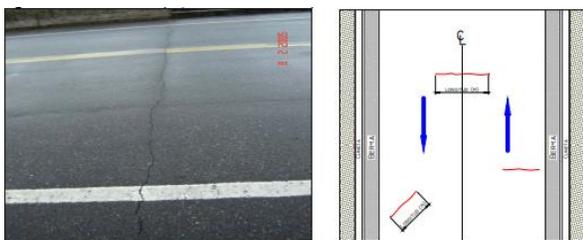
El Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica expone en el Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles (2002) las siguientes causas del agrietamiento longitudinal-trasversal:

1. Mala construcción de las juntas longitudinales.
2. Ligantes asfálticos envejecidos.
3. Reflejo de grietas en bases rígidas (base estabilizada).

Algunas de las posibles intervenciones son el sellado de fisuras y grietas, la evaluación del drenaje superficial o subdrenajes para ejecutar medidas de corrección o el bacheo en zonas puntuales.



**Figura 4.** Grietas longitudinales.  
Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2006.



**Figura 5.** Grietas transversales.  
Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2006.

## Agrietamiento por reflejo de juntas

Tipo de patología que se presenta en aquellos pavimentos asfálticos que han sido colocados sobre una capa de concreto construida por losas (Manual Auscultación de Pavimentos de Costa Rica, 2016).

La Universidad Nacional de Colombia, en el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006) expone como causa, los movimientos generados por las juntas, entre las placas de concreto rígido o de los bloques

formados por las grietas, que ya existen debido a cambios de temperatura o humedad.

Algunas de las posibles intervenciones son el sellado de grietas o fisuras y el bacheo.



**Figura 6.** Agrietamiento por reflejo de juntas.  
Fuente: Manual de Auscultación de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

## Grietas en bloque

Tipo de agrietamiento que se manifiesta como fisuras interconectadas formando piezas casi rectangulares con área variable entre 0.10 y 9.0 m<sup>2</sup>, causados por contracción de mezclas asfálticas debido a cambios de temperatura (Hurtado, 2016).

El Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016) menciona las siguientes causas posibles que generan esta patología.

1. Reflejo de grietas en capas estabilizadas.
2. Generalmente no está asociada a cargas vehiculares, sin embargo, dichas cargas aumentan la severidad de las fisuras.
3. Cambios diarios en la temperatura que generan contracción en la carpeta asfáltica y que la somete a ciclos diarios de esfuerzo/deformación.

Las principales intervenciones para dar solución a esta patología se basan en la colocación de sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o la sustitución de la carpeta asfáltica.



**Figura 7.** Agrietamiento en bloque.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica.

## Agrietamiento en arco

Hace referencia al tipo de grietas que se generan sobre la superficie de ruedo en forma de parábola o media luna y se dan en el sentido de viaje de los vehículos.

Este deterioro se presenta debido a la combinación de una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una mala adherencia entre la superficie y la capa colocada por debajo de la misma. La presencia de polvo durante el riego de emulsión asfáltica, la falta de riego de liga o el exceso de emulsión pueden provocar este tipo de patología (Hurtado, 2016).



**Figura 8.** Agrietamiento en arco.

Fuente: Barrera, 2014.

## Roderas/Ahuellamiento

Las roderas hacen referencia a un tipo de deterioro generado por una depresión localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Aquellos

roderas de alta severidad pueden provocar una falla estructural y posibilidad de hidropilano debido a que cuando llueve, las roderas se llenan con agua (Universidad Nacional de Colombia, 2002).

Las roderas pueden estar relacionadas con deformaciones permanentes de cualquier capa del pavimento o incluso la subrasante, por lo que es importante revisar esfuerzos y deformaciones en las diferentes capas e identificar aquellas que podrían estar en malas condiciones

Las posibles causas de estas depresiones, según el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016) son:

1. Inestabilidad en la base o subbase debido a una presión o saturación de agua.
2. Sobrecarga y/o altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño.
3. Compactación deficiente de las capas.
4. Materiales no apropiados o de mala calidad.

Las posibles intervenciones por considerar son los tramientos superficiales, sellos asfálticos, bacheos, colocación de una sobrecapa asfáltica o la sustitución de la superficie de ruedo.



**Figura 9.** Roderas/Ahuellamiento.

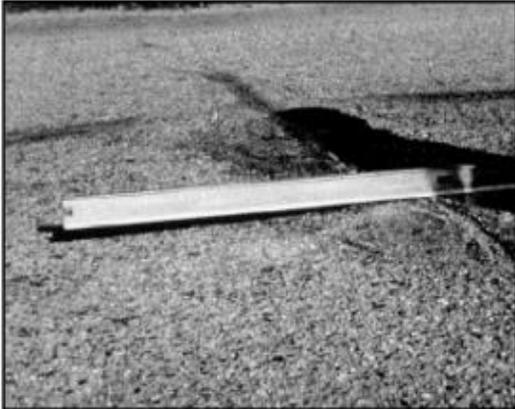
Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos, 2016.

## Abultamientos y Hundimientos

Los abultamientos son elevaciones de la carpeta asfáltica, usualmente pequeños y localizados, mientras que los hundimientos son desplazamientos hacia abajo.

Algunas de las posibles causas indicadas en el Manual de Auscultación de pavimentos de Costa Rica son:

1. La acción del tránsito.
2. Mala calidad de los materiales.
3. Levantamientos ocasionados por raíces, alcantarillas u otros.
4. Mala compactación de los materiales.



**Figura 10.** Abultamiento.

Fuente. Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica.

## Corrugación

La corrugación es definida en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016) como un conjunto de crestas y valles que se dan en intervalos regulares en dirección perpendicular al tránsito.

Este deterioro puede ser causado por la acción del tránsito, inestabilidad en la base y subbase debido al agua, malas técnicas de compactación o mala calidad en los materiales.



**Figura 11.** Corrugación.

Fuente. Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016).

## Hinchamiento

Caracterizados por un abultamiento en la capa superficial del pavimento. El Hinchamiento se expande generando una onda de más de 3 metros de extensión. Una posible causa de este deterioro es la presencia de suelos expansivos.

Como posibles intervenciones se recomienda la evaluación de los sistemas de drenaje y sub drenaje e identificar si es necesario aplicar acciones correctivas, el bacheo, la sustitución de la carpeta asfáltica y la esbilización de la capa granular (Manual de Auscultación Visual de Pavimentos, 2016).

## Corrimiento/desplazamiento de la mezcla

Identificado como un desplazamiento longitudinal causado por cargas vehiculares que generan una onda abrupta localizada en un área de la superficie de pavimento. Otra posible causa de esta patología es un inadecuado riego de emulsión asfáltica (Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016).

Para deterioros con una severidad alta se recomienda el bacheo o la sustitución de la capa asfáltica.



**Figura 12.** Desplazamiento de la mezcla.

Fuente. Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016).

## Exudación

Patología que se presenta como un afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie de ruedo. Visualmente la superficie de pavimento se nota brillante, resbaladiza y pegajosa (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

Barrera (2014) asocia este deterioro con un exceso de ligante asfáltico, el uso de ligantes blandos, bajos contenidos de vacíos o exceso en el riego de liga.

En el caso de severidad bajo, se recomienda una intervención con sello de arena o polvo de piedra, mientras que para el caso de severidad alta, realizar una sustitución de la capa asfáltica.



**Figura 13.** Exudación.

Fuente. *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016)*.

## Pulimientto de agregados

Se manifiesta con la presencia de agregados con caras planas o la ausencia de agregados angulares en la superficie de pavimento. Esta condición afecta la resistencia al deslizamiento (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

Algunas de las causas que generan dicha condición están relacionadas con un deficiente recubrimiento de cemento asfáltico sobre las partículas de agregado, el uso de rocas calizas o el desgaste de la película del ligante, lo cual provoca una exposición de los agregados y por consiguiente, se genera un pulimientto por abrasión (Barrera,2014).



**Figura 14.** Pulimientto de agregados.

Fuente. *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016)*.

## Desprendimiento de agregados

Visualmente se identifica un desprendimiento de partículas de agregado grueso.

Según Barrera (2014) esta patología se encuentra relacionada a una mala adherencia entre el agregado y el ligante asfáltico, lluvia durante el tendido del pavimento, mala selección del ligante para la mezcla asfáltica, ejecución de la obra en condiciones muy frías o húmedas.



**Figura 15.** Desprendimiento de agregados.

Fuente. *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016)*.

## Escalonamiento.

Determinado como una diferencia de elevación entre la calzada y el espaldón. Generalmente este deterioro se asocia con la erosión del espaldón, el asentamiento del espaldón o un aumento en el espesor de la estructura de pavimento sin ajustar

el nivel del espaldón (Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016).

Para todos los niveles de severidad se recomienda la nivelación del espaldón cuando el escalonamiento es causado por problemas de erosión o en la fundación.



Figura 16. Escalonamiento.

Fuente. Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016).

## Baches

Definidos por el Manual de Auscultación de pavimentos de Costa Rica (2016), como un área de pavimento reemplazada con material nuevo, con el fin de reparar un daño existente en la estructura.



Figura 17. Bache.

Fuente. Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016).

## Evaluación de Pavimentos

### Índice de Condición de Pavimentos (PCI)

El Índice de Condición de Pavimento (PCI por sus siglas en inglés), es un procedimiento basado en la norma ASTM D- 6433, el cual indica la forma adecuada para la evaluación del estado del pavimento, sea flexible o rígido, con el fin de cuantificar la condición de este en términos funcionales mas no estructurales. El PCI representa el juicio colectivo de los ingenieros de mantenimiento de pavimentos y es una medida indirecta de la integridad estructural (no de capacidad) y de los indicadores de la condición funcional del pavimento, como la rugosidad.

El método se basa en valores deducidos, estos van del 1-100 y castigan al tipo de deterioro superficial según su nivel de severidad y magnitud. (Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016).

La condición del Pavimento es medida con una escala de clasificación y colores sugeridos que va de 0 a 100, siendo 0 la peor condición (pavimento fallado), la nota de 100 corresponde a un pavimento clasificado como bueno.

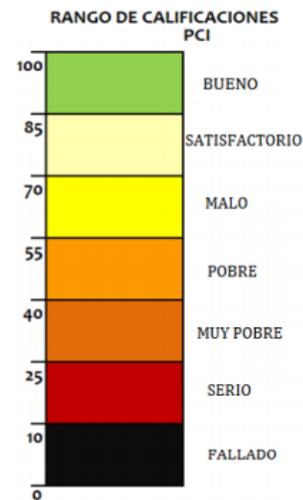


Figura 18. Rangos de clasificación de Pavimentos según el PCI.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

Este trabajo tomó como referencia los procedimientos establecidos en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV-2016) para determinar las Unidades

de Muestreo, realizar el levantamiento de deterioros y calcular el valor del PCI.

Dicho lo anterior, se presentan las ecuaciones y tablas necesarias para determinar las unidades de muestreo para el caso de pavimentos flexibles:

- Longitud de las unidades de muestreo.

Ancho de Calzada (m)	Longitud de UM (m)
3,5 – 6,5	47
4,0 – 7,5	42
4,5 – 8,5	38
5,0 – 9,0	35
5,5 - 10 máx.	31

Figura 19. Longitud de las unidades de muestreo.  
Fuente: MAV, 2016.

- Número Total de Unidades de Muestra (N).

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}}$$

**Ecuación 1.** Número Total de unidades de Muestra.  
Fuente: MAV, 2016.

- Número Mínimo de Unidades a Evaluar (n)

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

**Ecuación 2.** Número mínimo de Unidades a evaluar.  
Fuente: MAV, 2016.

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

E: Error admisible en la estimación del PCI de la sección (e=5%). (Este valor debe ser anotado en la ecuación como 5 y no como 5%)

σ: Desviación estándar del PCI entre unidades. Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar de 10 para pavimento flexible y de 15 para pavimento rígido. En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse, para asegurar el 95% de confiabilidad en los datos. Para estimar el valor real de la desviación estándar se utilizará la siguiente ecuación.

$$\sigma = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_s)^2}{m - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación 3.** Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Fuente: MAV, 2016.

PCI<sub>i</sub>: Valor del PCI de las unidades de muestra.

PCI<sub>s</sub>: Valor de PCI de la sección.

m: Número total de unidades de muestra medidas.

σ: Desviación estándar del PCI entre las Unidades.

- Intervalo de muestreo (i)

$$i = \frac{N}{n}$$

**Ecuación 4.** Intervalo de muestreo.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

Las siguientes ecuaciones y gráficos son necesarios para conocer valores deducidos y determinar el cálculo final del PCI:

- Área de UM.

$$\text{Área UM} = \text{Ancho calzada} * \text{long UM}$$

**Ecuación 5.** Área de la Unidad de Muestra.

- Aleatoriedad en la selección de las UM.

$$UM_i = UM_{(i-1)+i}$$

**Ecuación 6.** Secuencia de muestra a inspeccionar.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

La densidad del deterioro se define como la medida de deterioro entre el área de la UM.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Medida del deterioro}}{\text{Área de la UM}} * 100$$

**Ecuación 7.** Densidad del deterioro.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

- Número de Deducciones Admisibles (m).

$$m = \left[ 1 + \frac{9}{98} * (100 - MVD) \right] \leq 10$$

**Ecuación 8.** Numero de deducciones admisibles (m).

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

MVD: Máximo Valor Deducido.

m: Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción para la unidad de muestreo en análisis.

- PCI de la Unidad de Muestra utilizada.

$$PCI_{UM} = 100 - MVDC$$

**Ecuación 9.** Fórmula del PCI para una Unidad de Muestra.

Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016

- PCI de una sección de pavimento.

$$PCI_S = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)}$$

**Ecuación 10.** Fórmula para obtener el PCI de una sección de pavimento.

PCI<sub>S</sub>: PCI total de la sección del pavimento evaluado.

PCI<sub>i</sub>: PCI de la unidad de muestreo.

n: Número total de unidades de muestreo utilizadas.

A<sub>i</sub>: Área de la unidad de muestreo.

## Estructura de pavimento

### Subrasante

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) define la subrasante como la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento (carpeta, base y sub-base) y que se extiende hasta una profundidad en la que la carga de diseño del tránsito no le afecte.

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) establece en el Manual para especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010) (Sección 213), el proceso de estabilización de la capa superior de la subrasante, a fin de que la subrasante estabilizada pueda ser usada como base o sub-base según la mejora en sus propiedades mecánicas.

Aquellos suelos clasificados por la norma AASHTO M-145 como A-8 no son recomendados para ser utilizados como subrasante, ya que son suelos conformados por materiales vegetales o fangosos. En los casos que se presente este tipo de suelo, es necesario realizar una sustitución del material.

### Sub-base

**Material que forma parte de la estructura de pavimento y que se coloca por encima de la subrasante. La sub-base tiene la función de soportar y transmitir las cargas provenientes de la carpeta asfáltica para ser distribuidas hacia la subrasante, además, esta capa debe controlar cambios volumétricos y elasticidad que serían dañinos para la estructura de pavimento (Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos, 2002).**

**Como parte de las características que deben tener los materiales para sub-base, se**

**busca que estos tengan una buena resistencia friccionante, que contribuya a la resistencia en conjunto del pavimento, para garantizar un adecuado comportamiento ante la deformación, también se busca que tengan una buena capacidad de drenaje para evacuar el agua de la estructura del pavimento y evitar el ascenso capilar (Tacza & Rodríguez, 2018).**

El manual CR-2010 (sección 301.03) establece un valor CBR mínimo de 30, índice de plasticidad entre 4 y 10, límite líquido máximo de 35 y una compactación al 95% según AASHTO T-180.

### Base

**La capa base es la que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por el tránsito de vehículos y su función principal es la de proporcionar un elemento resistente que transmita estos esfuerzos hacia la sub-base y subrasante en una intensidad adecuada. (Tacza & Rodríguez, 2018).**

El manual CR-2010 (sección 303.03) indica como requisito mínimo un CBR de 30, compactación 95% según AASHTO T-180, límite líquido máximo 35, índice de plasticidad entre 4-9 y cumplir con la norma AASHTO M-147.

### Capa de ruedo

**Esta es la capa superficial del pavimento, la cual se encuentra en contacto con el tránsito vehicular. La capa de ruedo puede estar conformada por una carpeta asfáltica que es la combinación de agregados pétreos y cemento asfáltico (pavimento flexible) o una losa de concreto en la combinación de agregados pétreos y cemento hidráulico para el caso de pavimentos rígidos.**

Según Tacza & Rodríguez (2018) la carpeta asfáltica tiene la función de proteger la estructura del pavimento a partir de la impermeabilización, esto con el fin de evitar la filtración del agua que podría saturar capas inferiores y acelerar el deterioro de la estructura.

La capa de rodadura también tiene la función de aumentar la capacidad de soporte de

la estructura del pavimento mediante la absorción de las cargas del tránsito.

En pavimentos flexibles esta es una de las capas más costosas del paquete estructural, por lo que, en muchos casos, para disminuir costos se busca aumentar el espesor de la sub-base o base y disminuir el espesor de la carpeta asfáltica, respetando la normativa vigente y los espesores mínimos según ejes equivalentes de diseño establecidos en el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Recomendación de la AASHTO, en función de las cargas de diseño.

EEQ (x1000)	Capa asfáltica (*)	Base granular
Menor a 50	1.0 in	4.0 in
Entre 50 y 150	2.0 in	4.0 in
Entre 150 y 500	2.5 in	4.0 in
Entre 500 y 2000	3.0 in	6.0 in
Entre 2000 y 7000	3.5 in	6.0 in
Mayor 7000	4.0 in	6.0 in

(\*) Depende también del tamaño nominal del agregado. Típicamente el espesor mínimo de capa es de al menos 3 veces el tamaño nominal máximo. Además el espesor máximo de capa es de 6 veces el tamaño nominal máximo. Ejemplo: tamaño nominal de 12.5 mm, de manera que el espesor de capa debería estar entre 4.0 cm y 8.0 cm; tamaño nominal de 19.0 mm, de manera que el espesor de capa debería estar entre 6.0 y 12.0 cm.

Figura 20. Espesores mínimos recomendados por la AASHTO para carpeta asfáltica y base granular.

Fuente: Castro, 2020.

## Ensayos de laboratorio

### Extracción de Núcleos de mezcla asfáltica

Este es un ensayo que se realiza bajo los procedimientos establecidos por la “American Society for Testing and Materials” (ASTM) (2016), en la norma: ASTM D5361/D5361M-16 “Standard Practice for Sampling Compacted Asphalt Mixtures for Laboratory Testing”.

Este ensayo en campo obtiene muestras de mezclas asfálticas para el estudio de las propiedades de un pavimento asfáltico tales como: espesor de la carpeta asfáltica, contenido de asfalto, propiedades asfálticas y gradación de la mezcla.

Se utiliza la norma ASTM D3665-12 “Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials” (2017), para seleccionar la ubicación de los puntos de muestreo en la realización de pruebas de control de calidad.

La norma ASTM D5361/D5361M-16 “Standard Practice for Sampling Compacted Asphalt Mixtures for Laboratory Testing”,

recomienda obtener al menos tres muestras seleccionadas al azar del lote que se muestra.

### Granulometría de extracción

Este es un ensayo realizado bajo los procedimientos de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) bajo la norma AASHTO T30-19 “Standard Method of Test For Mechanical Analysis of Extracted Aggregate”.

Siguiendo los procedimientos de esta norma se puede determinar la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos extraídos de mezclas asfálticas, mediante el uso de tamices con aberturas cuadradas.

A partir de la distribución granulométrica de un material se puede conocer la combinación de diseño, así como los tamaños y porcentajes de de los materiales que conforman la muestra.

Otra importancia del ensayo de granulometría de extracción es que los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución de tamaños de las partículas en mezclas asfálticas.

Para la normativa vigente en Costa Rica, en la sección 418 del Manual CR-2010 se establecen las especificaciones y los rangos de tolerancia permitidos en la graduación para la mezcla asfáltica en caliente por utilizar en superficies de rueda y capas de base.

### Limite de Atterberg

Son límites de consistencia que caracterizan un suelo en función del contenido de humedad. Utilizados en suelos finos en los que el estado de consistencia puede ser: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido. Los límites son denominados como: límite de retracción, entre el estado sólido y semisólido, límite plástico, entre el estado semisólido y plástico y por último, entre el estado plástico y semilíquido se encuentra el límite líquido.

El ensayo que rige los procedimientos para conocer el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos, se encuentra en la norma ASTM D4318 (2017).

El límite líquido, límite plástico, el índice de plasticidad de los suelos, puede correlacionarse con el comportamiento de compresibilidad, permeabilidad, resistencia al cizallamiento, entre otros ( American Society for Testing and Materials, 2017).

### “California Bearing Ratio” (CBR)

Prueba de penetración utilizada para medir la capacidad de carga en materiales para la construcción de carreteras como base, subbase y subrasante.

Este es un ensayo realizado bajo los lineamientos de la norma ASTM D 1883-16 “Standart Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils”.

En el laboratorio, la prueba CBR utiliza un pistón circular para penetrar el material compactado en un molde a una velocidad constante de penetración.

La norma ASTM D1883 (2016) indica que el CBR se expresa como la relación de carga en el pistón necesaria para penetrar 2.5 mm y 5.1 mm del material por ensayar y se compara con la carga necesaria para penetrar en un material estándar de piedra triturada.

Este ensayo se realiza bajo condiciones de humedad y carga que permitan simular las condiciones a las que podría estar sometido el material.

### Proctor estándar

Este es un método que permite identificar la humedad óptima a la cual se obtiene la densidad seca máxima de un material, a una energía de compactación definida.

Para este ensayo se sigue el procedimiento establecido en la norma ASTM D698-12 “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort(12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))”

### Contenido de asfalto

La norma AASHTO T 308-18 “Standard Method of Test for Determining the Asphalt Binder

**Content of Asphalt Mixtures by the Ignition Method” describe el procedimiento utilizado para determinar el contenido de aglutinante en una mezcla asfáltica. El contenido de asfalto de una carpeta se mide como la diferencia entre la masa inicial de la mezcla y la masa del agregado residual, considerando el ajuste de corrección para contenido de humedad y ligante asfáltico.**

Esta prueba puede ser realizada utilizando un honor de equilibrio interno (método A) o un horno de equilibrio externo (método B), en ambos casos, seguir el procedimiento de prueba indicado en la norma.

Si se desea conocer el contenido de asfalto, se puede utilizar la siguiente ecuación para ambos métodos:

$$P_b, \% = \left[ \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \right] - C_f - MC$$

**Ecuación 11.** Contenido de aglutinante en una mezcla asfáltica.

Donde:

P<sub>b</sub>: Contenido de asfalto corregido en porcentaje.

M<sub>i</sub>: Masa total de la muestra de mezcla asfáltica antes de la ignición.

M<sub>f</sub>: La masa total del agregado después de la ignición.

C<sub>f</sub>: factor de corrección, por ciento por masa de espécimen de mezcla asfáltica.

MC: Contenido de humedad de la muestra de mezcla asfáltica complementario, por ciento, según lo determinado por la norma AASHTO T-329. (M<sub>c</sub>=0, si el espécimen se seca antes de iniciar el procedimiento).

**Para determinar la Masa mínima del espécimen por ensayar, se utilizada la siguiente tabla, considerando el tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla asfáltica.**

Nominal-		
Tamaño agregado máximo, <i>U<sub>n</sub></i>	Tamaño del tamiz	Masa mínima de espécimen, g
Mm		
4.75	No. 4	1200
9.5	3/8 nni	1200
12.5	1/2 nni	1500
19.0	3/4 nni	2000
25.0	1 entrada.	3000
37.5	1 1/2 nni	4000

**Figura 21.** Masa mínima de espécimen para ensayo de contenido asfalto.

Fuente: AASHTO T 308-18.

### Gravedad específica bruta compactada (G<sub>mb</sub>)

Para conocer el valor de la gravedad específica bruta compactada de una mezcla asfáltica en caliente, es necesario seguir los lineamientos de la norma AASHTO T-166-16 “Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity ( $G_{mb}$ ) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens” Este método es aplicable tanto para especímenes compactados con la metodología Marshall o Superpave.

La gravedad específica Bruta compactada contempla la masa de la mezcla asfáltica entre un volumen de agregado, aire (incluyendo vacíos permeables e impermeables) y cemento asfáltico. La siguiente expresión define la gravedad específica bruta compactada ( $G_{mb}$ ):

$$G_{mb} = \frac{M_s}{M_{s,s.s} - M_a}$$

**Ecuación 12.** Gravedad específica Bruta compactada.

Fuente: Fernández, 2020.

Donde:

$G_{mb}$ : Gravedad específica bruta compactada.

$M_s$ : Masa seca (g).

$M_{s,s.s}$ : Masa saturada superficie seca (g).

$M_a$ : Masa sumergida (g).

Conocer la Masa Saturada Superficie Seca es relevante en este ensayo, debido a que permite conocer cuál es la masa de agua que es desplazada por el volumen de la pastilla, además, el ensayo permite eliminar el agua superficial del espécimen y conocer la masa atrapada.

## Gravedad específica máxima teórica ( $G_{mm}$ )

Este ensayo busca determinar la máxima densidad de una mezcla asfáltica con un determinado contenido de asfalto, sin considerar el aire, únicamente agregado y cemento asfáltico.

Para realizar este ensayo se sigue el procedimiento de la norma AASHTO T 209-19 “Theoretical Maximum Specific Gravity ( $G_{mm}$ ) and Density of Asphalt Mixtures” y se utiliza una mezcla suelta debido a que de esta forma es más fácil poder remover el aire. El ensayo puede realizarse en un medio acuoso o al aire.

## Estabilidad y flujo Marshall

El ensayo de estabilidad y flujo Marshall tiene como objetivo principal determinar y brindar un análisis de la deformación plástica que se pueda dar en los especímenes de prueba, lo anterior se logra mediante el uso de la norma AASHTO T-245-15 “Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus”. Para este ensayo se llevan las probetas de cemento asfálticos a un baño María durante 30-40 min o se colocan en un horno durante 2 horas a una temperatura de  $60 \pm 1^\circ \text{C}$ , esto en el caso de muestras de aglutinante asfáltico.

Para lograr una interpretación más sencilla de los datos se realizan gráficas con ayuda de un lector de deformación, para lo cual, como resultados se obtienen gráficas de estabilidad vs flujo (carga vs deformación), uno de los datos más importantes es la estabilidad pico máxima (kN) y la deformación vertical a la cual está asociada (mm).

## CALICATAS

Las Calicatas son un procedimiento exploratorio que en carreteras permite reconocer mediante una inspección visual “in situ”, el espesor de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento y la subrasante.

Para la caracterización de suelos en un proyecto, el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) menciona la toma de muestras mediante el método de calicatas para posteriormente realizar ensayos de granulometría, CBR, Proctor, límites de Atterberg y humedad. Con los datos obtenidos se podrán detallar los suelos y realizar un perfil estratigráfico.

Las dimensiones de las exploraciones generalmente son de 1 m x 1.5 m y en algunos casos pueden alcanzar hasta los 10 metros de profundidad.

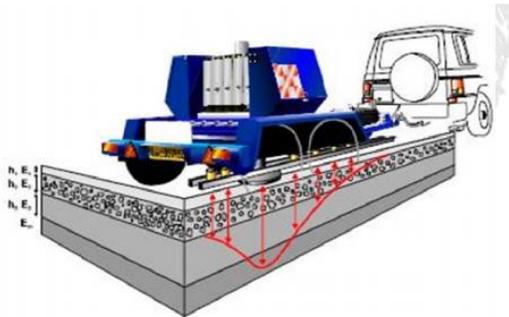
El equipo pesado utilizado para realizar Calicatas es una retroexcavadora o Backhoe.

## Deflectometría por impacto (FWD)

Este es un ensayo no destructivo que permite la evaluación estructural del pavimento mediante el uso de un equipo conformado por un dispositivo generador de fuerza, que se eleva a una o varias

alturas determinadas, un sistema de guía diseñado para operar con fricción y para que el peso caiga de manera perpendicular a la superficie, donde es recibida por una placa que, típicamente posee un diámetro de 30.5 a 45.7 centímetros en el caso de carreteras convencionales. La caída del peso desde cierta altura genera una respuesta en la estructura en términos de deflexiones, la cual es medida con la ayuda de geófonos.

La distancia entre geófonos utilizada por los equipos de LanammeUCR es de 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500, 1800 mm y la carga aplicada recomendada es de 40 kN, de manera que las predicciones de las capas de los módulos sean aproximadas a la respuesta de la estructura bajo las condiciones de carga de los vehículos (principalmente pesados) que transitan.



**Figura 22.** Cuenco de Deflexiones producidos por el equipo FWD.

Fuente: Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR, 2012.

Con base en lo presentado por Fernández (2020), algunos de los parámetros obtenidos con este ensayo son los siguientes.

1. Módulos de capas existentes.
2. Deflexiones Superficiales (Capacidad portante del sistema subrasante-pavimento).
3. Número estructural SN efectivo.
4. Espesores de sobre capa asfáltica.

Los resultados obtenidos mediante este ensayo predicen con buena correlación el número estructural del pavimento a partir del retro análisis,

de esta forma es posible evaluar la capacidad estructural en distintos puntos (Gaete et al, s.f).

En la siguiente tabla LanammeUCR (2018) clasifica los rangos de deflexión según Tránsito Promedio Diario (TPD).

Tabla 3: Rangos de deflexión según TPD, utilizados para clasificar resultados de FWD

TPD (Tránsito Promedio Diario)	menor a 5 000 vpd**	5 000 – 15 000 vpd	15 000 – 40 000 vpd	Casos Especiales*
Categoría	TPD Bajo	TPD Moderado	TPD Alto	Especiales
Categorías deflexión	Rangos (en mm x 10 <sup>-2</sup> )			
Bajas	menor a 76,5	menor a 70,8	menor a 59,2	menor a 48,5
Moderadas	76,5 – 88,5	70,8 – 83,3	59,2 – 69,4	48,5 – 57,6
Altas	88,5 – 115,7	83,3 – 112,9	69,4 – 95,2	57,6 – 80,8
Muy Altas	mayor a 115,7	mayor a 112,9	mayor a 95,2	mayor a 80,8

\*Corresponden con rutas con alto TPD y porcentaje alto de vehículos pesados, los cuales son la ruta 1 Carretera General Carlos, tramo La Uruca - entrada a Navajo, y la ruta 32, tramo Puente sobre el Río Villó - Lince.

**Figura 23.** Rangos de deflexión según TPD.

Fuente: LanammeUCR, 2015.

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2020), en la norma: ASTM D4694-09(2020) "Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight- Type Impulse Load Device" establece el procedimiento por seguir para realizar este ensayo, el cual actualmente es utilizado por la posibilidad de medir el cuenco de deflexiones mediante el cual se puede caracterizar la capacidad estructural del paquete estructural y la subrasante, además, de tener la capacidad de simular el efecto de la rueda en movimiento en cuanto al tiempo de aplicación de la carga, así como la magnitud de la misma.

La Norma ASTM D4694-09 menciona que, para el procesamiento y almacenamiento de datos, las cargas y deflexiones deben registrarse en un computador, así como la temperatura del aire, la temperatura de la superficie de pavimento, las mediciones de distancia y los datos de identificación de cada punto, podrán registrarse de forma automática o manual.

## Tránsito Promedio Diario (TPD)

El TPD hace referencia a la cantidad de vehículos que transitan por una carretera diariamente. Este es un parámetro importante para determinar la cantidad de ejes equivalentes para la cual se debe realizar el diseño de la estructura del pavimento.

Una sobre estimación en este dato puede generar un sobredimensionamiento de la estructura, lo que a su vez se traduciría en pérdidas económicas, por otra parte, una

subestimación del tráfico daría como resultado un deficiente desempeño de la estructura, ya que no estaría diseñada para soportar los volúmenes de tránsito verdaderos (Gordillo, D; Miguitama, B. 2018).

Los aforos o conteos vehiculares pueden ser realizados de manera manual o automática. Los conteos manuales tienen la ventaja de que con ellos se puede realizar una clasificación en tipos de vehículos según ejes (Livianos, Carga Liviana, Bus, C2, C3, T3-S2, T3-S3) etc., por otra parte, los aforos automáticos tienen la ventaja de ser más precisos y exactos para largos periodos.

## Metodología AASHTO 1993

El método de la AASHTO 93” según Salamanca & Zuluaga (2014), fue originalmente desarrollado en los años sesenta en los Estados Unidos y se encuentra basado en un tramo de prueba que fue estudiado durante dos años en el estado de Illinois, donde, según se dice, el suelo y clima son representativos para la mayor parte del país norteamericano. El autor menciona que como parte de la elaboración del método se desarrollaron tablas, gráficos y fórmulas que representan la relación deterioro-solicitación de las diferentes secciones ensayadas.

Esta metodología se basa en el uso de una ecuación que busca identificar el número estructural (SN), el cual se encuentra ligado con la determinación de los espesores del pavimento para la demanda y las condiciones del sitio. La ecuación involucra variables como la demanda del tránsito, la desviación estándar de los datos, la confiabilidad, el índice de serviciabilidad y el módulo resiliente de la subrasante.

La ecuación que rige el diseño es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_O + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}M_R - 8.07$$

**Ecuación 13.** Ecuación de diseño por el método AASHTO 93”. Fuente: García, 2015.

$W_{18}$ : Número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 000 lb (8 200 kg)

$Z_r$ : Estadístico “Z,”

$S_o$ : Desviación estándar.

SN: Número estructural.

$\Delta PSI$ : Cambio en el índice de servicio.

$M_r$ : Módulo de rigidez de la carpeta asfáltica

Parte de las limitaciones de la metodología, mencionadas por Castro (2020), son las siguientes:

1. Utiliza conceptos empíricos.
2. Solamente considera un tipo de suelo.
3. Presiones de inflado inferiores a las actuales.
4. Limitaciones en materiales base. No considera bases estabilizadas con cemento o asfalto.

Además, en el estudio del método, se menciona la construcción de 234 secciones de pavimento flexible y 200 secciones de pavimento rígido en combinaciones de espesores para las diferentes capas (Castro,2020).

## Periodo de diseño

Se refiere a la cantidad de años para la cual se desea diseñar la estructura del pavimento, ante condiciones estructurales, de seguridad y funcionalidad.

## Ejes equivalentes de carga (EEQ)

El EEQ es el número de repeticiones de ejes equivalentes a un eje de 18 kips (8 200 kg) necesarias para provocar el mismo daño que provoca el eje de un vehículo (simple, Tándem o triple) o un tipo de vehículo (Liviano, Bus, C2, C3, T3-S2)

Existen dos formas de poder conocer los EEQ diarios, los cuales se detallan seguidamente.

La primera forma es mediante un factor de conversión de carga (LEF) donde para ello se calcula el TPD, se identifica el tipo de eje que circula (simple, Tándem, triple), el peso del eje y se define el tipo de estructura por diseñar (Flexible o Rígida), el índice de servicio final y el número estructural.

Para la segunda manera también es necesario calcular el TPD, pero en este caso se utilizan Factores Camión (FC), el cual es un valor que relaciona el daño que genera un tipo de

vehículo (Liviano, Bus, C2, C3, T3-S2) con un eje equivalente simple, lo que permite la conversión al eje estándar utilizado en la metodología.

Para conocer la cantidad de ejes equivalentes simples de 8 200 kg al final de un período de diseño, se debe considerar el crecimiento anual mediante la siguiente fórmula.

$$Factor\ de\ crecimiento = \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

**Ecuación 14.** Factor de crecimiento vehicular.

Fuente: Castro, 2020.

g: % de crecimiento vehicular.

n: Período de diseño

El factor carril y factor direccional también son importantes en el cálculo, ya que, en el caso del primero, si se diseña para más de dos carriles por sentido, es necesario calcular la carga en el carril más crítico (generalmente carril extremo derecho), por otra parte, el factor direccional contempla la distribución de los vehículos por sentido (Castro,2020).

Número de carriles por sentido	Porcentaje de EEQ en carril de diseño (%)
1	100 %
2	80 – 100 %
3	60 – 80 %
4	50 – 75 %

**Figura 24.** Porcentaje EEQ en carril de diseño.

Fuente: Castro, 2020.

## Índice de servicio (PSI)

Este es un parámetro que se utiliza basado en el criterio de varios individuos quienes clasificaron la condición del pavimento en términos funcionales (seguridad, confort) con valores que van del 0 a 5, donde 5 es perfecto estado y 0 es una condición de estado de falla. Este valor también se puede ver afectado por deterioros presentes en la estructura manifestados en forma de grietas, rugosidad en la superficie, baches y roderas.

Para el diseño por la metodología AASHTO se establece la condición inicial del índice de servicio de la estructura dependiendo del tipo de pavimento (como recomendación  $P_o=4.5$  pavimentos rígidos,  $P_o=4.2$  pavimentos flexibles) y se define un valor PSI final, punto en el cual se deberá realizar una intervención en la estructura

antes de que pierda su capacidad funcional. El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002), menciona que para índices de servicio inicial se recomienda usar un valor  $P_i=2.5$  para caminos importantes y  $P_i=2.0$  en caminos de tránsito menor.

Una forma para determinar la condición de servicio de una estructura en términos del PSI es medir el Índice Internacional de Rugosidad (Internacional Roughness Index) y correlacionarlos mediante la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{(-0.0041*IRI)}$$

**Ecuación 15.** Fórmula para el cálculo del PCI a partir del IRI.

Fuente: El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

Donde:

PSI: Índice de servicio.

IRI: Índice Internacional de Rugosidad.

e: 2.71828183 (base de los logaritmos neperianos)

Nota: el valor obtenido en la fórmula es dado en pulgadas por milla.

Una diferencia entre el PSI final y PSI Inicial es conocida como un cambio de PSI o pérdida de serviciabilidad.

## Nivel de confianza

El nivel de confianza hace referencia a la probabilidad de que una estructura tenga un comportamiento adecuado en términos funcionales y estructurales al final del periodo de diseño. Para determinar el nivel de confiabilidad, la metodología sugiere el nivel de confianza según la importancia de la carretera, además, toma en cuenta si la carretera es parte de una zona rural o urbana.

Castro (2020) indica que los parámetros de diseño utilizados tienen una dispersión asociada que influye en la cantidad de cargas para alcanzar un nivel de servicio terminal ( $P_t$ ). El autor también menciona al módulo de rigidez, las cargas vehiculares y el espesor de las capas de la estructura del pavimento, como los elementos con mayor nivel de dispersión.

A partir del nivel de confianza se establece el valor estadístico “z”, el cual hace relación a la probabilidad de que posterior a las cargas de diseño excedan el PSI terminal (Castro, 2020).

## Desviación estándar de desempeño (S<sub>o</sub>)

Considera las posibles variaciones en la toma de mediciones del tráfico promedio diario, además de variaciones en el desarrollo del comportamiento de la estructura durante el periodo de diseño (Murillo, 2018).

Castro (2020) recomienda usar un valor de S<sub>o</sub>= 0.45 para pavimentos flexibles o semi-rígidos y S<sub>o</sub>=0.35 en pavimentos rígidos.

## Módulo de rigidez efectivo de la subrasante

La rigidez de un suelo está relacionada con la capacidad o resistencia de un suelo por soportar deformaciones elásticas al estar sometida a esfuerzos. Dicho lo anterior, la metodología utiliza el valor del módulo de resiliencia (MR) para involucrar las condiciones del suelo de la subrasante y el aporte que este tendrá en la estructura.

Para determinar el módulo resiliente de un suelo se pueden realizar ensayos de laboratorio según la norma AASHTO T274, sin embargo, la guía de diseño de la AASTHO 93<sup>o</sup> ha propuesto correlaciones entre el CBR y el MR debido a que en muchos casos resulta complicado realizar el ensayo recomendado (Herrera, 2014).

La guía de la metodología de la AASTHO 93 considera el efecto de la variación de la humedad del suelo mediante el denominado módulo estacional, este módulo tiene como propósito cuantificar el daño relativo que puede sufrir el pavimento durante cada estación del año (Herrera, 2014).

La siguiente fórmula es utilizada para determinar el daño relativo:

$$U_f = 1.18 * 10^8 * M_R^{-2.32}$$

**Ecuación 16.** Daño relativo.

Fuente: Herrera, 2014

U<sub>r</sub>: Daño Relativo.

M<sub>r</sub>: Módulo de rigidez de la subrasante.

Según lo expuesto por Castro (2020), el efecto de la humedad en el suelo puede causar que un eje equivalente cause más daño en una

subrasante húmeda, que posee menos resistencia a la deformación plástica, que una subrasante seca que, por su condición, posee una mayor resistencia a la deformación.

Es importante mencionar que el módulo resiliente efectivo de la subrasante es el equivalente al efecto combinado de todos módulos estacionales.

## Coeficiente de drenaje

La entrada y permanencia de agua en la estructura del pavimento puede generar problemas en el desempeño de esta, por lo tanto, en el diseño de pavimentos se busca interceptar el agua que fluye sobre la superficie mediante el uso de drenajes, para así proteger la base, sub-base y subrasante. Para Ceciliano (2013), en el diseño de drenajes es importante proveerle al pavimento el drenaje superficial, subdrenajes y estructuras de drenaje.

Para evaluar la condición de la estructura en presencia de agua, se utilizan los coeficientes de drenaje, estos se encuentran en función del tiempo de permanencia del agua en la estructura y la calidad de los drenajes.

La guía de diseño de la AASHTO 93 recomienda utilizar los siguientes valores como coeficientes de drenaje para el caso de pavimentos flexibles:

Table 2.4. Recommended m<sub>1</sub> Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**Figura 25.** Valores de coeficiente de drenaje recomendados para material base y subbase en pavimentos flexibles

Fuente: Castro, 2020.

Castro (2020), afirma que la carpeta asfáltica es asociada con un coeficiente de drenaje igual a uno, ya que, esta capa es considerada como impermeable y el agua no permanece en ella; por otra parte, Ceciliano (2013), indica que la presencia de agua puede generar el desprendimiento del ligante, extracción de finos,

formación de baches y ocasionar una disminución en el Módulo resiliente de la subrasante.

## Coeficiente estructural de capa

Este es un parámetro en función de la resistencia y la rigidez de un material ante la aplicación de cargas. El coeficiente estructural ( $a_1$ ) se relaciona con la capa asfáltica y está en función de la rigidez de la capa asfáltica a 20 °C, el coeficiente  $a_2$  está ligado a la base y el  $a_3$  a la subbase, estos últimos dos en función del módulo de rigidez o CBR, por lo que el valor de estos se puede determinar mediante monogramas o correlaciones.

## Número estructural

Según Murillo (2018) este es un parámetro que representa la calidad del pavimento flexible ante cargas

Para la determinación del número estructural requerido, el manual Centroamericano de Pavimentos (2002), menciona las siguientes variables para determinar dicho valor:

1. Cantidad de ejes equivalentes por carril para un periodo de diseño.
2. Nivel de confianza ( R ).
3. Desviación estándar.
4. Modulo de resiliencia efectivo.
5. Pérdida de serviciabilidad

La siguiente fórmula relaciona al numero estructural de cada capa con el espesor.

$$\sum_{i=1}^n (a_i * m_i * D_i)$$

**Ecuación 17.** Número estructural.

Fuente: Castro, 2020.

n: Número de capas sobre la subrasante.

$a_i$ : Coeficiente estructural de capa.

$D_i$ : Espesor de capa.

$m_i$ : Coeficiente de drenaje.

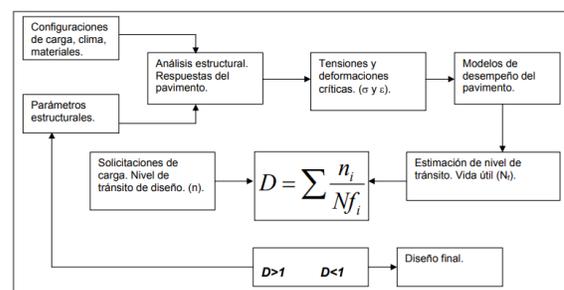
La ecuación anterior es de gran importancia en el diseño basado en la metodología AASHTO, ya que, inicialmente a través de nomogramas se determina el SN de cada capa y con el despeje de la ecuación se conoce el espesor de capa.

## Diseño Mecánico-Empírico

El ingeniero Fabricio Leiva menciona que este modelo se encuentra basado en la teórica de multicapa elástica o elemento finito, donde se determina la capacidad pavimento en términos de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, además, el método involucra en sus variables los efectos de tipo climático, la caracterización de los materiales, funciones de transferencia, el modelo estructural y la respuesta del pavimento. Este mismo autor expresa que, con este método de diseño, se busca definir la combinación de espesores y materiales necesarios para cumplir con el tránsito esperado.

El modelo ha tomado gran fuerza debido a las limitantes que presenta la metodología AASHTO 1993, los cuales son métodos completamente empíricos, además, los materiales, los métodos de construcción y los diseños de pavimentos actualmente no son representativos, por lo tanto, carecen de validez y surge la necesidad de buscar nuevas alternativas de diseño más cercanas a la realidad.

Para Leiva la ventaja del método mecanístico-empírico es que permite evaluar la capacidad de los materiales ante las distintas solicitaciones a las que puede ser sometido, además, el modelo considera el desempeño y respuesta del pavimento ante el envejecimiento de los materiales durante el período de diseño.



**Figura 26.** Procedimiento de diseño mecanístico-empírico.

Fuente: LanammeUCR.

Con el fin de implementar una guía de diseño de pavimentos empírico-mecánica en Costa Rica, el LanammeUCR incluye dentro de su plan de trabajo, el desarrollo de una Guía de Diseño de Pavimentos Empírico Mecánica para Costa Rica y la implementación de un software (CR-ME) para mejorar la calidad de los diseños. El desafío se basa en acondicionar la metodología a

las propiedades de los materiales, el clima, el suelo de soporte y tráfico propios de Costa Rica (Loría, 2013).

## Módulo Dinámico

Al valor absoluto de la relación entre el esfuerzo máximo y la deformación unitaria máxima se le conoce como Modulo dinámico (Cerdas, 2018).

Según Horacio, Gómez & flores (2017) determinar el módulo Dinámico de las mezclas asfálticas, es uno de los parámetros más importantes en la Guía de diseño Empírico-Mecánica de Pavimentos, debido a que con este valor es posible definir propiedades viscoelásticas lineales de la mezcla asfáltica, según la temperatura y la velocidad de carga de aplicación.

La nueva guía de diseño empírico-mecánico hace uso de curvas maestras que son construidas mediante el principio de super posición tiempo-temperatura y son útiles para determinar la rigidez de la mezcla asfáltica. Las curvas maestras de rigidez incluso pueden ser modeladas matemáticamente (Leiva, 2004).

El módulo dinámico puede determinarse mediante el ensayo de "modulo dinámico de mezclas asfálticas", siguiendo los procedimientos estipulados en las normas AASHTO TP 62 y ASTM D 3497 Y D3496, sin embargo, la fórmula Witczark que considera la composición de la mezcla asfáltica, la ecuación del instituto del asfalto que utiliza la viscosidad como variable y el uso de la fórmula de Heukelom & Klomp, que toma en cuenta los porcentajes en volumen de los componentes de la mezcla y el módulo dinámico del asfalto, son también algunas de las expresiones que permiten conocer el módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

## Grado por desempeño en cementos asfálticos

Para el desarrollo de mezclas asfáltica anteriormente se utilizaba la metodología Marshall y aunque actualmente se sigue utilizando en muchos países de Latinoamérica, esta metodología tiene limitaciones que no permiten predecir el comportamiento del asfalto durante su vida útil y el entorno en el que se desarrollan.

A partir de investigaciones financiadas en los Estados Unidos entre 1987 y 1993, el programa estratégico de investigación de carreteras SHRP (Strategic Highway Research Program) logró establecer un nuevo sistema que ayuda a predecir mejor el desempeño de los pavimentos a lo largo de su vida útil conocido como sistema o metodología SUPERPAVE (Lazo, 2012).

Según Lazo (2012) esta metodología establece nuevos ensayos de laboratorio orientados a medir el envejecimiento del asfalto, las propiedades reológicas del asfalto y relacionarlas con el desempeño ante fallas por ahuellamiento, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico.

Dentro de este modelo de desarrollo los cementos asfálticos pasan de ser clasificados por viscosidad, a ser clasificados por grado de desempeño (Performing Grading PG).

Según Arias et al (2017) para grado de desempeño (PG) es importante conocer la ubicación geográfica del sitio donde se va a desenvolver el asfalto, las características del tráfico y la determinación de la temperatura, tanto máxima como mínima, que alcanzan los pavimentos en servicio, utilizando los algoritmos del Strategic Highway Research Program (SHRP).

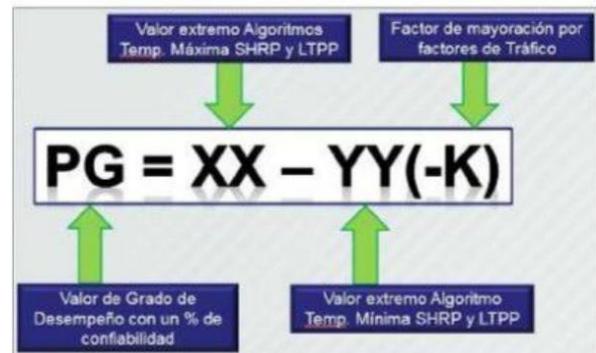


Figura 27. Parámetros de grado de desempeño.

Fuente: Arias et al. 2012.

Se dice que la temperatura máxima de diseño está relacionada con evitar el ahuellamiento ocasionado por las altas temperaturas. La temperatura intermedia se establece con el fin de evitar el agrietamiento por fatiga y para prevenir el agrietamiento térmico se establece una temperatura mínima (Silva, s.f).

## Asfaltos Modificados

Los asfaltos modificados surgen del uso de polímeros o sustancias inertes que, combinadas químicamente con el asfalto, tienen la propiedad de crear un asfalto que cuenta con propiedades mejoradas según las necesidades de servicio y que generalmente es utilizado en beneficio de la relación vida útil versus costo de inversión del producto final (Salazar, 2008).

Para Salazar (2008), los primeros proyectos piloto de asfaltos modificados con polímeros naturales y sintéticos datan de inicios de los años treinta, sin embargo, fue hasta en los años noventa después de la introducción y el desarrollo de la “Strategic Highway Research Program” (SHRP) que se inicia el aumento del uso de polímeros para la modificación de mezclas asfálticas.

En Costa Rica el uso de asfaltos modificados se encuentra en una etapa temprana debido a que es una tendencia nueva de aplicación y no es comúnmente utilizada en las carreteras de nuestro país, por lo que, aquellos que desean iniciar con la producción de este tipo de materiales deben adquirir equipos especializados o la modificación de los existentes, donde la adición de energía mecánica en la operación de mezclado sea la adecuada para la incorporación de polímeros o inertes.

cargas bajas como a altas y se utiliza en mezclas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con alto tránsito y de vehículos pesados. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos radiales mediante configuraciones Estireno-Butadieno-Estireno (SBR), Estireno-Butadieno (SB), Elvaloy (EGA), entre otros.

Polímeros tipo II: fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno-Butadieno-Látex y es utilizado en mezclas asfálticas en las que se requiera mejorar el comportamiento de servicio en climas fríos y templados.

Polímeros tipo III: copolímeros modificadores de asfalto que mejoran la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas,

Los asfaltos modificados por polímeros pueden ser clasificados como:

Plastómeros: definidos como aquellos que al estirarse sobrepasan la tensión de fluencia y no regresan a su estado original luego de ser sometido a esfuerzos.

Ejemplos de polímeros:

EVA: Etileno-Vinil Acetato.

EMA: Etileno-Metil Acrilato.

PE: Polietileno.

Elastómeros: aquellos que al estirarse vuelven a su estado original, o sea, son muy elásticos.

Ejemplos de polímeros:

SBS: Estireno-butadieno-estireno. Es el más utilizado de los polímeros para la modificación de asfaltos debido a que es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil del asfalto.

SBR: Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de butadieno.

EPDM: Polipropileno atáctico. Es muy flexible, resistente al calor y a los agentes químicos.

Otros (Termoendurecibles): poseen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Ejemplo: Resinas epóxicas.

Dentro de los principales modificadores utilizados en el asfalto se encuentran los siguientes:

Polímeros tipo I: mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas, tanto reduce la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico y mejora su comportamiento a altas temperaturas, por lo que es utilizado en climas calientes en carpetas asfálticas de pavimentos con alto tránsito, así como para elaborar emulsiones utilizadas en tratamientos superficiales. Son elaborados con base en polímeros plastómeros a través de configuraciones Etil-Vinil-Acetato (EVA) (Salazar, 2008).

## Matriz FODA

La Matriz FODA es una herramienta utilizada en la planeación de estrategias de intervención para determinar cuál es la alternativa más efectiva en la solución de problemas de un proyecto o empresa.

La palabra FODA proviene del acrónimo fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas.

Nikulin & Becker (2015) consideran que, en la construcción de la matriz, las fortalezas y debilidades deben ser identificadas y consideradas como factores internos, mientras que las oportunidades y amenazas se encuentran en la categoría de factores externos. Ambos factores (internos y externos) se contraponen de manera que se puedan generar estrategias fundamentadas en las fortalezas, sacar provecho de las oportunidades y hacer frente a las amenazas.

# Metodología

## Cálculo del PCI

El procedimiento descrito a continuación se siguió tanto para la sección de control SC 60012, estación 605+650 como para la SC 60001, estación 350+080. Como referencia se utilizó la metodología descrita en el Manual Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica.

La primera visita a campo fue realizada a la SC 60012, estación 605+650 el 21 de febrero del 2021 a las 10 a.m.

La visita a campo para realizar el levantamiento de deterioros en la SC 60001, estación 350+080 fue el 25 de febrero a la 1 pm.

1. Se inició con la recolección de información para identificar visualmente la longitud total del tramo afectado. Una vez identificado y marcado el punto inicial y final afectado, se procedió a medir la longitud del tramo con ayuda de un odómetro.
2. Con un odómetro se midió el ancho de la calzada y de acuerdo con la figura 19 se determinó la longitud en extensión de las Unidades de Muestreo (UM).
3. Se utilizó la ecuación 1 para determinar la cantidad total de UM asociadas al tramo inspeccionado.
4. Para conocer el número de unidades mínimas por evaluar ( $n$ ), se utilizó la ecuación 2, tomando el valor de  $e=5\%$  y  $\sigma=10$  debido a que el tramo evaluado se encuentra construido en pavimento flexible.
5. En la selección de las Unidades de Muestreo para inspección se consideraron las siguientes situaciones:
  - Si  $n < 5$ , se evalúan todas las unidades.
  - Si  $N > 100$ , se deberán crear  $X$  cantidad de tramos con valores de  $N \leq 100$ , en donde, para cada tramo se asigna un  $N_1, N_2 \dots N_x$ , según la ecuación 2 para una muestra mínima total de  $n_t = n_1 + n_2$ . Queda a criterio del profesional responsable el dividir en 2, 3, 4, entre otras partes.
6. Se utilizó la ecuación 4 para calcular el intervalo de muestreo y conocer la separación entre las unidades inspeccionadas.
7. Para realizar una aleatoriedad de las secciones por evaluar, se seleccionó un valor entre 1 e  $i$ , este es un valor llamado "S" y es la primera UM evaluada, las próximas UM inspeccionadas se conocieron conforme a la ecuación 6.
8. Para cada UM inspeccionada se completó una hoja de levantamiento de deterioros para pavimento flexible (AP-1), (AP-2). Se recolectó información sobre la sección de control por inspeccionar, la provincia, cantón, distrito, número de ruta, estación inicial, estación final y longitud de la UM.
9. Se utilizó la ecuación 5 para calcular el área de la UM, la ecuación 7 para determinar el valor correspondiente a la densidad del deterioro y se completó la hoja del proceso iterativo presentado en el AP-4 para obtener el Máximo Valor Deducido Corregido.

10. Se determinó el valor deducido asociado a cada deterioro mediante los gráficos de los anexos A-17, A-18, A-19, A-20, A-21 y A-22 ingresando con la severidad y la densidad del deterioro según corresponda.
11. Se calculó el número de Deducciones Admisibles (m). Se pueden dar los siguientes casos:
- Ninguno o solo uno de los valores deducidos es mayor a 2.
  - Más de un valor deducido es mayor a 2 o todos los valores deducidos son mayores a 2.
- De los casos expuestos anteriormente, si se cumple el caso a) no se calcula "m", se utiliza el valor deducido total como la suma de todos los valores deducidos sin corregir y se pasa al cálculo del PCI de la unidad de muestra analizada. Si se cumple el caso b) se calcula el valor de "m", para ello se ordenan los valores deducidos en orden descendiente, al mayor de los valores se le conoce como mayor valor deducido individual (MVD). Finalmente se utiliza la ecuación 8 para calcular el valor "m".
12. Si la cantidad de valores deducidos fue menor que el valor de "m", se cambia el último valor deducido por 0.6 y se suman los valores deducidos para obtener el Valor Deducido (VDT).
13. Se calculó el Máximo Valor Deducido Corregido (MVDC) mediante el siguiente proceso iterativo:
- Determinar el número de valores deducidos que sean mayores a 2, este número será "q".
  - Determinar el Valor Deducido Total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales.
  - Determinar el Valor Deducido Corregido (VDC) con "q" y el Valor Deducido Total (VDT). Ver anexo (A-23).
- d) Cambiar a 2 el menor de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2 y repetir las etapas a), b) y c) hasta que "q" sea igual a 1.
14. Para calcular el PCI de la Unidad de Muestra Analizada, a cien se le restó el mayor MVDC obtenido del paso anterior. En el caso de que ningún o solo un valor deducido fuera mayor a 2, se considera el MVDC como la suma de todos los Valores Deducidos para esa UM.
15. Mediante la ecuación 10 se calculó el PCI para una sección de pavimento (todas la UM)

## Muestreo de mezclas asfálticas compactadas para pruebas de laboratorio

Para realizar la extracción de núcleos de mezcla asfáltica para pruebas de laboratorio, tanto en la sección de control SC 60012, estación 605+650, como en la sección de control SC 60001, estación 350+080, se siguió el procedimiento establecido por la American Society for Testing and Materials (ASTM) en la norma ASTM D-5361M-16 y ASTM D-3665.

La norma ASTM D5361M-16, indica que se deben realizar al menos 3 sondeos por lote evaluado, por lo tanto, para el caso de la SC 60012, estación 605+650, se decidió realizar 5 sondeos y para SC 60001, estación 350+080, se realizaron 3 sondeos. Por cada sondeo se extrajeron 3 muestras para ser evaluadas en laboratorio.

El siguiente es el procedimiento que se siguió para la selección de la ubicación de los puntos de muestreo de material "in situ" mediante la norma ASTM D- 3665 "Standard Practice for Random Sampling of Construction Material", tanto para la SC 60012, estación 605+650, como para la SC 60001, estación 350+080.

1. Se determinó la longitud del tramo total por evaluar, así como el ancho de la calzada.
2. Con la función "Random" de la calculadora, se generaron 4 números aleatorios para definir la ubicación de cada punto de extracción. Los primeros dos fueron para definir la ubicación en longitud y los últimos dos para determinar la distancia de ubicación con respecto a uno de los bordes de la calzada.

El primer número aleatorio se multiplicó por 500 (cantidad de filas que contiene la tabla 1 en la norma ASTM D-3665), el resultado de la multiplicación indicó el número de la fila en la que se debe buscar el número aleatorio. El segundo número aleatorio se multiplicó por 20 (cantidad de columnas que contiene la tabla 1 en la norma ASTM D-3665), el resultado de la multiplicación indicó la columna en la que se debía buscar el número aleatorio.

3. Una vez que se conoció el número de fila y columna, se buscó el número aleatorio resultante en la tabla 1 de la norma ASTM D-3665, este valor se multiplicó por la longitud total del lote muestreado y como resultado se obtuvo la ubicación del punto muestreado.
4. El tercer número aleatorio obtenido con la función "Random" se multiplicó por 500 (cantidad de filas que contiene la tabla 1 en la norma ASTM D-3665), el resultado de la multiplicación indicó el número de la fila en la que se debe de buscar el número aleatorio. El cuarto número aleatorio obtenido con la función "Random" se multiplicó por 20 (cantidad de columnas que contiene la tabla 1 en la norma ASTM D-3665), el resultado de la multiplicación indicó la columna de la tabla 1 en la que se debía buscar el número aleatorio.
5. Una vez que se conoció el número de fila y columna, se buscó el número aleatorio resultante en la tabla 1 de la norma ASTM

D-3665, este valor se multiplicó por el ancho de la calzada del lote por muestrear y el resultado indicó la distancia entre el borde de la calzada y el punto por muestrear.

Se repitieron los pasos del 1 al 5 para conocer la ubicación en longitud y la distancia al borde de la calzada de cada uno de los sondeos realizados.

## Medición Vehicular

Para ambos tramos en estudio los conteos vehiculares fueron realizados en horario de 6 a.m. a 12 m.d. y de 1 p.m. a 5 p.m. Dichos conteos fueron manuales y se realizaron de la siguiente manera:

1. En campo, se identificó la totalidad de carriles por sentido.
2. Se identificaron los diferentes tipos de vehículos que transitaban tanto por el tramo de la sección 60012, estación 605+650, como por el de la sección 60001, estación 350+080.
3. Se utilizó la tabla del anexo A-58 para tabular la cantidad de vehículos por tipo y hora que transitaban en ambos sentidos para el tramo de la sección 60012, estación 605+650 y la tabla del anexo (A-59) para el tramo de la sección 60001, estación 305+080.
4. Una vez tabulados los datos mencionados en el paso anterior, se sumó el total de vehículos (sin distinción) que circulaban por hora en cada sentido.
5. Se sumó la cantidad total de vehículos por tipo que circularon por sentido durante el horario definido para hacer el conteo vehicular, para el caso de este proyecto de 6:00am a 12:00md y de 1:00pm a 5:00 pm.
6. Debido a que el conteo manual no se realizó durante 24 horas continuas, fue necesario conocer la cantidad de tránsito

que circulaba para aquellas horas en las que no se pudo realizar el conteo, para conocer estos datos, se hizo uso de los factores horarios de la estación radar permanente ubicada en Paso Canoas, encontrado en el anuario de información de tránsito 2018.

Factores horarios para la estación permanente de radar ubicada en Paso Canoas.	
Hora	Factor Horario(%)
0:00-1:00	0.61
1:00-2:00	0.42
2:00-3:00	0.33
3:00-4:00	0.42
4:00-5:00	0.78
5:00-6:00	2.15
6:00-7:00	3.82
7:00-8:00	4.77
8:00-9:00	4.91
9:00-10:00	5.47
10:00-11:00	5.91
11:00-12:00	6.16
12:00-13:00	6.47
13:00-14:00	6.66
14:00-15:00	7.08
15:00-16:00	7.08
16:00-17:00	7.45
17:00-18:00	7.58
18:00-19:00	6.53
19:00-20:00	5.16
20:00-21:00	3.93
21:00-22:00	3.1
22:00-23:00	2.09
23:00-24:00	1.12

**Figura 28.** Factores Horarios para la estación de radar permanente ubicada en Paso Canoas.

Fuente: MOPT, 2018.

- Al conocer la cantidad horaria de vehículos que transitaron por los tramos en estudio, se realizó una sumatoria de la cantidad de vehículos totales durante las 24 horas del día y este fue el tránsito total diario.
- Para el tránsito promedio diario se sumó el total del tránsito durante los días que se realizó el conteo y se dividió entre la cantidad de días del recuento, esto para conocer el tránsito Promedio Diario (TPD).

## Factor Camión

El siguiente procedimiento aplica tanto para la sección de control 60012 como para la SC 60001, la única diferencia radica en que el control de peso fue realizado durante 5 días para la SC 60012, un día por sentido y un único día en la SC 60001 debido a la disponibilidad de la romana móvil

- Se identificó el lugar del proyecto y el carril donde se debía colocar la estación de pesaje móvil. Se hizo uso de señales de advertencia y precaución para alertar al tránsito debido a que era necesario detener los vehículos en ese punto.
- En campo se identificaron los vehículos tipo T3-S3, T3-S2, C3, C2 y C2+ para ser pasados a la romana móvil. Preferiblemente vehículos que transportaban carga.
- En la romana móvil se procedió a pesar el peso por eje del vehículo, se agruparon los ejes individuales en grupos de ejes simple, tándem o tridem y se sumaron para obtener el Peso Bruto Total del vehículo (PBT). En campo el PBT fue comparado con el peso máximo admitido por el fabricante presente en la tarjeta de pesos y dimensiones que poseen los vehículos pesados.
- De los datos recolectados en campo se obtuvo el peso del vehículo más pesado de la muestra, el peso promedio de la muestra y el percentil 84 de los datos. Lo anterior para cada tipo de vehículo pesado.
- Separados los ejes en grupos, con ayuda de las siguientes fórmulas para pavimentos flexibles, se obtuvo el factor equivalente de carga para cada grupo.

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 6.1253 - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x}$$

**Ecuación 18.** Ecuación general LEF en pavimentos flexibles.

Fuente: Material del curso construcción de pavimentos, 2021.

$W_x$ : Número de ejes de carga aplicados en un tiempo determinado "t".

$W_{t18}$ : Número de ejes de carga de 8200 kg aplicados en un tiempo determinado "t".

$L_x$ : Carga del grupo de ejes (kips)

$L_2$ : Código del tipo de eje. Simple:1, tándem:2, tridem:3.

$$G_t = \log \left( \frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

**Ecuación 19.** Variable para el cálculo del LEF en pavimentos flexibles.

Fuente: Material del curso construcción de pavimentos, 2021.

$P_i$ : Serviciabilidad final.

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081 * (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L_2^{3.23}}$$

**Ecuación 20.** Variable para el cálculo del LEF en pavimentos Flexibles.

Fuente: Material del curso construcción de pavimentos, 2021.

Donde:

SN: Número estructural.

$L_x$ : Carga del grupo de ejes (kips)

$L_2$ : Código del tipo de eje. Simple:1, tándem:2, tridem:3.

Para el caso de este proyecto se asumió un valor de SN=5 y un valor de serviciabilidad final  $p_t = 2.5$  para ambas rutas.

6. Despejando la ecuación 18, se obtuvo la siguiente ecuación para obtener el LEF para cada grupo de ejes.

$$EALF = \left( \frac{W t_x}{W t_{18}} \right)^{-1}$$

**Ecuación 21.** Factor equivalente de carga (LEF) en pavimentos flexibles.

Fuente: Fernández, 2021.

7. Para conocer el factor camión de cada tipo de vehículo se sumó el resultado de la ecuación 21 para cada grupo de ejes.

$$\text{Factor camión} = EALF \text{ Simple} + EALF \text{ tándem} + EALF \text{ tridem.}$$

**Ecuación 22.** Factor camión.

Fuente: Fernández, 2021

## Análisis deflectometría por impacto y módulos de rigidez retrocalculados

Para realizar el ensayo de deflectometría por impacto (FWD) ASTM D-4694, se contrataron los servicios de la empresa Ingeniería Técnica de proyectos (ITP). El equipo utilizado fue un deflectómetro FWD-150 compuesto por 7 geófonos colocados con una separación de 0.3048 m (12 in) y el ensayo fue realizado cada 25 m sobre la totalidad de ambos tramos afectados.

Para el caso del análisis de las deflexiones se consideraron las registradas por el primer geófono debido a que este se encuentra justo bajo el plato de carga y representa la condición del paquete de pavimento en general, así, las deflexiones obtenidas para ambos tramos fueron categorizadas basadas en el cuadro de la figura 23 establecida por LanammeUCR y utilizada para clasificar deflexiones según el TPD de la ruta.

El retrocálculo de módulos de rigidez fue realizado por la empresa ITP con ayuda del software PITRA-BACK, desarrollado por LanammeUCR.

En la SC 60012, estación 605+650, los espesores de capa utilizados para el retrocálculo fueron:

1. MAC: 17 cm.
2. Base granular: 25 cm.
3. Sub-base granular: 27 cm.

Para este mismo tramo los módulos semilla introducidos en el Software fueron agrupados en dos para una mejor caracterización, debido a que la rigidez del pavimento varía entre las estaciones muestreadas.

Grupo 1: 0+525, 0+500, 0+475, 0+350, 0+325, 0+300, 0+150.

Grupo 2: 0+00, 0+025, 0+075, 0+100, 0+125, 0+175, 0+200, 0+225, 0+250, 0+275, 0+375, 0+400, 0+425, 0+450, 0+560.

Una vez definidos los grupos, los módulos semilla de los materiales incluidos en las estaciones del grupo 1 fueron las siguientes:

1. MAC: 3 102 641 kPa (450 000 psi).
2. Base granular: 193 053 kPa (28 000 psi).
3. Sub-base granular: 103 421 kPa (15 000 psi).
4. Subrasante: 34 474 kPa (5 000 psi).

Para el grupo 2 se introdujo en el software los siguientes módulos semilla:

1. MAC: 3 792 117 kPa (550 000 psi).
2. Base granular: 172 369 kPa (25 000 psi).
3. Sub-base granular: 137 895 kPa (20 000 psi).
4. Subrasante: 68 948 kPa (10 000 psi).

En el caso del segmento afectado en la SC 60001, estación 350+080 los espesores base introducidos en el software fueron los siguientes:

1. MAC: 11 cm.
2. Base estabilizada: 23 cm.
3. Sub-base: 20 cm.

Los módulos semilla para estación 0+000-0+038 corresponden a:

1. MAC: 450 000 psi.
2. Base estabilizada: 28 000 psi.
3. Sub-base: 15 000 psi.
4. Subrasante: 5 000 psi.

Para la estación 0+025 - 0+75 los módulos semilla utilizados fueron los siguientes:

1. MAC: 350 000 psi.
2. Base estabilizada: 40 000 psi.
3. Sub-base: 25 000 psi.
4. Subrasante: 8 000 psi.

El resultado del módulo de rigidez en cada estación fue promediado para determinar el módulo de rigidez general de cada una de las capas que componen la estructura.

De igual forma, el número estructural global retro calculado fue obtenido a partir del promedio del SN asociado a cada estación ensayada.

## Grado por desempeño de cemento asfáltico

Para determinar cuál es el cemento asfáltico apto para cada tramo evaluado, se utilizó la herramienta "Grado de desempeño (PG) para la selección de asfalto" de LanammeUCR.

Para la SC 60012, estación 605+650 se introdujeron los siguientes datos iniciales:

1. Provincia: Puntarenas.
2. Cantón: Golfito.
3. Distrito: Guaycará.
4. Porcentaje de confianza: 95%.
5. ESAL's: entre 0.3 millones y 30 millones.
6. Velocidad de tránsito: Detenido.

En el caso del tramo de la SC 60001, estación 350+080 se utilizaron las siguientes características del tramo:

1. Provincia: Puntarenas.
2. Cantón: Corredores.
3. Distrito: Paso Canoas.
4. Porcentaje de confianza: 95%.
5. ESAL's: entre 0.3 millones y 30 millones.
6. Velocidad de tránsito: Detenido.

## Diseño estructural de pavimentos Metodología AASHTO 1993

Para el diseño de los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento se utilizó la metodología AASHTO 1993, desarrollada a finales de los años cincuenta e inicios de los sesenta en Ottawa, Illinois, USA.

Para el caso de pavimentos rígidos y semi-rígidos se utilizó una hoja de Excel elaborada por el ingeniero Pedro Castro para el curso construcción de pavimentos del Tecnológico de Costa Rica.

Para la SC 60012, estación 605+650, se desarrollaron tres intervenciones en Pavimento flexible y una en pavimento rígido.

**Estrategia de Intervención 1-SC 60012: Perfilado parcial de la carpeta actual y colocación de una sobrecapa de mezcla asfáltica modificada con polímeros.**

La estrategia consiste en perfilar la carpeta asfáltica actual hasta una profundidad de 5 cm, para eliminar las roderas y el desplazamiento de mezcla, posterior al perfilado, se pretende utilizar una capa de asfalto modificado con polímeros tipo III, fabricado con polímeros plastómeros para mejorar la resistencia a las deformaciones, disminuir la capacidad térmica y combatir las altas temperaturas presentes en la zona.

Con el siguiente procedimiento se determinó el número estructural requerido en cada capa para cumplir con las solicitaciones de carga para un periodo de 8 años. Este periodo fue establecido por la administración (Constructora Meco S.A) debido a que ambas secciones por diseñar pertenecen a la ruta Panamericana y según información de los ingenieros de la empresa, hay intenciones de ampliar estas rutas a 2 carriles por sentido, en los próximos años, esto como parte de convenios internacionales existentes.

1. Nivel de confianza.

Se determinó el nivel de confianza a partir de lo establecido en el Oficio DVOP 5170 según Castro (2007), presentado en la figura del anexo 62.

Se utilizó un nivel de confianza del 90% debido a que la ruta es considerada como ruta primaria con un TPD mayor a 2000.

2. Desviación estándar de desempeño ( $S_o$ ).

Para la desviación estándar de desempeño la Guía de diseño de pavimentos de la AASHTO 93 recomienda un valor de  $S_o$  de 0.4 a 0.50 para el caso de los pavimentos flexibles y semi-rígidos, por lo tanto, se utilizó un valor de 0.49 para la rehabilitación.

3. Ejes equivalentes de diseño

Anteriormente se definió el procedimiento para encontrar el tránsito promedio diario y el factor camión correspondiente a cada vehículo.

El EEQ diario se obtuvo de la multiplicación de TPD y el factor camión.

$$EEQ = TPD * Factor\ camión$$

**Ecuación 23.**

Fuente: AASHTO 93.

El EEQ anual se obtuvo multiplicando el EEQ diario por los 365 días del año.

$$EEQ\ anual = EEQ\ diario * 365.$$

**Ecuación 24.**

Fuente: AASHTO 93.

Para obtener el factor de crecimiento se utilizó el valor del porcentaje de crecimiento indicado para cada tramo en el anuario información de tránsito (2015), siendo 4.43% para ambas secciones por intervenir.

Según información de la empresa encargada del mantenimiento de las estaciones afectadas, la "Ruta Interamericana Sur" pretende ser ampliada a dos carriles por sentido en el futuro, ya que, esta ruta forma parte de la carretera Panamericana, además, los periodos de mantenimiento son de cinco años, por lo tanto, se tomó la decisión en conjunto con los ingenieros de la empresa, de utilizar un periodo de diseño de 8 años, para dar rehabilitación a la carretera mientras se realiza la reconstrucción y ampliación prevista.

Se utilizó la ecuación 14 para definir el crecimiento vehicular previsto.

Para determinar los EEQ de diseño, para cada tipo de vehículo, se multiplica el EEQ anual por el factor de crecimiento vehicular.

$$EEQ\ Diseño = EEQ\ anual * FC$$

**Ecuación 25.**

Fuente: AASHTO 93.

El EEQ del carril de diseño se obtuvo de la sumatoria del EEQ de diseño para cada tipo de vehículo multiplicado por el factor direccional y el factor carril.

$$\begin{aligned}
 &EEQ \text{ carril de diseño} \\
 &= \Sigma EEQ \text{ diseño} \\
 & * \text{Factor carril} \\
 & * \text{factor dirección}
 \end{aligned}$$

**Ecuación 26.**

Fuente: AASHTO 93.

El procedimiento completo para determinar los ejes equivalentes de diseño correspondiente al tramo de la SC 60012, se encuentra en la figura del apéndice 117.

- Módulo resiliente de la subrasante.  
En esta intervención se tomó la decisión de mantener los mismos materiales granulares actuales.

Según resultados de laboratorio, el tramo de la SC 60012 posee un valor de CBR en la subrasante menor a 10, por lo tanto, se utilizó el cuadro de correlaciones a partir del CBR presentado por Pérez et al. (2016) y fórmula descrita por Heukelon & Klomp (1962).

$$\begin{aligned}
 M_r(\text{ksi}) &= 1.42 * CBR \\
 M_r &= 11644 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

**Ecuación 27.**

Fuente: Heukelon & Klomp

- Cambio en el índice de servicio  $\Delta$ PSI.  
Se utilizó la sección 2.2.1 de la guía de Diseño AASHTO (1993), ver anexo A-63, donde se recomienda usar un índice de servicio inicial de 4.2 para pavimento flexible.

El índice de servicio terminal también se seleccionó basado en el apartado 2.21 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) donde se establece un valor  $p_t = 2.5$  para la SC 60012, debido a que la ruta es clasificada como arteria principal.

- Módulo de rigidez y coeficiente estructural de la base.  
Para la base granular encontrada en la SC 60012 se obtuvo el valor del CBR a partir de ensayos de laboratorio y con el uso del nomograma para base granular en la Guía

de diseño de la AASHTO (1993) se obtuvo el valor del módulo de rigidez y coeficiente estructural ( $a_2$ ) (Ver A-36).

- Módulo de rigidez y coeficiente estructural de la sub-base.

Con el resultado CBR igual a 90 se hizo uso del nomograma de la AASHTO, presente en anexo 38, para obtener un módulo de rigidez de 20 000 (psi) y un coeficiente estructural  $a_3=0.138$ .

- Módulo de rigidez del asfalto.  
Mediante el retrocálculo se estableció un módulo de rigidez de la carpeta asfáltica actual de 2 434 939 kPa (353 158 psi) asociado a un coeficiente estructural ( $a_1$ ) de 0.39 (Ver A-34).

Según los resultados indicados Oficio LM-PI-055-2017 LanammeUCR (2017) se utilizó un módulo de rigidez de 750 000 psi asociado a la sobrecapa asfáltica con polímeros y un valor  $a_i$  de 0.54.

- Coeficiente de drenaje ( $m_i$ ).  
El coeficiente de drenaje fue determinado a partir de lo establecido en la tabla 2.4 de la sección 2 de la Guía de Diseño AASHTO (1993).

El tramo de la SC 60012 fue clasificado con buena calidad de drenajes debido a que no se encontraron problemas en la evacuación de aguas. A partir de las condiciones meteorológicas de la zona, se consideró una exposición al agua de más del 25%, por lo tanto, se utilizó un valor  $m_i$  de 1. Las figuras del anexo 13 muestran parte del sistema de drenaje actual y con ayuda de la figura del anexo 39, se determinó el coeficiente de drenaje utilizado para este tramo.

- Estadístico  $Z_r$ .  
A partir de lo establecido en la tabla 11.15 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) y basado en el hecho de que para la SC 60012 se utilizará un 90% de confianza, el valor  $Z_r$  determinado es de -1.282. (Ver A-40).

#### 11. Número estructural.

Para el caso del número estructural requerido, una vez conocidos los parámetros anteriores, utilizando la ecuación 13 para determinar la demanda a partir del número de ejes equivalente de 8.2 toneladas (Lado izquierdo de la ecuación).

Iterando se encontraron los valores  $SN_1$ ,  $SN_2$  y  $SN_3$  que satisface las sollicitaciones de carga. La iteración fue considerada como satisfactoria cuando la diferencia entre el primer y segundo término de la ecuación de diseño es de milésimas. La estructura rige por el valor de  $SN_3$

Para determinar el número estructural propuesto, la estrategia consistió en mantener los espesores de base y sub-base, remover 5 cm de la carpeta asfáltica actual para eliminar roderas y colocar 6 cm de sobre capa de asfalto con polímeros.

El número estructural para cada capa se determinó según el espesor propuesto y el coeficiente estructural asociado al material.

$$SN_{sobrecaja} = a_s * h_s = 1.28$$

$$SN_1 actual = a_1 * h_1 = 1.84$$

$$SN_2 actual = a_2 * h_2 * m_2 = 1.35$$

$$SN_3 actual = a_3 * h_3 * m_3 = 1.47$$

$$SN_{acumulado Propuesto} = 5.93$$

Por último, se comprueba que el SN requerido sea menor al SN acumulado propuesto.

El Apéndice 119 contiene el desarrollo de esta propuesta.

#### **Intervención 2-SC 60012: Pavimento flexible sobre capa asfáltica con polímeros.**

Esta intervención consistió en mantener los espesores actuales del paquete estructural, realizar una prenivelación y

colocar sobre la carpeta asfáltica actual, una sobrecapa asfáltica con polímeros del tipo III de 6 cm de espesor, para combatir las patologías presentes tomando en consideración que el espesor debe ser de 3 a 6 veces el T.M.N de la mezcla asfáltica (T.M.N=12.7mm).

1. El SN requerido es el mismo que el encontrado en la intervención 1, debido a que las condiciones de requerimiento y el periodo de años de diseño no varía, por lo tanto, se siguen los mismos pasos del 1 al 10. SN requerido=3.55 (ver apéndice 120).

2. Para determinar el número estructural propuesto, la estrategia consiste en mantener los materiales y los espesores de base, sub-base, carpeta asfáltica actual y añadir 6 cm de espesor de sobrecapa asfáltica modificada.

El número estructural para cada capa se determinó según el espesor propuesto y el coeficiente estructural asociado al material.

$$SN_{sobrecaja} = a_s * h_s = 1.28$$

$$SN_1 actual = a_1 * h_1 = 2.61$$

$$SN_2 actual = a_2 * h_2 * m_2 = 1.35$$

$$SN_3 actual = a_3 * h_3 * m_3 = 1.47$$

$$SN_{acumulado Propuesto} = 6.70$$

Por último, se comprueba que el SN requerido sea menor al SN acumulado propuesto.

El apéndice 120 contiene el desarrollo de esta propuesta.

#### **Intervención 3-SC 60012: Pavimento flexible. Perfilar totalmente la carpeta asfáltica y colocar una nueva mezcla asfáltica con polímero.**

En esta intervención se evalúa el quitar los 17 cm de espesor de carpeta asfáltica, colocar una nueva carpeta asfáltica modificada con polímeros del tipo

II, respetando las recomendaciones mínimas de la AAHSTO 1993 y mantener los materiales granulares actuales con los mismos espesores.

1. El SN requerido es el mismo que el encontrado para la intervención 1 y 2, debido a que las condiciones de requerimiento y el periodo de años de diseño no varía, por lo tanto, se siguieron los mismos pasos del 1 al 10 intervención 1. SN requerido=3.55 (Ver AP-121).
2. El número estructural para cada capa propuesta se determinó según el espesor y el coeficiente estructural asociado al material. El espesor de carpeta asfáltica propuesto fue de 13 cm con espesores base granular 25 cm y sub-base 27 cm.

$$SN_{1actual} = a_1 * h_1 = 2.76$$

$$SN_{2actual} = a_2 * h_2 * m_2 = 1.35$$

$$SN_{3actual} = a_3 * h_3 * m_3 = 1.47$$

$$SN_{acumulado Propuesto} = 5.58$$

El AP-121 contiene el desarrollo de esta propuesta.

#### **Intervención 4-SC 60012: Pavimento Rígido. Perfilar totalmente la carpeta asfáltica y colocar una losa de concreto hidráulico.**

1. Ejes equivalentes de diseño.  
Se parte del hecho de que para el caso de los pavimentos rígidos la Guía de Diseño AASHTO (1993) menciona que los EEQ de diseño se obtienen dividiendo por 0.67 el EEQ de diseño en pavimentos flexibles, sin embargo, se tomó la decisión de utilizar los mismos ejes equivalentes para ser conservadores con el diseño.  $EEQ = 2.84 \times 10^6$  (Ver AP-117).
2. Módulo efectivo de la subrasante K.  
Con ayuda de la figura 3.3 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) se determinó el módulo de reacción compuesto de la

subrasante en la SC 60012,  $K=600$  pci. (Ver A-41).

No hay evidencia de estrato rocoso por debajo de los 3.05 metros (10 pies) de altura medidos desde la superficie, por lo tanto, no se realizó corrección por estrato rocoso.

Por último, para conocer el k efectivo se realizó una corrección por pérdida de soporte (LS) con ayuda de la figura 3.6 de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) y considerando los rangos típicos del factor LS según el tipo de material.  $LS = 1.5$ ,  $K=95$  pci (ver A-44).

3. Nivel de confianza.  
Se utilizó un nivel de confianza del 90% debido a que es una carretera considerada como ruta primaria con un TPD mayor a 2000.  
El Nivel de confianza fue definido según Oficio DVOP 5170 Castro (2007), presentado en el Anexo 62.
4. Desviación estándar de desempeño ( $S_o$ ).  
Este parámetro fue definido basado en valores expuestos en la sección 4.3 de la Guía de Diseño AASHTO (1993).  $S_o=0.35$ .
5. Cambio en el índice de servicio ( $\Delta PSI$ ).  
Se hizo uso de lo presentado en la sección 2.2.1 donde para ambos tramos el índice de servicio inicial  $p_i$  es de 4.5 por ser una propuesta de pavimento rígido. Para definir el índice de servicio final también se utilizó la sección 2.2.1 obteniendo una  $p_f$  de 2.5 en la SC 60012 (Ver A-63).
6. Coeficiente de transferencia de carga (J).  
Se estableció el uso de un pavimento rígido tipo JPCP con espaldones asfálticos. La tabla 2.6 de la Guía de la AASHTO (1993) recomienda un factor de transferencia de carga igual a 3.2 (Ver A-45).
7. Coeficiente de drenaje ( $C_d$ ).

Se determinó una exposición de la humedad superior al 25% con una calidad de drenaje catalogada como buena en la SC 60012.

Con la tabla 2.5 de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) se obtuvo el valor  $C_d$  igual a 1. (Ver A-46).

8. Módulo de rigidez del concreto hidráulico.

Se trabajó con la premisa de que la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) del cemento hidráulico a los 28 días es de 3982.54 psi (280 kg/cm<sup>2</sup>).

$$E_c (psi) = 57000 * (f'c)^{0.5}$$

$$E_c (psi) = 3 597 120.02$$

**Ecuación 28.**

Fuente: Castro, 2020.

9. Módulo de ruptura  $S_c$ .

Este parámetro fue determinado mediante la siguiente ecuación.

$$S_c = \frac{43.5 * E_c}{10^6} + 488.5$$

$$S_c (psi) = 644.97$$

**Ecuación 29.**

Fuente: Castro, 2020.

10. Estadístico  $Z_r$ .

A partir de lo establecido en la tabla 11.15 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) y basado en el hecho de que para la SC 60012 se utilizará un 90% de confianza, el valor  $Z_r$  determinado es de -1.282 (Ver A-40).

11. Espesor de losa supuesto.

Una vez conocido los parámetros anteriores mediante la siguiente ecuación, es posible conocer el espesor de losa supuesto para los tramos por intervenir.

$$\log_{10} W_{18}$$

$$= Z_r * S_o + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06$$

$$+ \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 * p_t)$$

$$* \log_{10} \left[ \frac{S'_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J * \left( D^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right]$$

**Figura 29.** Ecuación de diseño Pavimentos rígidos.

Fuente: AASHTO, 1993.

El primer término de la ecuación (lado izquierdo) hace referencia a la demanda a partir del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas. El segundo término (lado derecho de la ecuación) se resuelve con los parámetros obtenidos en los pasos anteriores e iterando un espesor de losa supuesto hasta que la diferencia entre ambos términos de la ecuación sea de milésimas.

El Apéndice 122 presenta el desarrollo de esta propuesta.

En la sección 60001 se decidió plantear las mismas cuatro estrategias de intervención propuestas para la SC 60012, debido a que los estudios e investigaciones sobre los materiales y condiciones de carga (aceleración/frenado) indican que el tramo presenta las mismas patologías debido a problemas relacionados con la mezcla asfáltica.

**Intervención 1 SC 60001: Perfilar parcialmente la carpeta asfáltica actual y colocar una sobrecapa de asfalto con polímero.**

La estrategia consiste en perfilar 5 cm para eliminar las roderas y colocar un mismo tipo de asfalto modificado que el propuesto para la SC 60012 de 6 cm de espesor, con el fin de combatir el clima de la zona y las patologías presentes. En esta intervención se aprovecha el material base y sub-base de los materiales presentes, también se mantienen los mismos espesores.

A continuación, se describe el procedimiento para determinar el número estructural requerido en el diseño estructural para un periodo de diseño de 8 años.

1. Nivel de confianza.

Se determinó el nivel de confianza a partir de lo establecido en el Oficio DVOP 5170 según Castro (2007), presentado en el anexo 62.

En la SC 60001 se seleccionó un 75% de nivel de confianza porque el tramo se encuentra dentro de una ruta primaria, pero con un TPD menor a 500.

2. Desviación estándar de desempeño ( $S_o$ ).  
Para la desviación estándar de desempeño, la Guía de diseño de pavimentos de la AASHTO 93 recomienda un valor de  $S_o$  de 0.4 a 0.50 para el caso de los pavimentos flexibles y semi-rígidos, por lo tanto, se decidió utilizar un valor de 0.49 para la rehabilitación.

3. Ejes equivalentes de diseño.  
El EEQ diario se obtuvo de la multiplicación de TPD y el factor camión.

$$EEQ = TPD * Factor\ camión$$

El EEQ anual se obtuvo multiplicando el EEQ diario por los 365 días del año.

$$EEQ\ anual = EEQ\ diario * 365.$$

Para obtener el factor de crecimiento se utilizó el valor del porcentaje de crecimiento indicado para cada tramo en el anuario información de tránsito (2015), siendo 4.43% para ambas secciones por intervenir.

Según información de la empresa encargada del mantenimiento de las estaciones afectadas, la "Ruta Interamericana Sur" pretende ser ampliadas a dos carriles por sentido en el futuro, ya que, esta ruta forma parte de la carretera Panamericana, además, los periodos de mantenimiento son de cinco años, por lo tanto, se tomó la decisión en conjunto con los ingenieros de la empresa, de utilizar un periodo de diseño de 8 años para dar rehabilitación a la carretera mientras se realiza la reconstrucción y ampliación prevista.

Se utilizó la ecuación 14 para definir el crecimiento vehicular previsto.

Para determinar los EEQ de diseño, para cada tipo de vehículo, se multiplica el EEQ anual por el factor de crecimiento vehicular.

$$EEQ\ Diseño = EEQ\ anual * FC$$

El EEQ del carril de diseño se obtuvo de la sumatoria del EEQ de diseño para cada tipo de vehículo multiplicado por el factor direccional y el factor carril.

$$\begin{aligned} EEQ\ carril\ de\ diseño & \\ &= \sum EEQ\ diseño \\ &* Factor\ carril \\ &* factor\ dirección \end{aligned}$$

El procedimiento completo para determinar los ejes equivalentes de diseño correspondiente a cada tramo se encuentra en el apéndice 118.

4. Módulo resiliente de la subrasante.  
Para el caso de la SC 60001 el valor de CBR obtenido en campo fue mayor a 10, por lo tanto, se decidió utilizar la correlación descrita por Powell et al (1984) y presente en el cuadro de correlaciones presentado por Pérez et al (2016) (Ver A-31).

$$M_r(ksi) = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$M_r(psi) = 43\ 776.02$$

**Ecuación: 30.**

Fuente: Pérez et al, 2016.

5. Cambio en el índice de servicio  $\Delta PSI$ .  
Basado en lo expuesto en la sección 2.2.1 de la Guía de diseño de la AASHTO (1993), se definió un índice de servicio inicial de  $P_o=4.3$ , por ser una propuesta en pavimento semi-rígido, debido a la presencia de base estabilizada y un índice de servicio final  $p_t = 2$ , correspondiente a arterias y rutas menores, debido a que el tramo afectado es un anexo a la ruta principal.
6. Módulo de rigidez y coeficiente estructural de la base.

Debido a que la base actualmente se encuentra estabilizada con cemento, se parte del hecho de que se utilizó una BE-25 con cemento hidráulico que alcanza una resistencia a la compresión de 30 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, por lo tanto, se utilizó este valor en unidades psi para entrar a la figura 2.8 de la Guía de diseño de la AASHTO (1993) y conocer el módulo de rigidez, así como el coeficiente estructural ( $a_2$ ) correspondiente (Ver anexo 37).

7. Módulo de rigidez y coeficiente estructural de la sub-base.  
A partir del valor  $CB=96.7$ , se hizo uso del nomograma de la AASHTO presente en el anexo 38, para obtener un módulo de rigidez de  $6\ 400\ \text{kPa}$  ( $21\ 000\ \text{psi}$ ) y un coeficiente estructural  $a_3=0.139$ .
8. Módulo de rigidez del asfalto.  
Mediante el retrocálculo se estableció un módulo de rigidez de la carpeta asfáltica actual correspondiente a  $1\ 649\ 411\ \text{kPa}$   $226.9\ \text{psi}$ , asociado a un coeficiente estructural ( $a_1$ ) de  $0.32$  con ayuda del nomograma de la AASHTO para mezclas asfálticas (Ver A-35).  
Según los resultados expuestos en el Oficio LM-PI-055-2017 LanammeUCR (2017), se utilizó un módulo de rigidez de  $750\ 000\ \text{psi}$  para la sobrecapa asfáltica con polímeros y un valor  $a_i$  de  $0.54$ .
9. Coeficiente de drenaje ( $m_i$ ).  
El coeficiente de drenaje fue determinado mediante la tabla 2.4, sección 2 de la Guía de diseño AASHTO (1993).  
Se consideró una exposición a la humedad de más del 25% del tiempo y la calidad de los drenajes fueron definidos como justos, a través de la observación en campo, donde se observó que el sistema de evacuación llega a su capacidad máxima e históricamente esta zona siempre ha tenido problemas de evacuación de agua, por lo tanto, se utilizó un valor  $m_i$  de  $0.8$  (Ver A-31).
10. Estadístico  $Z_r$ .  
A partir de lo establecido en la tabla 11.15 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) y basado en el hecho de que para la SC 60001 se utilizará un 75 % de confianza, el valor  $Z_r$  determinado es de  $-0.674$  (Ver A-40).
11. Número estructural.  
Para el caso del número estructural requerido, una vez conocidos los

parámetros anteriores, se utilizó la ecuación 13 para determinar la demanda a partir del número de ejes equivalente de  $8.2$  toneladas (Lado izquierdo de la ecuación), seguidamente se iteraron los valores  $SN_1$ ,  $SN_2$  y  $SN_3$  hasta que la diferencia entre el término del lado izquierdo y el término del lado derecho de la ecuación 13 sea de milésimas. La estructura se rige por el valor de  $SN_3 = 1.64$ .

Para determinar el número estructural propuesto, la estrategia consiste en mantener los espesores de base y sub-base, remover  $5\ \text{cm}$  de la carpeta asfáltica actual para eliminar roderas y colocar  $6\ \text{cm}$  de sobrecapa de asfalto con polímeros.

El número estructural para cada capa se determinó según el espesor propuesto, el coeficiente estructural asociado al material y el coeficiente de drenaje.

$$SN_{\text{sobrecapa}} = a_s * h_s = 1.28$$

$$SN_1_{\text{Carpeta perfilada}} = a_1 * h_1 = 0.76$$

$$SN_2_{\text{actual}} = a_2 * h_2 * m_2 = 1.14$$

$$SN_3_{\text{actual}} = a_3 * h_3 * m_3 = 0.88$$

$$SN_{\text{acumulado Propuesto}} = 4.05$$

Por último, se comprueba que el SN requerido sea menor al SN acumulado propuesto.

El apéndice 125 contiene el desarrollo de esta propuesta basada en la metodología AASHTO 1993.

### **Intervención 2-SC 60001: sobrecapa asfáltica con polímeros.**

Esta estrategia plantea mantener la capacidad estructural actual dejando los mismos espesores de capa actual y colocar una sobrecapa de  $6\ \text{cm}$  de asfalto con polímero tipo III para evitar una nueva formación de roderas.

1. Para obtener el número estructural requerido, se mantienen las mismas solicitaciones que se muestran en la intervención 1, por lo tanto, se sigue el mismo procedimiento del punto 1 al 11 con los mismos parámetros de demanda.
2. Para obtener el número estructural acumulado de la estructura se utilizaron los espesores de capa existentes con sus respectivos coeficientes estructurales, coeficientes de drenaje y se añadió el espesor de la sobrecapa asfáltica con el respectivo aporte estructural (SN sobrecapa).

$$SN_{\text{sobrecapa}} = a_s * h_s = 1.28$$

$$SN_1 \text{ Carpeta actual} = a_1 * h_1 = 1.39$$

$$SN_2 \text{ actual} = a_2 * h_2 * m_2 = 1.14$$

$$SN_3 \text{ actual} = a_3 * h_3 * m_3 = 0.88$$

$$SN_{\text{acumulado Propuesto}} = 4.68$$

Por último, se comprueba que el SN requerido sea menor al SN acumulado propuesto.

El AP-126 contiene el desarrollo de esta propuesta.

**Intervención 3-SC 60001: Perfilar totalmente la carpeta asfáltica existente y colocar una nueva carpeta de asfalto con polímero.**

Para esta alternativa se propone remover los 11 cm de carpeta asfáltica actual, mantener los materiales granulares, así como sus espesores y colocar sobre la base estabilizada actual, un asfalto modificado con polímero de 10 cm de espesor.

1. Las condiciones de demanda y el periodo de diseño se mantienen igual que en las alternativas 1 y 2, por lo tanto, para esta intervención se siguió el mismo procedimiento del paso 1 al 7.

2. Módulo de rigidez y coeficiente estructural del asfalto con polímero.  
Según lo indicado en el Oficio LM-PI-055-2017 LanammeUCR (2017), se utilizó un módulo de rigidez de 750 000 psi para la carpeta asfáltica con polímeros y un coeficiente estructural de 0.54.
3. Coeficiente de drenaje ( $m_i$ ).  
Al igual que en las alternativas 1 y 2 se utilizó un  $m_1$  y  $m_2$  de 0.80.
4. Estadístico  $Z_r$   
A partir de lo establecido en la tabla 11.15 de la Guía de Diseño AASHTO (1993) y basado en el hecho de que para la SC 60001 se utilizará un 75 % de confianza, el valor  $Z_r$  determinado es de -0.674.
5. Para el número estructural propuesto se utilizaron los espesores de base y sub-base existentes, con sus respectivos coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje mencionados anteriormente, además de un espesor propuesto de 10 cm para la carpeta asfáltica con polímero ( $a_i = 0.54$ ).

$$SN_1 \text{ Carpeta con polímero} = a_1 * h_1 = 2.13$$

$$SN_2 \text{ actual} = a_2 * h_2 * m_2 = 1.14$$

$$SN_3 \text{ actual} = a_3 * h_3 * m_3 = 0.88$$

$$SN_{\text{acumulado Propuesto}} = 4.15$$

Por último, se comprueba que el SN requerido sea menor al SN acumulado propuesto.

El AP-127 contiene el desarrollo de esta propuesta.

**Intervención 4-SC 60001: Perfilar totalmente la carpeta asfáltica existente y colocar una losa de concreto hidráulico.**

Esta intervención propone mantener los materiales base y sub-base con sus respectivos espesores actuales y remover la carpeta asfáltica existente en su totalidad y colocar una losa de concreto hidráulico.

Para el diseño estructural se siguen los siguientes pasos.

1. Ejes equivalentes de diseño.

Se parte del hecho de que para el caso de los pavimentos rígidos la Guía de Diseño AASHTO (1993), menciona que los EEQ de diseño se obtienen dividiendo por 0.67 el EEQ de diseño en pavimentos flexibles, sin embargo, se tomó la decisión de utilizar los mismos ejes equivalentes para ser conservadores con el diseño.

2. Módulo efectivo de la subrasante.

Con la figura 3.3 de la Guía de diseño AASHTO (1993), se determinó el módulo de reacción compuesto de la subrasante. Para la SC 60001,  $k=1500$  pci (Ver A-41).

No hay evidencia de estrato rígido en el tramo de la SC 60001, por lo tanto, no se realizó corrección por estrato rígido.

El daño relativo fue determinado por medio de la figura 3.5 de la Guía de Diseño AASHTO (1993). Para la SC 60001,  $uf= 0.065$  (Ver A-42).

Por último, para conocer el  $k$  efectivo se realizó una corrección por pérdida de soporte (LS) con ayuda de la figura 3.6 de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) y considerando los rangos típicos del factor LS según el tipo de material  $LS=0.5$  (material cementado),  $k$  efectivo= 600 pci (ver A-44).

3. Nivel de confianza.

Se estableció un nivel de confianza de 75% para la SC 60001, considerando los criterios de la Guía de Diseño de Pavimentos de la AASHTO (1993).

4. Desviación estándar de desempeño.

Se empleó una desviación estándar  $S_o$  de 0.35 esto a partir de los criterios expuestos en la sección 4.3 de la Guía de Diseño AASHTO (1993).

5. Cambio en el índice de servicio ( $\Delta PSI$ ).

Se hizo uso de lo presentado en la sección 2.2.1 de la metodología de diseño, donde el índice de servicio inicial  $p_0$  es de 4.5 por

ser una propuesta de pavimento rígido. Para definir el índice de servicio final también se utilizó la sección 2.2.1, donde se establece una  $pt=2$  (Ver A-63).

6. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Se propone la construcción de un pavimento rígido del tipo JPCP con espaldones asfálticos, por lo tanto, con ayuda de la tabla 2.6 de la Guía de la AASHTO (1993), se determinó un valor de transferencia de carga igual a 3.2. (Ver A-45).

7. Coeficiente de drenaje ( $C_d$ ).

Fue necesario utilizar la tabla 2.5 de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) para obtener el valor  $C_d$  de 0.9 en la SC 60001.

Se consideró más de un 25% de exposición a la humedad y una calidad de drenaje justa. (Ver A-46).

8. Módulo de rigidez del concreto hidráulico.

Para cumplir con las especificaciones del CR-2010, se trabajó bajo la premisa de que la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) del cemento hidráulico a los 28 días debe ser 3982.4 psi (280 kg/cm<sup>2</sup>).

$$E_c (psi) = 57000 * (f'c)^{0.5}$$

$$E_c (psi) = 3\ 597\ 120.02$$

**Ecuación: 31.**

Fuente: Castro, 2020.

9. Módulo de ruptura  $S_c$ .

Este parámetro fue determinado mediante la siguiente ecuación.

$$S_c = \frac{43.5 * E_c}{10^6} + 488.5$$

$$S_c (psi) = 3\ 597\ 120.02$$

**Ecuación: 32.**

Fuente: Castro, 2020.

10. Estadístico  $Z_r$ .

La tabla 11.15 de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) establece un estadístico

Z<sub>r</sub> de -0.674 para un 75% del nivel de confianza en la SC 60001 (Ver A-40).

#### 11. Espesor de losa supuesto.

Una vez conocidos los parámetros anteriores, mediante la siguiente ecuación de diseño de la figura 29, fue posible conocer el espesor de losa supuesto para el tramo de la SC 60001.

El primer término de la ecuación 29 (lado izquierdo) hace referencia a la demanda a partir del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas. El segundo término (lado derecho de la ecuación) se resuelve con los parámetros obtenidos en los pasos anteriores e iterando un espesor de losa supuesto hasta que la diferencia entre ambos términos de la ecuación sea de milésimas.

En el Apéndice 128 se presenta el desarrollo de la propuesta para pavimento rígido con un espesor de losa aproximado a 13.97 cm (5.5 in), para la SC 60001.

### Diseño de dovelas (acero transversal)

Para una mejor transferencia de esfuerzos aplicados sobre la losa, fue necesario el diseño de acero transversal a partir de lo establecido en la metodología de la Asociación de concreto Portland (PCA).

1. Primeramente, para ambas secciones se determinó un diámetro y separación de dovelas supuesta para posteriormente comprobar si dicha suposición es adecuada.

2. Se determinó la razón de rigidez relativa.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c * h^3}{12 * (1 - \mu^2) * k}}$$

**Ecuación: 33.**

Fuente: Castro, 2020.

E<sub>c</sub>: Módulo de rigidez del concreto hidráulico (psi).

H: Espesor de losa (in).

μ: Coeficiente de Poisson para la losa de concreto. Típicamente 0.15.

k: Módulo efectivo de la subrasante k (pci).

3. Las dovelas bajo la carga reciben el 100% de la carga mientras que las dovelas que se encuentra a una distancia mayor a "1.8\*l" no tiene contribución de carga. El valor de "1.8\*l" hace referencia a la longitud de desarrollo de carga, por lo que aquellas dovelas dentro de dicha longitud son consideradas como de dovelas activas.

Para la determinación de la contribución de carga relativa en cada dovela activa se utilizó la siguiente fórmula.

$$\frac{RC_i}{1.8 * l} = \frac{1}{1.8 * l}$$

**Ecuación: 34.**

Fuente: Castro, 2020.

RC<sub>i</sub>: Contribución de carga relativa en la dovela.

l: Rigidez relativa.

X: Distancia de la carga a la dovela.

4. Se calculó la fracción de carga que recibe cada dovela activa mediante la siguiente ecuación.

$$Pd_i = \frac{P}{ND} * RC_i$$

**Ecuación: 35.**

Fuente: Castro, 2020.

Pd<sub>i</sub>: Fracción de carga en la dovela.

ND: Sumatoria de coeficientes de contribución

P: Carga aplicada.

Hay que indicar que para ambos tramos se diseñó una carga correspondiente a un eje que representa al percentil 84 del peso de los vehículos en cada tramo.

Para el caso de la SC 60012 se diseñó para una carga "P" de 5 516 lb (2 502), mientras que para la SC 60001 el valor de "P" corresponde 4 740 lb (2150 kg).

Para ambos tramos se consideró separación entre cargas de 72 in (182.88 cm), por lo tanto, se aplicaron los principios de superposición para aquellas dovelas que reciben más de una carga "P" contemplando los dos extremos del eje.

La dovela crítica se definió como la dovela que más carga recibe.

- Una vez conocida la dovela crítica se calculó el esfuerzo sobre dicha dovela.

$$\sigma_b = \frac{K_d * P d_i}{4 * \beta^3 * E * I} * (2 + \beta * z)$$

**Ecuación: 36.**

Fuente: Castro, 2020.

$\sigma_b$ : Esfuerzo aplicado en la dovela crítica (psi).  
 $K_d$ : Módulo de interacción dovela-concreto (pci).  
 $E$ : Módulo de rigidez del acero (psi).  
 $I$ : Inercia según diámetro de varilla (in<sup>4</sup>).

- La resistencia de la dovela se determinó con la siguiente ecuación.

$$f_b = \frac{4 - d}{3} * f'c$$

**Ecuación: 37.**

Fuente: Castro, 2020.

$f_b$ : Resistencia de la dovela (pci).  
 $d$ : Diámetro de la varilla de refuerzo (in).  
 $f'c$ : Resistencia a compresión del concreto a los 28 días (psi).

- Criterio de aceptación.

$$\sigma_b \leq 2 * f_b$$

Por recomendación del Ingeniero Sergio Fernández se utilizó un factor de seguridad de 2.0

## Diseño de acero de refuerzo longitudinal

- Se determinó un número de varilla de acero y separación propuesta para posteriormente comprobar si dicha suposición es adecuada.

Se propone el uso de espaldón asfáltico y la distancia mínima al borde libre ( $L'x$ ) se propuso a partir del ancho de carril de cada tramo.

- Se utilizó la siguiente ecuación para determinar el área de acero en la sección longitudinal por cada 30cm lineal entre juntas.

$$A_s = \frac{\gamma_c * h * L'x * f_a}{f_s}$$

**Ecuación: 38.**

Fuente: Castro, 2020.

$A_s$ : Área de acero necesaria por pie línea (in<sup>2</sup>/in).  
 $\gamma_c$ : Peso unitario del concreto hidráulico (lb/in<sup>3</sup>).  
 $h$ : Espesor de la losa (in).  
 $f_a$ : Factor de fricción/capa de soporte.  
 $f_s$ : Resistencia de trabajo del acero (psi).  
 $L'x$ : Distancia mínima la borde libre (in).

El área requerida debe ser menor al área propuesta por pie lineal para que el diseño sea satisfactorio.

## Desempeño de pavimentos en relación con análisis mecánicos.

Una vez definidos los espesores de capa a partir de lo establecido en la Guía de Diseño AASHTO, se utilizaron modelos de desempeño mecánico-empírico basados en regresión lineal que permitieron determinar el comportamiento de la estructura ante las principales fallas que sufre el pavimento.

## Pavimentos flexibles y semi-rígidos.

Para este tipo de pavimentos se hizo uso del software 3D-Move con el fin de obtener las máximas deformaciones, desplazamientos y esfuerzos sobre las capas de interés. A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para ambos tramos estudiados.

- Inicialmente se introducen datos como la localización del proyecto, nombre del proyecto, la sección del control, estación inicial, estación final y descripción del proyecto (Ver A-71).
- Se tomó la decisión de realizar un análisis del tipo estático para estar del lado conservador del diseño.
- Para la configuración del eje y la distribución de las presiones de contacto, se seleccionó la opción B del software.

Para ambos tramos la revisión del modelo fue realizada tomando como

referencia un eje equivalente dual de 18000 lb (8200 kg), para una carga circular en la llanta de 20.1 kN (2050 kg), con una separación típica entre llantas de 0.3 m y presión de inflado de 827 kPa (120 psi), según Castro (2020) esta es la presión típica en vehículos pesados (ver A-72).

4. Para cada tramo en estudio se incluyeron en el software los diferentes tipos de capa y los espesores establecidos a partir del diseño AASHTO93.
5. Se ingresaron las propiedades de cada uno de los materiales tales como módulo de elasticidad en kPa y coeficiente de Poisson.  
Debido a que este es un procedimiento mecanístico, se tomaron los módulos de rigidez retro calculados a partir del ensayo de deflectometría realizado en cada tramo, según la norma ASTM D 4694 (Ver figura 43 y 44).
6. Para los puntos de evaluación o respuesta (en ambas rutas), se buscaron las deformaciones, esfuerzos y desplazamientos debajo de la llanta y entre las dos llantas, esto último para observar el comportamiento de la estructura en el punto de superposición de esfuerzos generados.

Para las intervenciones 1 y, 2 en la SC 60012, se identificó la máxima deformación por tensión en la fibra inferior de la carpeta asfáltica actual, la máxima deformación por tensión en la fibra inferior de las sobrecapa por colocar y la máxima deformación por compresión en la fibra superior de la subrasante. En la intervención 3 solo se revisaron las tensiones en la carpeta asfáltica y en la subrasante, pues corresponde a un pavimento flexible sin sobrecapa.

Para la SC 60001, al estar conformada por una base estabilizada, se revisó en las intervenciones 1 y 2 la

máxima deformación por tensión en fibra inferior de la sobrecapa, la carpeta actual y la base estabilizada, el máximo esfuerzo por tensión la fibra inferior. También en la estabilizada, además, de la máxima deformación por compresión en la subrasante. Para la intervención 3 se verificaron las deformaciones y esfuerzos en los mismos puntos que en las intervenciones 1 y 2, sin incluir los puntos en la sobrecapa, pues esta opción no propone el uso de sobrecapa asfáltica.

En el caso de la tercera intervención en la SC 60001, también por medio del software, se obtuvo la máxima deformación por tensión en la fibra inferior de la nueva carpeta asfáltica, máxima deformación por tensión en la base estabilizada, mayor esfuerzo por tensión, también en la base estabilizada, además, de la máxima deformación por compresión en la subrasante.

Para una correcta identificación de los parámetros, los desplazamientos son asociados con la letra "X", las deformaciones con la letra "E" y los esfuerzos con la letra "S". La tensión es definida con un signo negativo y la compresión con signo positivo.

## Modelo de fatiga por agrietamiento de concreto asfáltico

Se hizo uso del modelo de desempeño incorporado por el Instituto de Asfalto y expuesto por el Ingeniero Pedro Castro en el curso "Construcción de Pavimentos" del Tecnológico de Costa Rica, para un 20% de agrietamiento. Este modelo relaciona la deformación unitaria máxima por tensión en la fibra inferior de la carpeta asfáltica ( $\epsilon_t$ ) y el módulo de rigidez del asfalto con la falla.

$$N_f = 0.0798 * (\epsilon_t)^{-3.291} * (MR_1)^{-0.854}$$

**Ecuación: 39.**

Fuente: Castro, 2020.

$N_f$ : Número de EEQ de 8200 kg (simple/dual)

$\epsilon_c$ : Deformación unitaria máxima por tensión en la fibra inferior de la carpeta asfáltica

MR<sub>1</sub>: Módulo de rigidez de la capa asfáltica.

## Modelo de falla por deformación plástica

Para revisar el empeño de la estructura ante este tipo de falla, también se utilizó el modelo descrito por el Instituto del Asfalto, requerido para determinar el número de repeticiones de carga para determinar una depresión de 1.3 cm, donde se relaciona la condición de falla con la deformación unitaria máxima por compresión en la fibra superior de la subrasante.

$$N_r = 1.365 * 10^{-9} * (\epsilon_c)^{-4.477}$$

**Ecuación: 40.**

Fuente: Castro, 2020.

N<sub>r</sub>: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8200 kg (simple/dual).

$\epsilon_c$ : Deformación unitaria máxima por compresión en la subrasante.

## Modelo de falla la base estabilizada

Brenes (2020), comenta sobre la evaluación de la base estabilizada mediante un modelo calibrado expuesto por la PCA y el cual fue utilizado para evaluar la fatiga en la fibra inferior de la base estabilizada.

$$Nf = 10^{\left(\frac{k_1 * \beta c_1 - \left(\frac{\sigma_t}{S_c}\right)}{k_2 * \beta c_2}\right)}$$

**Ecuación: 41.**

Fuente: Brenes, 2020.

N<sub>r</sub>: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8200 kg para la falla.

$\sigma_t$ : Esfuerzo tensional máximo en la fibra inferior de la base (psi)

S<sub>c</sub>: Módulo de flexotracción material cementado a los 28 días.

$\beta_{c1}$  y  $\beta_{c2}$ : Constantes de calibración. 1.0645 y 0.9003, respectivamente.

K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub>: Constantes de regresión. 0.972 y 0.0825, respectivamente.

Otro de los modelos comentados por Brenes (2020), es el expuesto por la Guía de Diseño de Pavimentos Australiana. El modelo utilizado es el expresado mediante la siguiente fórmula.

$$N = \frac{\left(\frac{112.664}{E^{0.0804}} + 190.7\right) * 12}{\epsilon * \mu}$$

**Ecuación: 42.**

Fuente: Brenes, 2020.

N: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8200 kg para la falla.

E: Módulo de flexotracción del material cementado a los 28 días (MPa).

$\epsilon$ : Deformación a tensión máxima en la fibra inferior de la base.

$\mu$ : Coeficiente de Poisson (Típicamente 0.25).

Las deformaciones y esfuerzos máximos descritos en las fórmulas anteriores fueron encontradas con la ayuda del Software 3D-Move.

## Criterios de aceptación

El número de repeticiones N<sub>f</sub> o N<sub>r</sub> debe ser mayor al número de repeticiones de ejes equivalentes para diseño (N<sub>18</sub>), tanto, para la falla de agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica, para la falla por deformación plástica, así como para los modelos de falla en la base estabilizada.

## Pavimentos Rígidos

Para determinar los esfuerzos máximos a los cuales estaría sometida la estructura de pavimentos, se utilizó la Herramienta "AP-Rigid" desarrollada por LanammeUCR.

Las consideraciones realizadas para hacer uso del software se detallan seguidamente.

1. Se seleccionó la opción de realizar un análisis individual mediante método de regresión lineal.
2. La separación entre las juntas fue determinada bajo la recomendación hecho por Castro (2020) de 18-21 veces el espesor de la losa.
3. El módulo elástico del concreto hidráulico fue determinado bajo la premisa de que la resistencia (f'c) a los 28 días es de 280 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto, el módulo corresponde a 3597.12 ksi (24 801 269 kPa)

4. El espesor utilizado fue el definido mediante el método de la AAHSTO93.
5. El diferencial térmico utilizado fue el típico 6.8 °F (-14 °C).
6. El módulo de reacción efectivo de la subrasante (pci) fue definido por medio de la metodología de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993).
7. Módulo elástico de la sub-base utilizado fue el determinado en la metodología AASHTO93 para cada propuesta.
8. El diámetro de la dovela empleado fue encontrado bajo la metodología de la PCA para cada propuesta.
9. Transferencia de carga en dovelas (LTE): Debido a que se considera un pavimento nuevo se determina una transferencia de carga del 95%.

## Revisión de modelos de desempeño en pavimento rígidos

Una vez que fueron obtenidos los esfuerzo y las deformaciones mediante la herramienta AP-Rigid, se procedió a verificar el desempeño de la estructura mediante el modelo de fatiga (Monge, 2012), escalonamiento (Huang, 2004), bombeo y erosión (Huang, 2004).

### Modelo de Fatiga

El paso de vehículos sobre la losa ocasiona agrietamiento por fatiga, por tanto, mediante el modelo desarrollado por Monge (2012) se revisó la capacidad de la estructura de pavimento rígido ante esta posible falla.

$$\log(N) = \log(5.451) - 24.6 * \log\left(\frac{\sigma}{S_c}\right)$$

**Ecuación: 43.**

Fuente: Brenes, 2020.

N: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8200 kg para la falla.

$\sigma$ : esfuerzo máximo en la losa (psi). Calculado con la herramienta AP Rigid.

Sc: Módulo de ruptura del concreto hidráulico (psi).

### Modelo de bombeo y erosión

El bombeo de finos provenientes de las capas de soporte es uno de los problemas que se pueden presentar en el pavimento rígido, por lo que el modelo de Huang (2004) verifica la condición de la estructura en dicho reglón.

$$PI = (N_{18})^{0.443} [-1.479 + 0.255 * (1 - S) + 0.0605 * (P)^{0.5} + 52.65 * (H)^{-1.747} + 0.0002269 * (FI)^{1.205}]$$

**Ecuación: 44.**

Fuente: Brenes, 2020.

PI: Índice de bombeo.

N<sub>18</sub>: Ejes equivalentes, en millones. Calculados a partir de la metodología AASHTO 93.

S: Tipo de suelo. Para suelos grueso (A-1 hasta A-3) el valor es 0 y 1 para suelos finos (A-4 hasta A-7).

P: Precipitación anual (cm). Obtenido del historial meteorológico.

H: espesor de losa (in).

FI: Índice de congelamiento en días bajo cero.

### Modelo de escalonamiento

Al igual que para el bombeo y erosión, Huang (2004), también, establece un modelo para revisar el escalonamiento o diferencias de elevación en la losa, debido a que este puede ser un problema que cause afectación en las juntas o provoque movimiento en las capas de soporte. Este modelo fue revisado con la siguiente expresión.

$$F = (N_{18})^{0.5377} * [2.2073 + 0.002171 * (S)^{0.4918} + 0.0003292 * (JS)^{1.0793} - 2.1397 * (k)^{0.01305}]$$

**Ecuación: 45.**

Fuente: Brenes, 2020.

F: Escalonamiento del pavimento (in).

N<sub>18</sub>: Ejes equivalentes, en millones. Calculados en la metodología AASHTO 93.

S: Esfuerzo máximo en la losa (psi). Calculado con el Software AP Rigid.

JS: Espaciamiento entre juntas (ft). Recomendados por la Guía de Diseño AASHTO (1993) según espesor de losa.

K: Módulo efectivo de la subrasante (pci). Calculado mediante el diseño AASHTO 93.

## Criterios de aceptación

Para la aceptación del agrietamiento por fatiga, el número de repeticiones para la falla debe ser mayor al número de repeticiones de ejes equivalentes encontrado mediante los procedimientos establecidos en la Guía de Diseño AASHTO (1993).

Para el índice de bombeo y erosión, un valor de 0 determina que no hay bombeo, 1 bombeo leve, 2 bombeo medio y 3 bombeo grave.

Por otra parte, el escalonamiento límite es de 0.12 in (0.30 cm), según la AASHTO (2008).

Para aquellos casos en los que no se cumplió alguno de los criterios, fue necesario cambiar el espesor de losa propuesto mediante la metodología AASHTO 93, y así, determinar nuevamente los esfuerzos en la losa y revisar los modelos hasta que se cumplieran los criterios.

## Costo de inversión inicial

Para cada alternativa propuesta, los costos de inversión inicial y costos de mantenimiento fueron desarrollados con base en los precios de conservación y rehabilitación, estimados por la empresa constructora Meco S.A, empresa a quien se le adjudicó la licitación pública 2014LN-000018-0CV00 "MANTENIMIENTO PERIÓDICO Y REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO DE LA RED VIAL NACIONAL PAVIMENTADA"

## Costo Anual Uniforme Equivalente

Se tomó en consideración el costo de inversión inicial de cada propuesta, así como el pago periódico anual contemplando los costos de inversión en mantenimiento a horizonte de 8 años y a una tasa de descuento del 10% elegida por la administración.

Mediante el uso de MS Excel se desarrolló la fórmula del CAUE. Este indicador establece

como la mejor estrategia la que representa el menor costo de inversión anual.

## Matriz FODA

Para determinar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas propias de cada estrategia de intervención, se recopiló información bibliográfica y se les consultó a expertos e ingenieros de la zona para decidir acerca de la solución más conveniente por realizar en cada tramo, mediante la creación de matriz FODA.

# Resultados

## Levantamiento de deterioros

### Resultados del PCI, sección 60012, estación 605+650

Como parte de los primeros trabajos se realizó una evaluación del tramo afectado mediante un

levantamiento de deterioros con el propósito de conocer la condición de la estructura en términos funcionales.

**CUADRO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO, UNIDADES DE MUESTREO E INTERVALOS DE MUESTREO PARA LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Longitud del proyecto (m)	Ancho de calzada (m)	Longitud de UM (m)	Numero Total de Unidades de Muestra (N)	Numero Mínimo de Unidades a evaluar (n)	Intervalo de muestreo (i)
SC 60012, Est 605+650	562	7.5	42	13	8	1

Fuente: Autoría Propia.

Los cuadros del 1 al 4 presentan las patologías en que mayor daño causan a la estructura del pavimento en severidad y extensión. En los

apéndices del 24 al 38 se encuentran la totalidad de los resultados del levantamiento realizado para el tramo de la SC 60012.

**CUADRO 2. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 6. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+691.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=6		q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC												
6	Rodera	72	72	88	72	92	72	94	72	94	72	83	72	84	94	6
	Rodera	47	47		47		47		47		47		47			
	Desplazamiento	40	40		40		40		40		2		2			
	Exudación	21	21		21		21		2		2		2			
	Exudación	12	12		12		2		2		2		2			
	Pulimiento	5	3		2		2		2		2		2			
	$\Sigma$ VDT	195			194				184				165			

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 7. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+733.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC										
7	Roderos	84	84	82	84	86	84	88	84	86	84	92	92	8
	desplazamiento	40	40		40		40		40		2			
	Exudación	21	21		21		21		2		2			
	Exudación	12	12		12		2		2		2			
	Pulimiento	5	5		2		2		2		2			
	Bache	1	0.6		0.6		0.6		0.6		0.6			
		ΣVDT	163		160		150		131		93			

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 8. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+775.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC										
8	Roderos	72	72	86	72	88	72	88	72	84	72	82	88	12
	Roderos	47	47		47		47		2					
	Desplazamiento	29	29		29		29		2		2			
	Pulimiento	14	14		14		2		2		2			
	Exudación	12	12		2		2		2		2			
	Exudación	1	0.6		0.6		0.6		0.6		0.6			
		ΣVDT	175		175		165		153		126			

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 5 muestra el PCI de la sección de pavimento levantada y la clasificación funcional obtenida para la sección de control 60012.

**CUADRO 5. PCI DE LA SECCIÓN 60012, EST 605+650.**

<b>PCI de la SC 60012, est 605+650</b>	
Área de la unidad de muestreo(m <sup>2</sup> )	315
Número total de las unidades de muestreo.	13
PCI de la sección de Pavimento (PCI <sub>s</sub> )	35
Clasificación	Muy Pobre.

Fuente: Autoría propia.

### Resultados del PCI, sección 60001, estación 350+080

En el tramo afectado de la SC 60001, también fue necesario realizar una inspección para identificar

las patologías presentes y al igual que como se realizó con la SC 60012, determinar la condición de la estructura en términos funcionales.

**CUADRO 6. GENERALIDADES DEL PROYECTO, UNIDADES DE MUESTREO E INTERVALOS DE MUESTREO PARA LA SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Longitud del proyecto (m)	Ancho de calzada (m)	Longitud de UM (m)	Número Total de Unidades de Muestra (N)	Numero Mínimo de Unidades a evaluar (n)	Intervalo de muestreo (i)
SC 60001, Est 350+080	64.2	4.2	42	2	2	1

Fuente: autoría Propia.

En el cuadro 7 se presenta el daño provocado sobre la unidad de muestra auscultada más

deteriorada. En el apéndice 39 y 40 se encuentran los resultados de la totalidad de las unidades de muestras auscultadas.

**CUADRO 7. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 2. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD		
2	Roderas	57	57	66	57	64	57	66	57	64	66	34
	Roderas	38	38		32		32		2			
	Desplazamiento	10	10		10		2		2			
	Desplazamiento	10	10		2		2		2			
	Exudación	2	1.2		1.2		1.2		1.2			
		ΣVDT	116.2		102.2		94.2		64.2			

Fuente: autoría Propia.

A partir de la condición de cada una de las unidades de muestra levantadas fue posible conocer el valor PCI de la sección de pavimento.

**CUADRO 8. PCI DE LA SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 350+080.**

PCI de la SC 60001, est 350+080	
Área de la unidad de muestreo(m <sup>2</sup> )	176.4
Número total de las unidades de muestreo.	2
PCI de la sección de Pavimento (PCI <sub>s</sub> )	49.5
Clasificación	Pobre

Fuente: Autoría propia.

**Puntos de extracción de Núcleos de mezcla Asfáltica**

Para determinar la cantidad y la ubicación de los puntos de extracción de núcleos para análisis en laboratorio, se siguió lo establecido en la norma ASTM D-3665 "Standard Practice for Random Sampling of Construction Material" y la norma ASTM D-5361M-16 "standart Practice for Sampling Compacted Bituminious Mixtures for Laboratory Testing". En el caso del cuadro 9, los puntos medidos se realizaron tomando como referencia el inicio del proyecto en el sentido La

Guaria - Río Claro, SC 60012, estación 605+650. En el cuadro 1, el punto cero de referencia fue en el sentido Río Claro - Paso Canoas, SC 60001, estación 350+080.

Para este ensayo fue difícil determinar con certeza el espesor de la totalidad de la carpeta asfáltica, debido a que en muchos casos el equipo utilizado no pudo penetrar la totalidad de la profundidad.

**CUADRO 9. PUNTOS DE EXTRACCIÓN EN EL TRAMO DE LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Ubicación de puntos de extracción de núcleos y calicatas		
SC 60012, estación 605+650.		
Punto	Longitud (m)	ancho (m)
1	244.3	4.61
2	327.81	0.89
3	485.06	1.37
4	504.11	4.72
5	547.95	6.23
6	299.7	0.7
7	322.6	2

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 10. PUNTOS DE EXTRACCIÓN EN EL TRAMO DE LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Ubicación de puntos de extracción de núcleos y calicatas		
SC 60001, estación 305+080.		
Punto	Longitud (m)	ancho (m)
1	11.9	2.38
2	24.7	3.4
3	52.6	1.1

Fuente: Elaboración Propia.

Como resultado de la extracción fue posible obtener el resultado del espesor de los núcleos de mezcla asfáltica en los diferentes puntos de los

tramos en estudio. Se destaca que el resultado de los espesores presentados en cuadro 11 y el cuadro 12, toma en consideración el espesor de la última sobre capa colocada y la prenivelación.

**CUADRO 11. ESPESOR PROMEDIO DE LAS PASTILLAS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN EL TRAMO DE LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

SC 60012, estación 605+650.				
Muestra	Espesor 1 (cm)	Espesor 2 (cm)	Espesor 3(cm)	Promedio (cm)
1.1	9	8.8	8.9	8.90
1.2	6	6.5	6.1	6.20
1.3	5.1	5	4.8	4.97
2.1	6.6	6.5	6.2	6.43
2.2	6.2	6.5	6.5	6.40
2.3	6	6	6.2	6.07
3.1	6	6.2	6.1	6.10
3.2	6.2	6	6.1	6.10
3.3	6.3	6.4	6.3	6.33
6.1	6.7	6.8	6.7	6.73
6.2	6.8	6.5	6.6	6.63
6.3	6.9	7	6.9	6.93
7.1	6.2	6.4	6.3	6.30
7.2	6	6.2	6.3	6.17
7.3	5.9	6	5.9	5.93

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 12. ESPESOR PROMEDIO DE LAS PASTILLAS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN EL TRAMO DE LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

SC 60001, estación 350+080.				
Muestra	Espesor 1 (cm)	Espesor 2 (cm)	Espesor 3(cm)	Promedio (cm)
1.1	5.5	5.2	5.3	5.33
1.2	8	7.6	7.8	7.80
1.3	8.3	8.2	8	8.17
2.1	7.8	8	8.2	8.00
2.2	6	6.4	5.7	6.03
2.3	6	5.2	3.8	5.00
3.1	4.5	4.2	3.5	4.07
3.2	3	3.5	3.8	3.43
3.3	3.5	3	3.7	3.40

Fuente: Elaboración Propia.

En los cuadros 13 y 14, se muestran los resultados de los espesores de la carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante para cada uno de los

sondeos realizados con el método de calicatas que se realizó en la SC 60012 y SC 60001, respectivamente.

**CUADRO 13. ESPEORES DE CARPETA ASFÁLTICA BASE, Y SUB-BASE EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

SC 60012, estación 605+650.			
	Espesor (cm)		
Punto	Carpeta asfáltica	Base	Sub-base
1	20	24	20
2	18	20	30
3	14	30	30
6	20	20	30
7	14	32	23
Promedio	17	25	27

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 14. ESPEORES DE CARPETA ASFÁLTICA BASE Y SUBBASE EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001, ESTACIÓN 350+080.**

SC 60001, estación 305+080.			
	Espesor (cm)		
Punto	Carpeta asfáltica	Base estabilizada con cemento	Sub-base
1	10	20	25
2	12	25	20
3	10	25	15
Promedio	11	23	20

Fuente: Elaboración Propia.

## Ensayos de laboratorio.

Los resultados de la granulometría de suelos en el tramo de la SC, estación 605+650, se presentan en los cuadros 15, 16 y 17. La granulometría de

los materiales también fue representada en las curvas granulométricas de las figuras 30, 31, 32.

**CUADRO 15. GRANULOMETRÍA PROMEDIO DEL MATERIAL BASE EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Granulometría material base. SC 60012, estación 605+650.						
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Porcentaje pasando sondeo 1	Porcentaje pasando sondeo 2	Porcentaje Pasando sondeo 6	Porcentaje pasando sondeo 7	Granulometría Promedio
3"	76.2	100	100	100	100	100
2 1/2"	63	100	100	100	100	100
2"	50.1	100	100	93	100	98
1 1/2"	38.5	92	100	90	100	96
1"	25	87	91	79	85	86
3/4"	19	78	81	65	71	74
1/2"	12.5	72	69	52	54	62
3/8"	9.5	63	61	46	47	54
Nº4	4.7	52	52	36	33	43
Nº8	2.36	52	52	36	33	43
Nº10	2	34	36	28	23	30
Nº16	1.18	34	36	28	23	30
Nº30	0.6	34	36	28	23	30
Nº40	0.42	21	23	17	13	19
Nº50	0.3	21	23	17	13	19
Nº100	0.15	21	23	17	13	19
Nº200	0.075	11.9	13.4	9.2	6.8	10

Fuente: Laboratorio ITP.

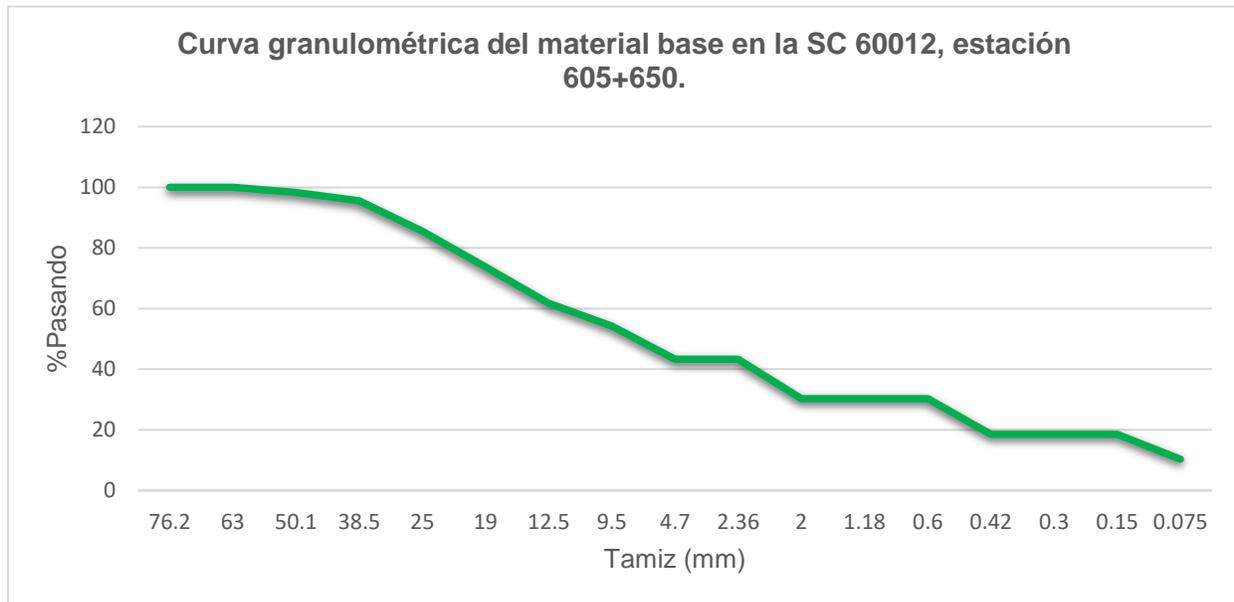


Figura 30. Curva Granulométrica del material base en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 16. GRANULOMETRÍA PROMEDIO DE LA SUB-BASE GRANULAR EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Granulometría material sub-base granular en laSC 60012, estación 605+650				
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Porcentaje pasando sondeo 2	Porcentaje pasando sondeo 3	Granulometría Promedio
3"	76.2	100.0	100.0	100.0
2 1/2"	63	100.0	100.0	100.0
2"	50.1	95.0	91.0	93.0
1 1/2"	38.5	83.0	83.0	83.0
1"	25	73.0	75.0	74.0
3/4"	19	61.0	69.0	65.0
1/2"	12.5	49.0	60.0	54.5
3/8"	9.5	43.0	53.0	48.0
N°4	4.7	32.0	36.0	34.0
N°8	2.36	32.0	36.0	34.0
N°10	2	24.0	24.0	24.0
N°16	1.18	24.0	24.0	24.0
N°30	0.6	24.0	24.0	24.0
N°40	0.42	15.0	15.0	15.0
N°50	0.3	15.0	15.0	15.0
N°100	0.15	15.0	15.0	15.0
N°200	0.075	10.1	6.3	8.2

Fuente: Laboratorio ITP.

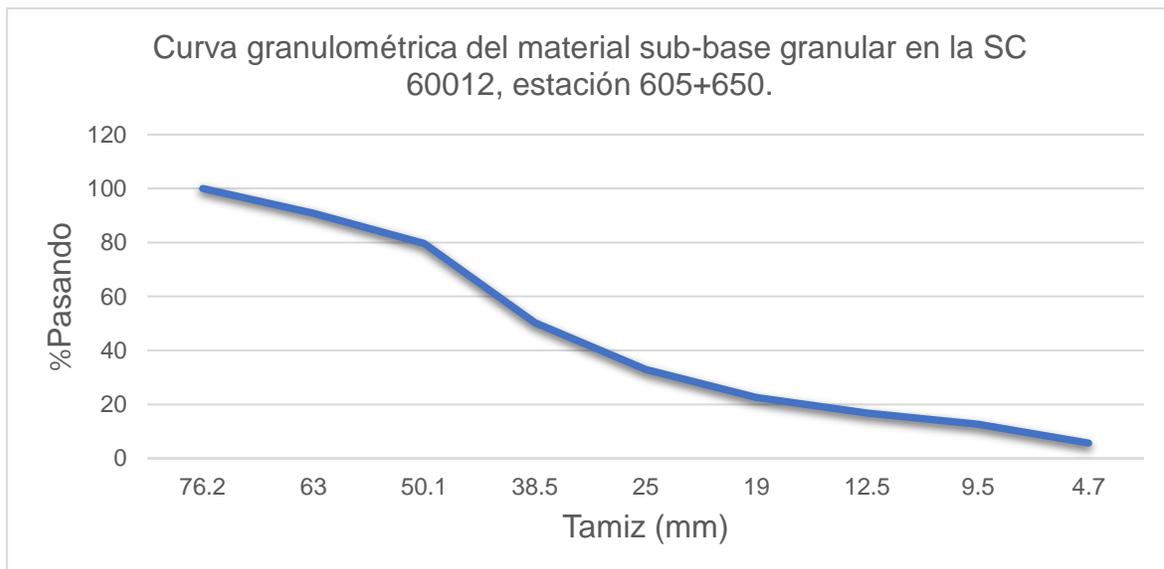
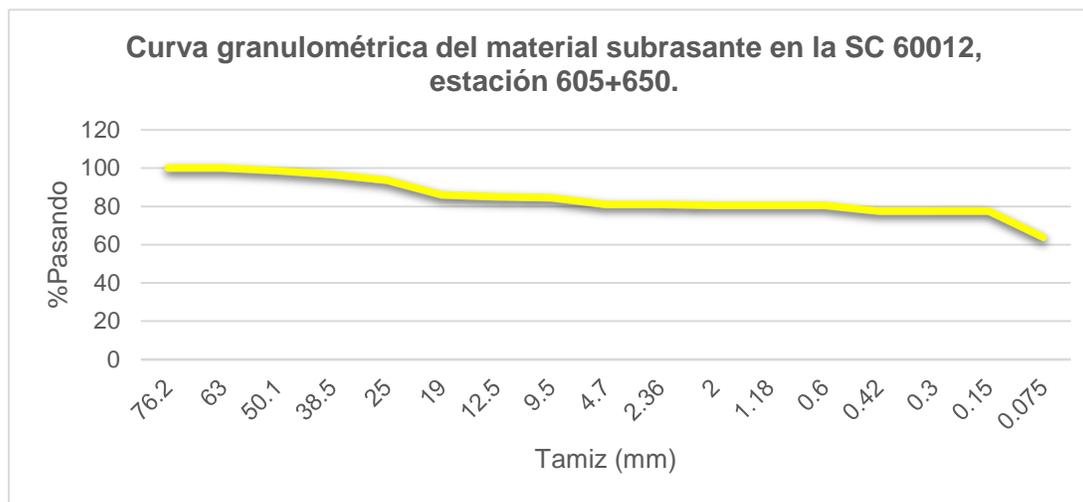


Figura 31. Curva Granulométrica del material subbase en la SC 60012 estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 17. GRANULOMETRÍA PROMEDIO DE LA SUBRASANTE EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

<b>Granulometría material subrasante en la SC 60012, estación 605+650</b>				
<b>Tamiz (in)</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Porcentaje pasando sondeo 2</b>	<b>Porcentaje pasando sondeo 3</b>	<b>Granulometría Promedio</b>
3"	76.2	100	100	100
2 1/2"	63	100	100	100
2"	50.1	97	100	98.5
1 1/2"	38.5	97	96	96.5
1"	25	96	91	93.5
3/4"	19	87	85	86
1/2"	12.5	87	83	85
3/8"	9.5	87	82	84.5
N°4	4.7	80	82	81
N°8	2.36	80	82	81
N°10	2	80	81	80.5
N°16	1.18	80	81	80.5
N°30	0.6	80	81	80.5
N°40	0.42	74	81	77.5
N°50	0.3	74	81	77.5
N°100	0.15	74	81	77.5
N°200	0.075	62.6	64.9	63.75

Fuente: Laboratorio ITP



**Figura 32.** Curva Granulométrica de la subrasante en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Laboratorio ITP.

Los resultados de la granulometría de suelos realizada para el tramo de la SC 60001, estación

350+080 se presentan en los cuadros 18,19 y 20. La curva granulométrica característica de esos materiales se presenta en las figuras.

**CUADRO 18. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL BASE EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Granulometría material base en la SC 60001, estación 350+080					
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Porcentaje pasando sondeo 1	Porcentaje pasando sondeo 2	Porcentaje pasando sondeo 3	Granulometría Promedio
3"	76.2	100	100	100	100.0
2 1/2"	63	100	100	100	100.0
2"	50.1	100	100	100	100.0
1 1/2"	38.5	99	90	90	93.0
1"	25	93	82	82	85.7
3/4"	19	82	74	73	76.3
1/2"	12.5	61	67	66	64.7
3/8"	9.5	50	59	58	55.7
N°4	4.7	30	47	46	41.0
N°8	2.36	30	47	46	41.0
N°10	2	16	29	30	25.0
N°16	1.18	16	29	30	25.0
N°30	0.6	16	29	30	25.0
N°40	0.42	9	19	18	15.3
N°50	0.3	9	19	18	15.3
N°100	0.15	9	19	18	15.3
N°200	0.075	5.4	5.6	6	5.7

Fuente: Laboratorio ITP.

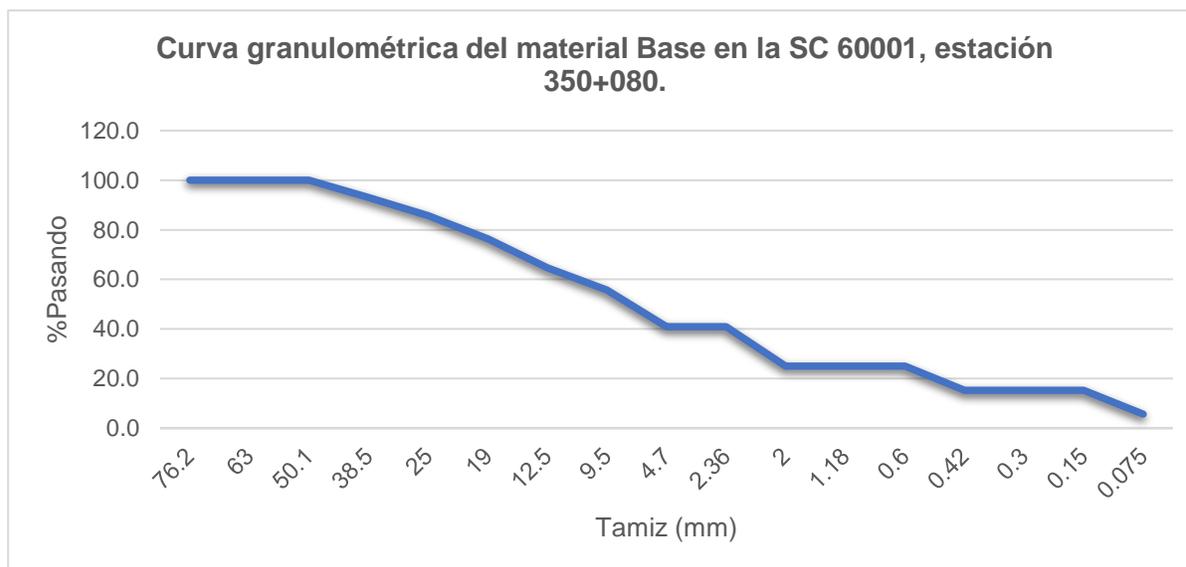


Figura 33. Curva granulométrica del material base en la SC 60012, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 19. GRANULOMETRÍA PROMEDIO DE LA SUB-BASE EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Granulometría material sub-base en la SC 60001, estación 350+080					
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Porcentaje pasando sondeo 1	Porcentaje pasando sondeo 2	Porcentaje pasando sondeo 3	Granulometría Promedio
3"	76.2	100.0	100.0	100.0	100.0
2 1/2"	63	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.1	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.5	94.0	90.0	95.0	93.0
1"	25	91.0	81.0	91.0	87.7
3/4"	19	81.0	75.0	80.0	78.7
1/2"	12.5	68.0	68.0	66.0	67.3
3/8"	9.5	58.0	59.0	56.0	57.7
Nº4	4.7	42.0	45.0	40.0	42.3
Nº8	2.36	42.0	45.0	40.0	42.3
Nº10	2	29.0	30.0	28.0	29.0
Nº16	1.18	29.0	30.0	28.0	29.0
Nº30	0.6	29.0	30.0	28.0	29.0
Nº40	0.42	15.0	22.0	14.0	17.0
Nº50	0.3	15.0	22.0	14.0	17.0
Nº100	0.15	15.0	22.0	14.0	17.0
Nº200	0.075	8.6	8.0	7.7	8.1

Fuente: Laboratorio ITP.

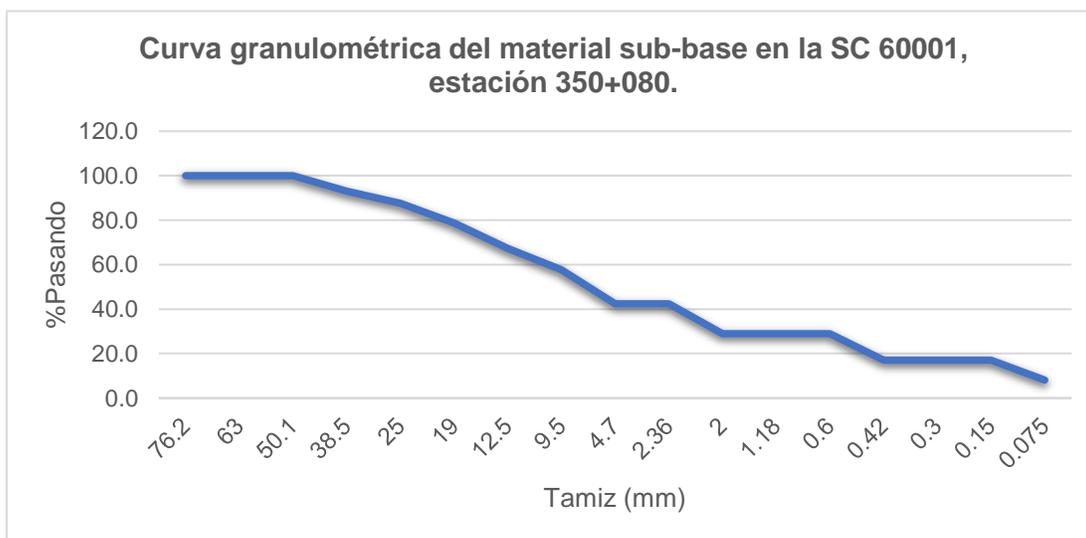


Figura 34. Curva granulométrica de la subbase en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 20. GRANULOMETRÍA PROMEDIO MATERIAL DE PRÉSTAMO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

<b>Granulometría material de Préstamo en la SC 60001, estación 350+080</b>					
<b>Tamiz (in)</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Porcentaje pasando sondeo 1</b>	<b>Porcentaje pasando sondeo 2</b>	<b>Porcentaje pasando sondeo 3</b>	<b>Granulometría Promedio</b>
3"	76.2	100	100.0	100	100.0
2 1/2"	63	100	100.0	100	100.0
2"	50.1	100	100.0	100	100.0
1 1/2"	38.5	91	96.0	98	97.0
1"	25	83	93.0	93	93.0
3/4"	19	74	85.0	82	83.5
1/2"	12.5	68	71.0	61	66.0
3/8"	9.5	60	61.0	50	55.5
Nº4	4.7	48	43.0	31	37.0
Nº8	2.36	48	43.0	31	37.0
Nº10	2	29	29.0	17	23.0
Nº16	1.18	29	29.0	17	23.0
Nº30	0.6	29	29.0	17	23.0
Nº40	0.42	19	16.0	10	13.0
Nº50	0.3	19	16.0	10	13.0
Nº100	0.15	19	16.0	10	13.0
Nº200	0.075	5.9	7.9	5.7	6.8

Fuente: Laboratorio ITP.

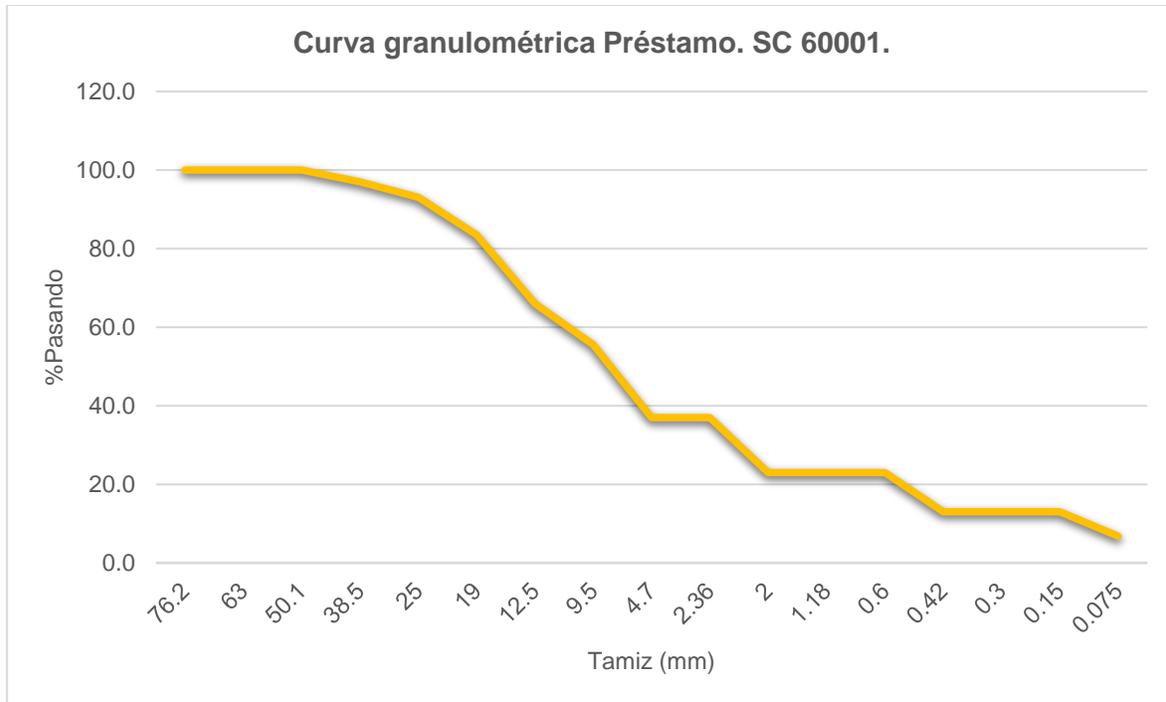


Figura 35. Curva granulométrica de la subbase en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

La distribución granulométrica y el resultado del límite líquido e índice plástico de los suelos

presentes en los tramos de la sección de control 60012 y la sección de control 60001 son presentados en el siguiente cuadro.

### CUADRO 21. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA Y LÍMITES DE ATTERBERG. SC 60012 Y SC 60001.

Distribución granulométrica y límites de Atterberg.								
	SC 60012, estación 605+650.				SC 60001, estación 350+080			
	%Grosos	%Finos	LL	IP	%Grosos	%Finos	LL	IP
Base	59	41	NP	NP	60	40	NP	NP
Subbase	66	33	NP	NP	58	43	NP	NP
Subrasante/Préstamo	19	81	39	15	59	41	NP	NP

Fuente: Laboratorio ITP.

En los cuadros 22 y 23 se presenta la clasificación AASHTO de los suelos, realizada a partir de los

resultados de ensayos de granulometría hechos tanto en la sección de control 60012 como para la sección de control 60001.

**CUADRO 22. CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL SEGÚN EL MÉTODO AASHTO. SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Clasificación de materiales por el método AASHTO. SC 60012, estación 605+650	
Capa	Clasificación
Base	A-1-a(0)
Subbase	A-1-a(0)
Subrasante	A-6(9)

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 23. CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL SEGÚN EL MÉTODO AASHTO. SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Clasificación de materiales por el método AASHTO. SC 60001, estación 350+080	
Capa	Clasificación
BE-25	A-1-a(1)
Subbase	A-1-a(0)
Préstamo	A-1-a(1)

Fuente: Elaboración Propia.

**Resultados del ensayo Proctor estándar**

En los cuadros 24 y 25 se presentan los resultados de la condición de humedad actual de los suelos

existentes, así como el resultado de la humedad óptima y la densidad seca máxima alcanzada.

**CUADRO 24. RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR EN LA SC 60012.**

Resultados del ensayo proctor estándar. SC 60012, estación 605+650.			
Material	% de humedad	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
Base	3.54	2194.75	7.85
Subbase	2.37	2110.00	7.40
Subrasante	16.09	1595.00	18.60

Fuente: Laboratorio ITP.

## CUADRO 25. RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR EN LA SC 60001.

Resultado del ensayo proctor estándar. SC 60001, estación 350+080.			
Material	% de humedad	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
Base	3.97	2038.00	9.50
Subbase	3.52	2100.00	8.33
Préstamo	4.35	2016.67	9.07

Fuente: Laboratorio ITP.

## Resultados del ensayo CBR

El cuadro 26 muestra el resultado del ensayo CBR a un 95% de compactación, tanto para el tramo de

la sección de control 60012, como para el tramo de la sección de control 60001.

## CUADRO 26. VALORES CBR

	Valor CBR	
	SC 60012, estación 605+650	SC 60001, estación 350+080
Base/Base estabilizada	82.25	76.5
Subbase	90	96.7
Subrasante/Préstamo	8.2	84.7

Fuente: Laboratorio ITP.

## Resultados mezcla asfáltica SC 60012, estación 605+650 y SC 60001, estación 350+080

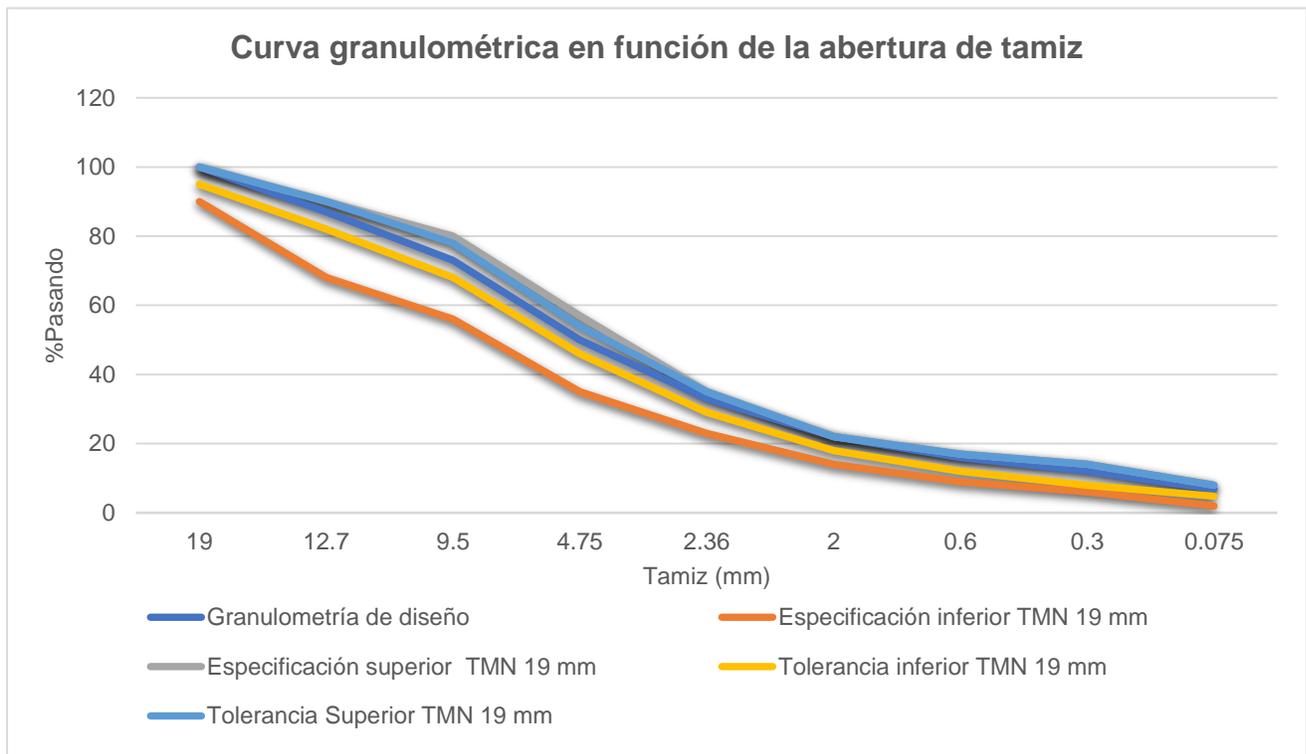
Los resultados de la granulometría de diseño fueron comparados con la especificación y tolerancias establecidas en el Manual CR-2010

para un T.M.N de 19 mm en la SC 60012 y un T.M.N de 12.5 mm en la SC 60001.

**CUADRO 27. GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LA SC 60012.**

Granulometría de diseño de la mezcla asfáltica en la SC 60012, estación 605+650.						
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Granulometría de Diseño	Especif. CR-2010 TMN 19 mm		Tolerancias CR-2010 TMN 19 mm	
3/4"	19	100	90	100	95	100
1/2"	12.7	87.0	68	90	82	90
3/8"	9.5	73.0	56	80	68	78
N° 4	4.75	50.0	35	57	46	54
N° 8	2.36	33.0	23	35	29	35
N° 16	2	22.0	14	22	18	22
N° 30	0.6	16.0	9	17	12	17
N° 50	0.3	12.0	6	14	8	14
N° 200	0.075	6.8	2	8	4.8	8

Fuente: Laboratorio ITP.

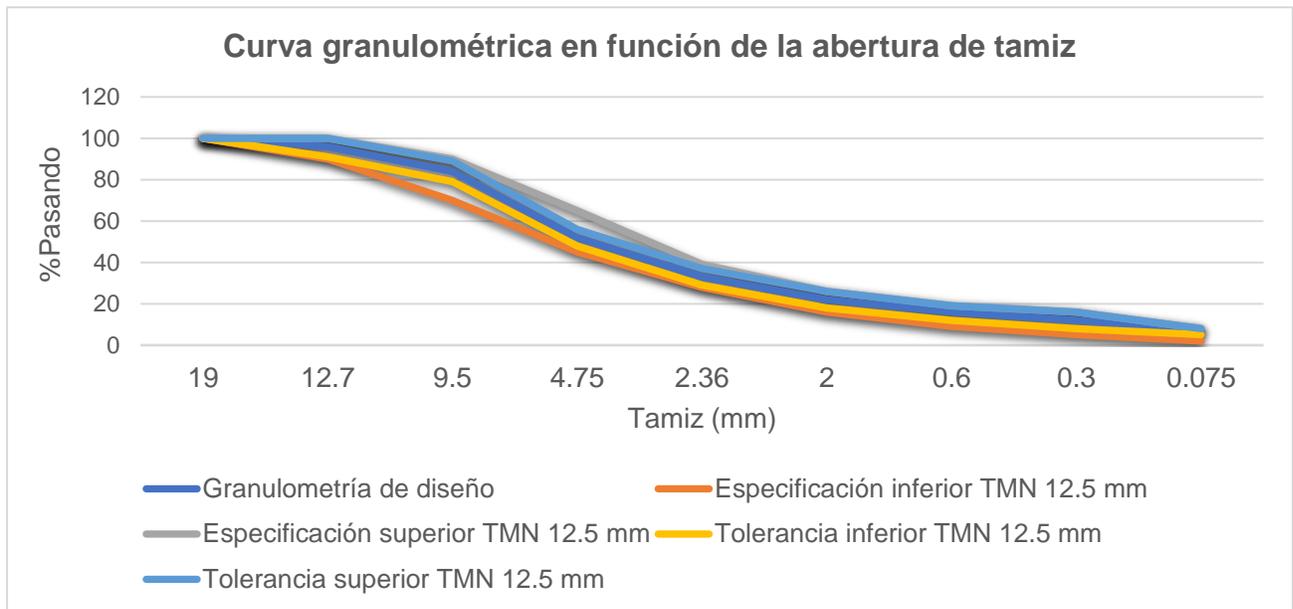


**Figura 36.** Curva Granulométrica de la mezcla asfáltica en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 28. GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LA SC 60001.**

Granulometría de diseño de la mezcla asfáltica en la SC 60001, estación 350+080.						
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Granulometría de Diseño	Especif. CR-2010 TMN 12.5 mm		Tolerancias CR-2010 TMN 12.5 mm	
3/4"	19	100	100	100	100	100
1/2"	12.7	96.0	90	100	91	100
3/8"	9.5	84.0	70	90	79	89
N° 4	4.75	52.0	45	65	48	56
N° 8	2.36	33.0	28	39	29	37
N° 16	2	22.0	16	26	18	26
N° 30	0.6	16.0	9	19	12	19
N° 50	0.3	12.0	5	16	8	16
N° 200	0.075	7.1	2	8	5.1	8

Fuente: Laboratorio ITP.



**Figura 37.** Curva Granulométrica de la mezcla asfáltica en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 29. PROPIEDADES RELEVANTES DE LAS PASTILLAS DE MEZCLÁ ASFÁLTICA.

Parámetros volumetricos de la MAC				
Parámetro	SC 60012	SC 60001	Valor optimo de diseño	Especificación
Contenido de asfalto	6,51	6,01	5,7	5,20 - 6,20
% Vacíos de aire en campo	2,42	4,1	4	3,0 - 7,0%
VMA	-	14,7	15,01	14% mínimo
VFA	-	72	73	65% - 75%
%Asfalto efectivo	-	4,63	4,83	-
Polvo/asfalto	-	1,5	1,16	0,6% - 1,6%
Gravedad específica bruta (Gmb)	2,420	2,386	2,376	2,280-2,400
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,483	2,488	2,449	2,440-2,520
% de compactación en campo	97,6	95,9	-	92%-97%

Fuente: Laboratorio ITP.

### Grado por desempeño de cemento asfáltico

Se utilizó la aplicación “Grado de desempeño (PG) para la selección de asfalto” desarrollada por LanammeUCR para determinar cuál es el tipo de cemento asfáltico recomendado por colocar en los

tramos afectados, tomando en consideración las condiciones del entorno y la velocidad de la carga. El resultado indica un grado PG-76 para ambos tramos estudiados.

## CUADRO 30. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO RECOMENTADO PARA LOS TRAMOS POR INTERVENIR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Clasificación cemento asfáltico Grado PG para la SC 60012, estación 605+650.							
Provincia	Cantón	Distrito	Temperatura de diseño (°C)	Porcentaje de confianza usado (%)	ESAL 'S	Velocidad del tránsito	Grado PG
Puntarenas	Golfito	Guaycara	35	95	0.3 millones a 30 millones	Detenido	PG-76
Clasificación cemento asfáltico Grado PG para la SC 60001, estación 350+080.							
Puntarenas	Corredores	Paso Canoas	35	95	0.3 millones a 30 millones	Detenido	PG-76

### Deflectometría por impacto

Las deflexiones obtenidas a partir del ensayo de deflectometría por impacto (FWD) fueron categorizadas mediante los rangos de deflexiones, según TPD expuestos por LanammeUCR en la

figura 23 del marco teórico de este proyecto. Para la SC 60012 todas los puntos muestreados fueron clasificados con deflexión baja, mientras que en la SC 60001 solo un punto muestreado arrojó una deflexión moderada.

Resultados de la deflectometría de impacto SC 60012, estación 605+650.		
Sentido La Guaria-Río Claro		
Estación	Deflexión (mm*10 <sup>-2</sup> )	Categoría
305+481	35.73	Baja
305+506	40.88	Baja
305+531	38.88	Baja
305+557	40.88	Baja
305+581	28.36	Baja
305+607	43.18	Baja
305+631	45.69	Baja
305+656	39.01	Baja
305+681	48.59	Baja
305+706	30.11	Baja
305+732	53.97	Baja
305+757	41.79	Baja
305+781	47.5	Baja
305+807	32.66	Baja
305+831	37.5	Baja
305+857	27.57	Baja
305+881	29.82	Baja
305+907	39.86	Baja
305+932	41.27	Baja
305+957	39.57	Baja
305+981	46.89	Baja
306+007	46.29	Baja
306+041	47.89	Baja

Resultados de la deflectometría de impacto SC 60012, estación 605+650.		
Sentido Río Claro-La Guaria.		
Estación	Deflexión (mm*10 <sup>-2</sup> )	Categoría
305+481	39.94	Baja
305+506	36.3	Baja
305+531	24.12	Baja
305+556	18.38	Baja
305+581	25.72	Baja
305+606	32.25	Baja
305+631	40.7	Baja
305+656	28.83	Baja
305+681	33.63	Baja
305+706	31.18	Baja
305+731	35.79	Baja
305+756	27.15	Baja
305+781	57.76	Baja
305+806	48.17	Baja
305+831	24.15	Baja
305+856	42.24	Baja
305+881	59.08	Baja
305+906	38.53	Baja
305+931	38.43	Baja
305+956	45.59	Baja
305+982	46.97	Baja
305+006	35.42	Baja
306+041	40.99	Baja

Figura 39. Resultados de deflectometría por impacto en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la deflectometría de impacto SC 60001, estación 350+080.		
Sentido Paso Canoas-Río Claro.		
Estación	Deflexión (mm*10 <sup>-2</sup> )	Categoría
344+117	39.87	Baja
344+154	44.48	Baja
344+167	41.1	Baja
344+192	78.8	Moderada

Figura 40. Resultados de deflectometría de impacto en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 41.** Gráfico de deflexiones vs estacionamiento. SC 60012, estación 605+650. Sentido La Guaria-Río Claro. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 42.** Gráfico de deflexiones vs estacionamiento. SC 60012, estación 605+650, sentido Río Claro-La Guaria. Fuente: Elaboración propia.

La deflectometría por impacto también fue utilizada para conocer mediante el retrocálculo, los módulos de rigidez de los materiales así como el número estructural del paquete de pavimento actual. Los resultados de los materiales granulares arrojaron módulos típicos de los materiales utilizados como

base y sub-base, mientras que el módulo de la MAC en ambos tramos arroja un resultado por debajo del valor típico de las mezclas asfálticas convencionales (450 000 psi), según lo expuesto por Castro (2020).

Retrocálculo de módulo de rigidez y número estructural					
Sentido	MAC (psi)	BG (psi)	SB (psi)	SR (psi)	SN Retrocalculado
La Guaria-Paso Canoas	353158.02	47247.90	27395.23	6199.81	6.07
Paso Canoas-La Guaria	388384.89	46176.35	34656.20	7779.31	6.36

Figura 43. Módulos de rigidez y números estructural retrocalculados para la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

Retrocálculo de módulo de rigidez y número estructural.					
Sentido	MAC (psi)	BE-25 (psi)	SB (psi)	SR (psi)	SN retrocalculado
Paso Canoas-Río Claro	239226.86	45778.31	35886.70	6670.23	4.24

Figura 44. Módulos de rigidez y números estructural retrocalculados para la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.

## Medición vehicular

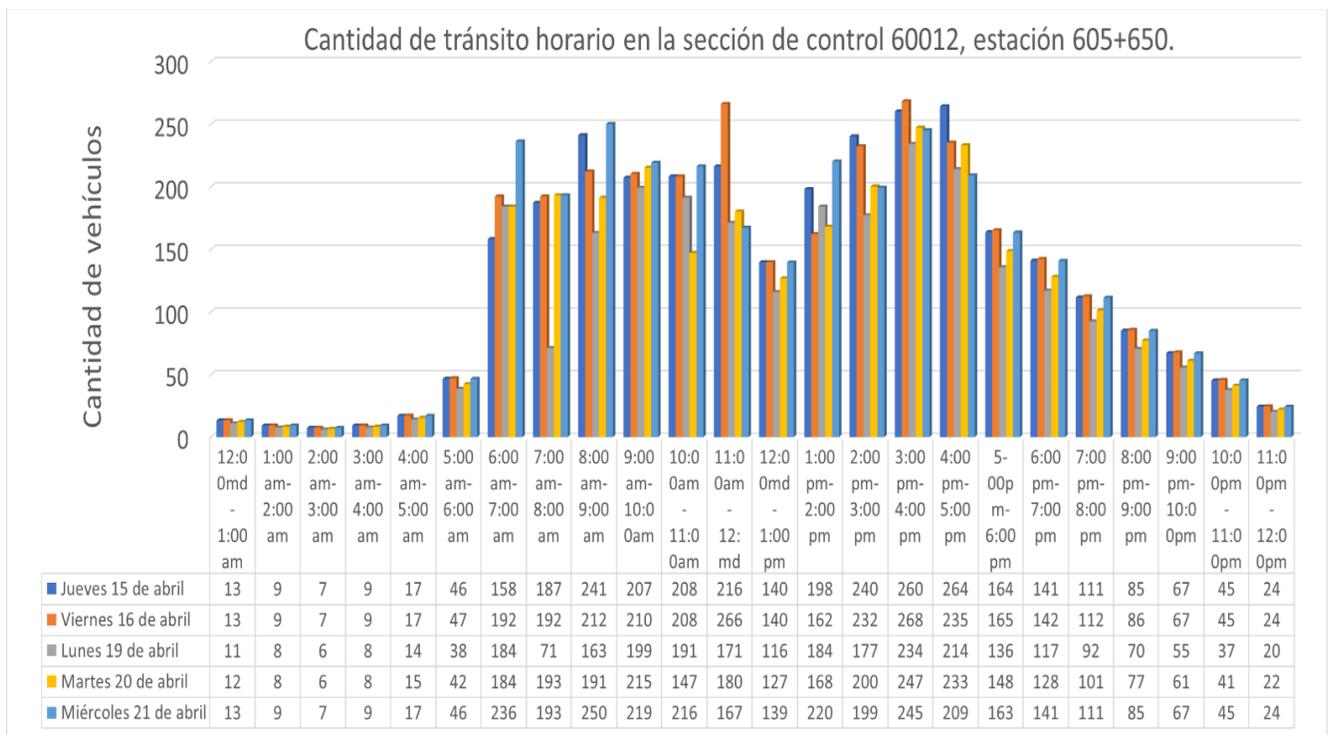
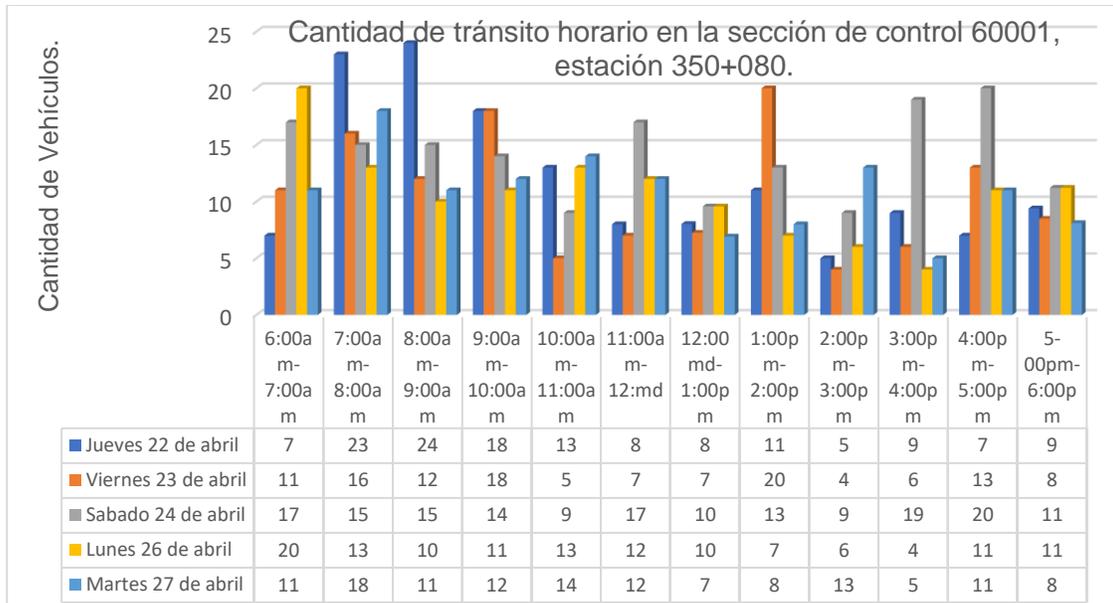
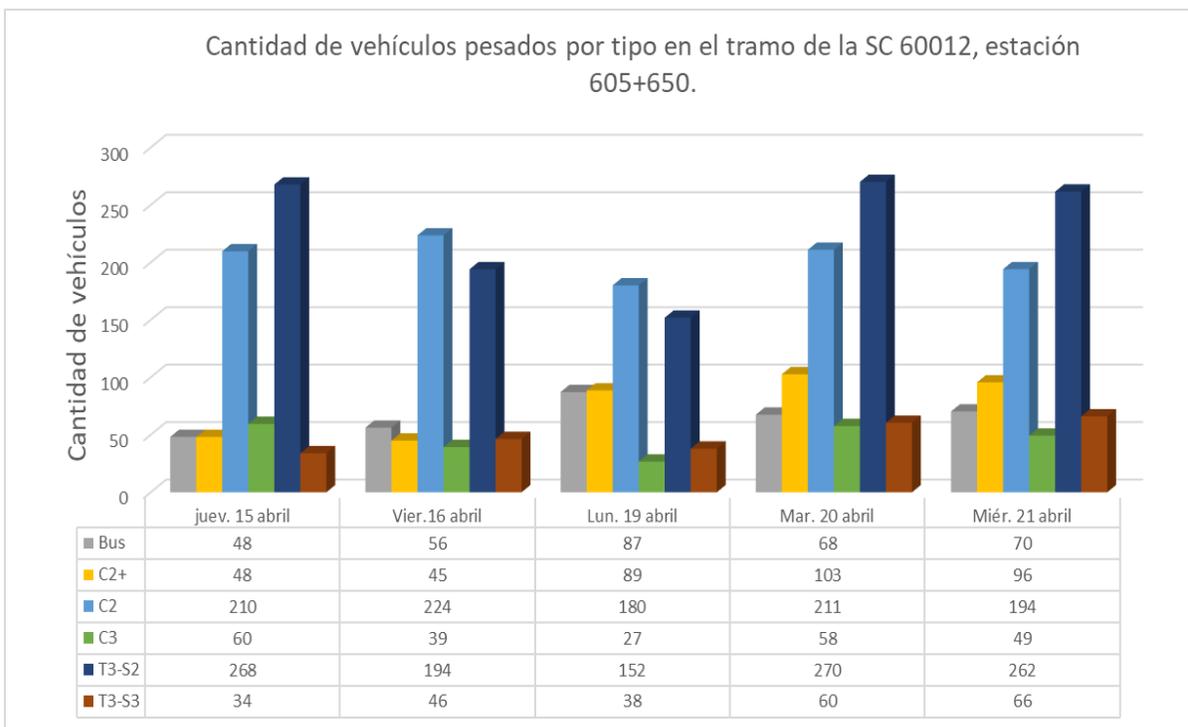


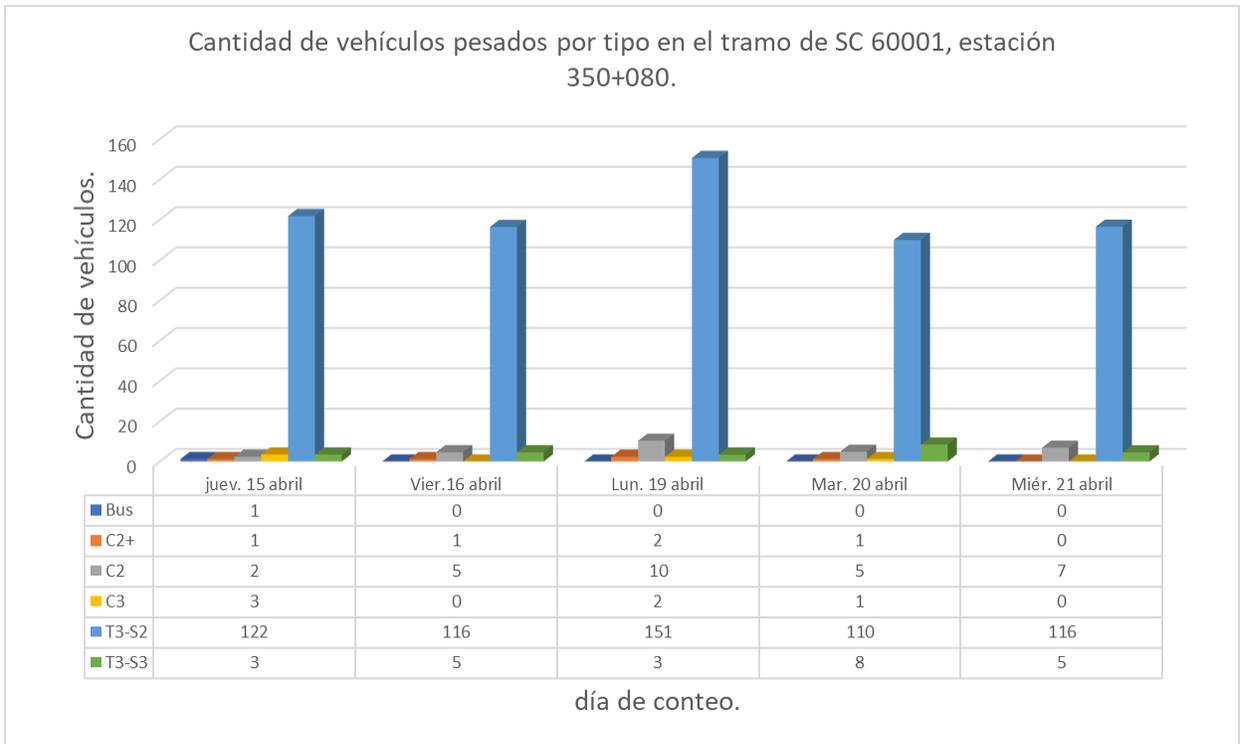
Figura 45. Cantidad de tránsito horario por día de recuento en el tramo de la sección de control 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.



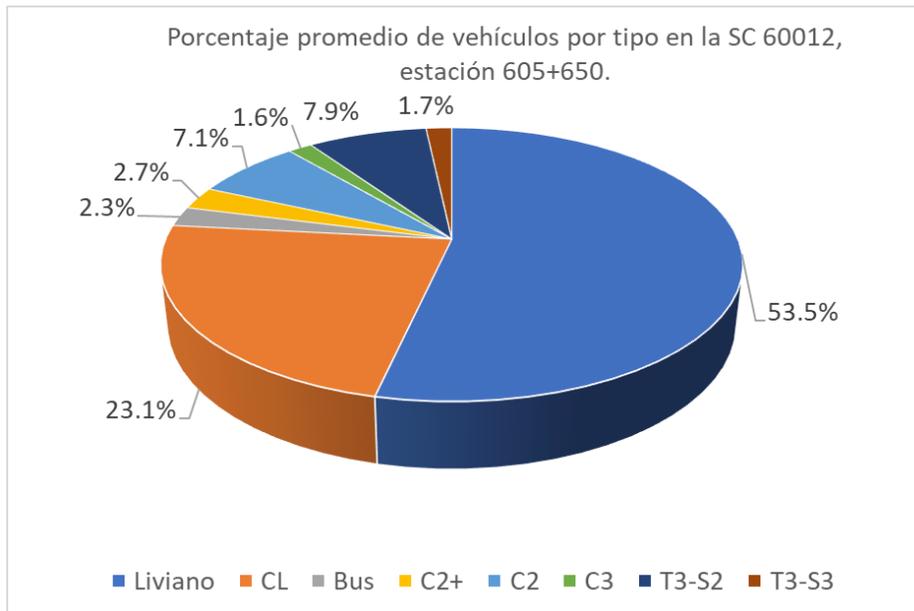
**Figura 46.** Cantidad de tránsito horario por día de recuento en el tramo de la sección de control 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 47.** Cantidad de vehículos pesados clasificados por tipo y día de circulación en el tramo de la sección de control 60012, estación 305+650. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 48.** Cantidad de vehículos pesados clasificados por tipo y día de circulación en el tramo de la sección de control 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 49.** Cantidad de vehículos promedio por tipo en la sección de control 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.

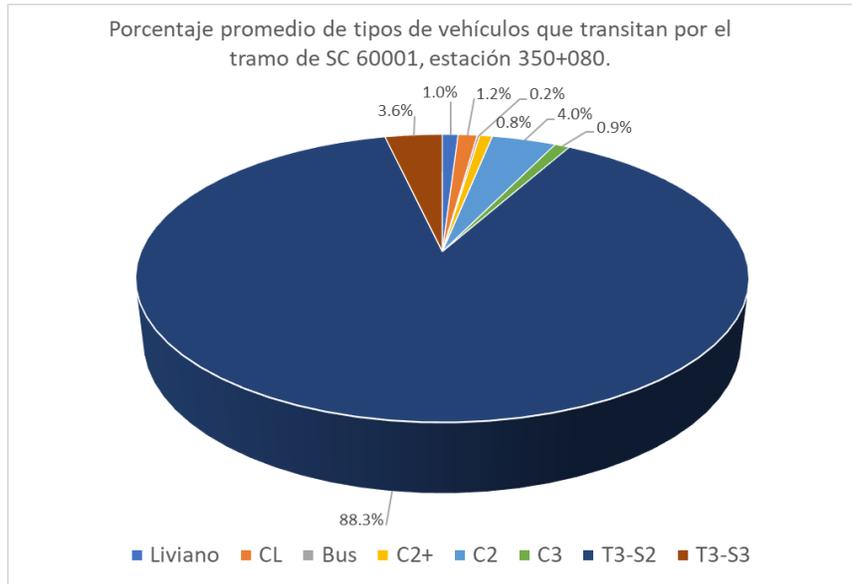


Figura 50. Cantidad de vehículos promedio por tipo en la sección de control 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.

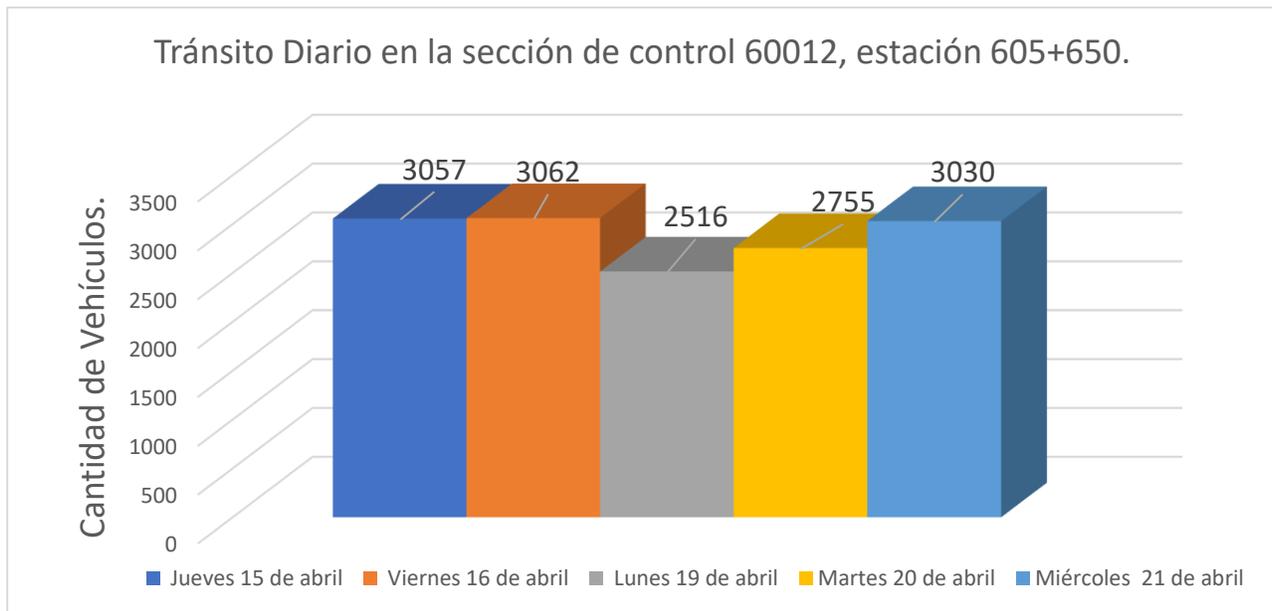
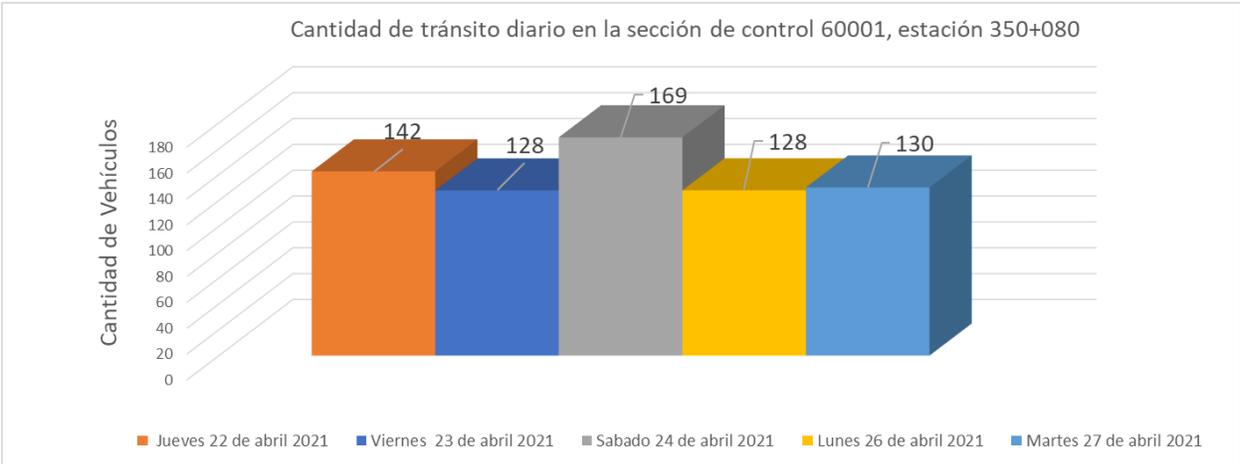
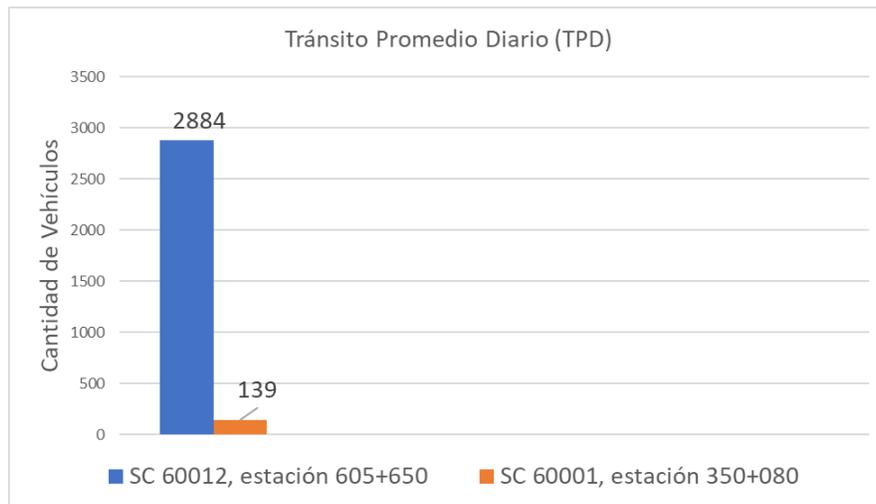


Figura 51. Tránsito Diario en el tramo de la sección de control 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 52.** Tránsito Diario en el tramo de la sección de control 60001, estación 605+650. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 53.** Tránsito Promedio Diario en la sección de control 60012, estación 605+650 y la sección de control 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración Propia.

El cuadro 30 y 31 muestra los resultados del peso bruto total de los vehículos que transitan los tramos de la SC 60012 y la SC 6000, obtenidos a partir del control de pesos utilizando una romana móvil con la colaboración de personeros del CONAVI. Los controles fueron realizados en horario de 6 a.m. a 2 p.m. y para el caso de la SC 60001 no fue posible obtener datos de los vehículos tipo T3-S3.

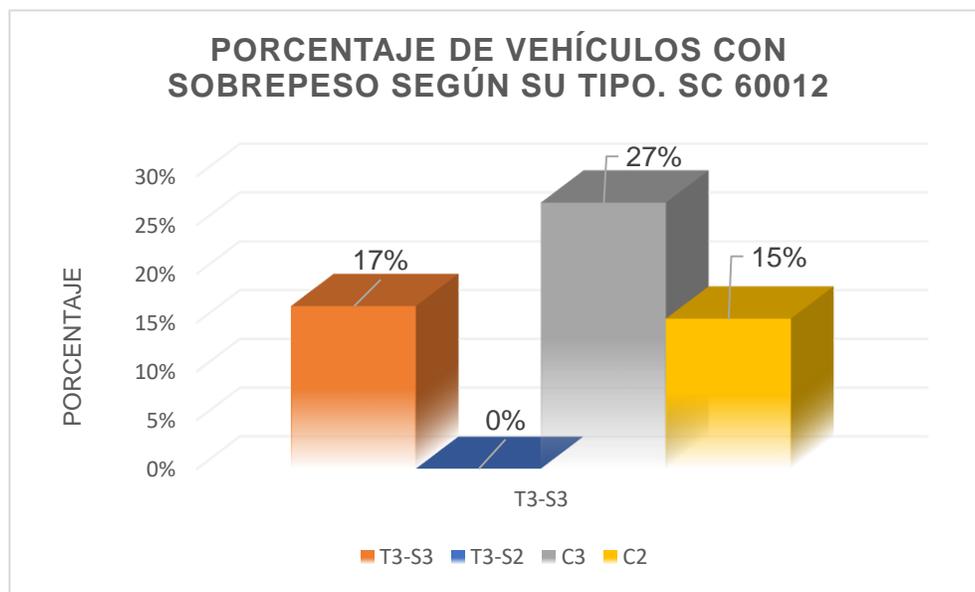
En las figuras 54 y 55 se presentan la cantidad de vehículos muestreados con un peso mayor al permitido en el Decreto Ejecutivo N°31363 en ambos tramos estudiados.

En la SC 60012 se encontró que los vehículos tipo C3 son los que más viajan con sobre peso, seguidos de los T3-S3. Para la SC 60001, algunos vehículos C2 circulaban con carga en exceso.

**CUADRO 30. RESULTADOS DEL CONTROL DE PESO SC 60012, ESTACIÓN 305+650.**

Resultados del control de pesos.		
SC 60012, estación 305+650		
Tipo	Rango PBT (kg)	PBT Promedio (kg)
T3-S3	16460-50360	33410
T3-S2	13440-41160	27300
C3	10330-30330	20330
C2	3490-15530	9510
Bus	14400-18830	16615
C2+	2610-3010	5620

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 54.** Vehículos con sobrepeso en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 31. RESULTADOS DEL CONTROL DE PESO SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de pesos.		
SC 60001, estación 350+080		
Tipo	Rango PBT (kg)	PBT Promedio (kg)
T3-S3	29550-43260	38432
T3-S2	14830-37980	26405
C3	15895-20990	18443
C2	4910-7700	12610
Bus	10350-11510	21860
C2+	29550-43260	36405

Fuente: Elaboración propia.

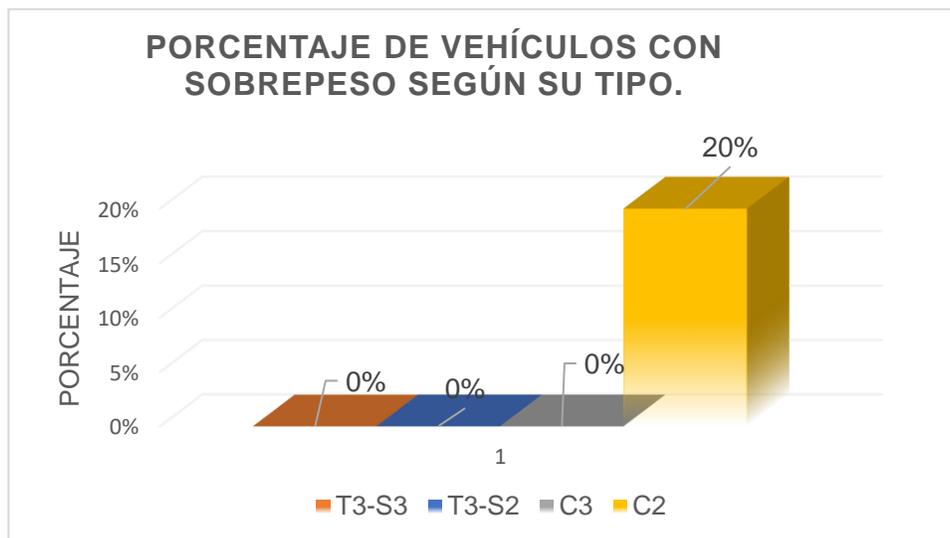


Figura 55. Porcentaje de vehículos con sobrepeso en la SC 6001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

En los cuadros 32 y 33 se muestran los resultados del factor camión para el vehículo más pesado, el vehículo promedio, el percentil 84 de los datos, el factor camión máximo permitido según el decreto ejecutivo N°31363 y los utilizados en el diseño inicial.

Se asumió un número estructural SN=5 y un índice de servicio terminal  $pt=2.5$ .

Se comparó el factor camión del vehículo más pesado, el vehículo promedio, el percentil 84. Se conoce que la Guía de Diseño AASHTO (1993) recomienda utilizar los factores camión promedio,

sin embargo, por solicitud de los ingenieros de la constructora Meco S.A, se tomó la decisión de diseñar para los factores máximos, ya que, estos responden a cargas críticas a las que están expuestas ambos tramos, además de que en estos sitios las velocidades de carga son bajas y las temperaturas son altas, lo cual genera una condición donde el problema de sobrepeso se acentúa más.

El procedimiento de los resultados del factor camión se encuentran en el apéndice 63 hasta el apéndice número 116.

### CUADRO 32. FACTORES CAMIÓN CORRESPONDIENTES A LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.

Factores camión correspondientes a la SC 60012, estación 605+650.						
	Tipo de vehículo.					
	T3-S3	T3-S2	C3	C2	Bus C2	C2+
Vehículo más pesado reportado	4.854	4.602	5.393	0.294	0.876	0.002
Vehículo promedio	1.846	0.619	0.705	0.035	0.412	0.002
Percentil 84	4.305	2.321	1.606	0.154	0.606	0.002
Decreto ejecutivo N°31363	3.204	3.356	1.831	0.498	0.498	No indica
Oficio DVOP-5170-07	2.49	2.38	1.28	0.63	2.29	0.07

Fuente: Elaboración Propia.

### CUADRO 33. FACTORES CAMIÓN CORRESPONDIENTES A LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

Factores camión correspondientes a la SC 60001, estación 350+080.						
	Tipo de vehículo.					
	T3-S3	T3-S2	C3	C2	Bus C2	C2+
Vehículo más pesado reportado	2.700	2.914	1.285	0.022	0.113	No reportado
Vehículo promedio	1.645	0.458	0.583	0.011	0.151	No reportado
Percentil 84	2.723	2.192	0.876	0.022	0.233	No reportado
Decreto ejecutivo N°31363	3.231	3.357	1.831	0.498	0.498	No indica
Oficio DVOP-5170	2.49	2.38	1.28	0.63	2.29	0.07

Fuente: Elaboración propia.

Los ejes equivalentes de diseño para ambos tramos fueron desarrollados con base en los lineamientos de la Guía de Diseño de la AASHTO 1993, para un período de diseño de 8 años. El

factor de crecimiento utilizado fue el expuesto en el Anuario Información de Tránsito del MOPT (2015). El desarrollo de este parámetro se encuentra en la figura del AP-117 y AP-118.

### CUADRO 34. EJES EQUIVALENTE DISEÑO PARA LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.

Tipo de Vehículo	EEQ Aaunales	Factor crecimiento	EEQ diseño
C2+	86823.86	9.36	812376.62
C2	384862.45	9.36	3601006.20
C3	91545.44	9.36	856554.56
T3-S2	21877.14	9.36	204695.78
T3-S3	21075.38	9.36	197194.01
Total			5671827.16
EEQ diseño total	Factor direccional	Factor carril	EEQ carril diseño
5671827.16	50%	100%	2835913.58

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 35. EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO PARA LA SECCIÓN DE CONTROL 60001, ESTACIÓN 305+080.**

Tipo de Vehículo	EEQ A anuales	Factor crecimiento	EEQ diseño
C2+	4833.34	9.36	45223.68
C2	130808.98	9.36	1223928.05
C3	649.39	9.36	6076.10
T3-S2	46.26	9.36	432.82
T3-S3	19.50	9.36	182.42
Total			1275843.075
EEQ diseño total	Factor direccional	Factor carril	EEQ carril diseño
1275843.07	100%	100%	1275843.07

Fuente: Elaboración propia.

**Diseño estructural.**

Se han diseñado cuatro estrategias de diseño posibles para eliminar los deterioros presentes en cada tramo estudiado. El diseño fue basado en los lineamientos descritos por la Guía de diseño AASHTO (1993), donde el número estructural

propuesto debe ser mayor al requerido. Posteriormente, se hizo la revisión de los criterios de falla contemplados en los modelos mecánicos para un diseño satisfactorio de la estructura.

**Estrategias de diseño para la SC 60012, estación 605+650**

**Intervención 1 en la SC 60012: Perfilar parcialmente 5 cm de la carpeta asfáltica existente y colocar una sobrecapa de asfalto con polímero.**

Siguiendo los lineamientos de la Guía de diseño AASHTO (1993), se establecieron los parámetros

de diseño asociados a las características y condiciones del sitio.

**CUADRO 36. PARÁMETROS DE DISEÑO CONSIDERADOS EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Nivel de confianza R (%):	90
So:	0.49
EEQ :	2.8.E+06
$\Delta$ PSI	1.7
m <sub>i</sub>	1
Z <sub>r</sub>	1.282

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades de los materiales existentes fueron determinados mediante ensayos de laboratorio, además, los factores de diseño de

estos materiales fueron obtenidos mediante los nomogramas de la AASHTO 1993. El módulo de rigidez de la mezcla asfáltica con polímero y el

coeficiente estructural asociado fue el expuesto en Oficio LM-PI-055-2017 desarrollado por LanammeUCR.

**CUADRO 37. MÓDULO DE RIGIDEZ Y FACTORES DE DISEÑO UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1. SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
sobrecapa mezcla asfáltica con polímero	750000	0.54	1
Carpeta asfáltica actual	363158	0.39	1
Base	28000	0.137	1
Sub-base	20000	0.138	1
Subrasante	11644	-	-

Fuente: Elaboración prop

A partir de las propiedades de los materiales, los factores asociados y condiciones de diseño propias del tramo, se evidencian los números estructurales y los espesores de capa propuestos.

La figura del Apéndice 119 presenta el desarrollo de esta alternativa.

**CUADRO 38. NÚMERO ESTRUCTURAL Y ESPESORES DE CAPA PROPUESTOS PARA LA INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60012**

Capa	SN requerido	Espesor supuesto (cm)	SN por capa	SN propuesto
Sobrecapa asfáltica con polímeros	-	6	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	2.54	12	1.84	3.12
Base	2.88	25	1.35	4.47
Sub-base	3.55	27	1.47	5.93

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los espesores propuestos para la estructura de pavimento mediante la metodología AASHTO 1993, es posible mediante modelación en el software 3D-Move conocer las

deformaciones, esfuerzos y desplazamientos máximos en el pavimento. El resultado de la totalidad de las deformaciones, esfuerzos y desplazamiento se detalla en el anexo 53.

**CUADRO 39. MÁXIMAS DEFORMACIONES UNITARIAS EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO. INTERVENCIÓN 1 SC 60012.**

$\epsilon_t$ sobrecapa asfáltica (m)	4.2.E-05
$\epsilon_t$ carpeta asfáltica (m)	1.47E-04
$\epsilon_c$ Sub-rasante (m)	2.23E-04

Fuente: 3D-Move.

Se revisó el desempeño de la carpeta sobrecapa asfáltica, la carpeta asfáltica actual y la

subrasante, a partir del resultado de las deformaciones.

Se utilizaron los modelos de desempeño del Instituto del Asfalto para un 20% de agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica actual y sobrecapa, así como, el modelo también desarrollado por el Instituto del Asfalto para conocer la falla por deformación plástica en la subrasante.

Como criterio de aceptación el número de repeticiones de ejes equivalentes para la falla debe ser mayor a la cantidad de ejes equivalentes de diseño.

#### CUADRO 40. RESULTADOS CRITERIOS DE DESEMPEÑO MECANÍSTICOS EN LA SC 60012, INTERVENCIÓN 1.

Falla por fatiga $N_f$ sobrecapa	2.E+08
Falla por fatiga $N_f$ carpeta asfáltica	5.94E+06
Falla por deformación $N_R$	3.05.E+07
$N_{18}$	3.E+06
$N_f > N_{18}$	Cumple
$N_f > N_{18}$	Cumple
$N_R > N_{18}$	Cumple
$N_{18}/N_{Fs} < 1$	Cumple
$N_{18}/N_{Fc} < 1$	Cumple
$N_{18}/N_R < 1$	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

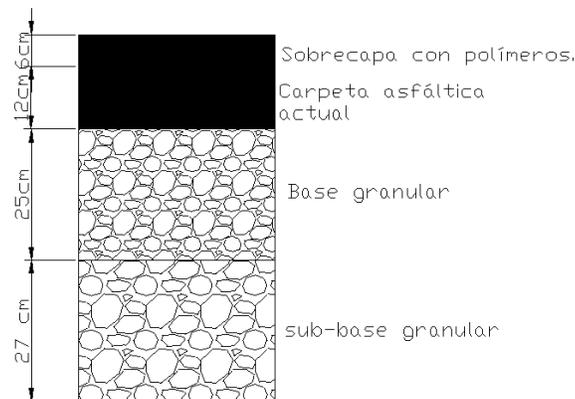


Figura 56. Espesores de capa propuestos para la intervención 1 en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

#### Intervención 2 en la SC 60012: colocar una sobrecapa de mezcla asfáltica con polímero.

Los parámetros de diseño iniciales son propios de las características de la ruta, en este caso se mantienen los mismos parámetros y

consideraciones hechas para la intervención 1, debido a que esta intervención también es planteada para dar solución al tramo afectado en SC 60012.

**CUADRO 41. PARÁMETROS IMPORTANTES CONSIDERADOS EL DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012.**

Nivel de confianza R (%):	90
So:	0.49
EEQ :	2.8.E+06
$\Delta$ PSI	1.7
$m_i$	1
Zr	-1.282

Fuente: Elaboración propia.

Se mantienen las mismas propiedades de los materiales propuestos para intervención 1. La

rigidez y los factores de diseño fueron determinados mediante los criterios de la metodología AASHTO 1993.

**CUADRO 42. PARÁMETROS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS. INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
sobrecapa mezcla asfáltica con polímero	750000	0.54	1
Carpeta asfáltica actual	363158	0.39	1
Base	28000	0.137	1
Sub-base	20000	0.138	1
Subrasante	11644	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo los procedimientos y recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO (1993), se expone el resultado del número estructural requerido y los espesores propuestos para la estrategia de diseño

2 en la SC 60012, donde se considera el uso de una sobrecapa de asfalto con polímeros tipo III para corregir las patologías presentes. Los resultados completos se presentan en la figura del Apéndice 120.

**CUADRO 43. NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO, PROPUESTO Y ESPESORES DE CAPA PARA LA INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Capa	SN requerido	Espesor supuesto (cm)	SN por capa	SN propuesto
Sobrecapa asfáltica con polímeros	-	6	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	2.54	17	2.61	3.89
Base	2.88	25	1.35	5.23
Sub-base	3.55	27	1.47	6.7

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de las deformaciones fue obtenido mediante la modelación en software de los

espesores propuestos con la metodología de la AASHTO. La totalidad de las deformaciones se presentan la figura del anexo 54.

**CUADRO 44. MÁXIMAS DEFORMACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA.  
INTERVENCIÓN 2 SC 60012**

$\epsilon_t$ sobrecapa asfáltica (m)	3.78.E-05
$\epsilon_t$ carpeta asfáltica (m)	1.14E-04
$\epsilon_c$ Sub-rasante (m)	1.78E-04

Fuente: 3D-Move.

Al igual que en la intervención 1, la estructura fue revisada mediante modelos de desempeño mecanístico-empíricos para pavimentos flexibles. Como parámetros de entrada se utilizaron las deformaciones del cuadro anterior para determinar la falla por deformación plástica en la subrasante

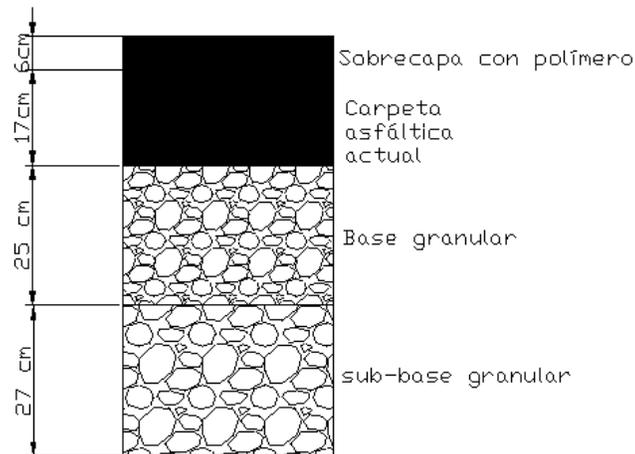
y el agrietamiento por fatiga en la sobrecapa y carpeta asfáltica actual.

Como criterio de aceptación la cantidad de ejes equivalentes para la falla debe ser mayor a la cantidad de ejes equivalentes de diseño.

**CUADRO 45. RESULTADOS MODELOS DE DESEMPEÑO MECANÍSTICOS PARA LA  
INTERVENCIÓN 2, SC 60012**

Falla por fatiga $N_f$ sobrecapa	3.E+08
Falla por fatiga $N_f$ carpeta asfáltica	7.35E+06
Falla por deformación $N_R$	8.39.E+07
$N_{18}$	3.E+06
$N_{F_s} > N_{18}$	Cumple
$N_{f_c} > N_{18}$	Cumple
$N_R > N_{18}$	Cumple
$N_{18}/N_{F_s} < 1$	Cumple
$N_{18}/N_{f_c} < 1$	Cumple
$N_{18}/N_R < 1$	Cumple

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 57.** Espesores de capa propuestos para estrategia de intervención 2 en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

**Intervención 3 en la SC 60012:** Perfilar la totalidad de la carpeta asfáltica actual y colocar una nueva carpeta asfáltica con polímeros.

**CUADRO 46. PARÁMETROS DE DISEÑO CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3. SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Nivel de confianza R (%):	90
So:	0.49
EEQ :	2.8.E+06
$\Delta$ PSI	1.7
$m_i$	1
$Z_r$	-1.282

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 47. PROPIEDADES Y FACTORES DE LOS MATERIALES PARA DISEÑO. SC 60012, INTERVENCIÓN 3.**

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
Carpeta asfáltica con polímeros	750000	0.54	1
Base	28000	0.137	1
Sub-base	20000	0.138	1
Subrasante	11644	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 48. NÚMEROS ESTRUCTURALES REQUERIDOS Y ESPESORES PROPUESTOS. SC 60012, INTERVENCIÓN 3.**

Capa	SN requerido	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Carpeta asfáltica con polímeros	2.54	13	2.76	2.76
Base	2.88	25	1.35	4.11
Sub-base	3.55	27	1.47	5.58

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 49. DEFORMACIONES UNITARIAS MÁXIMAS EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO. SC 60012, INTERVENCIÓN 3**

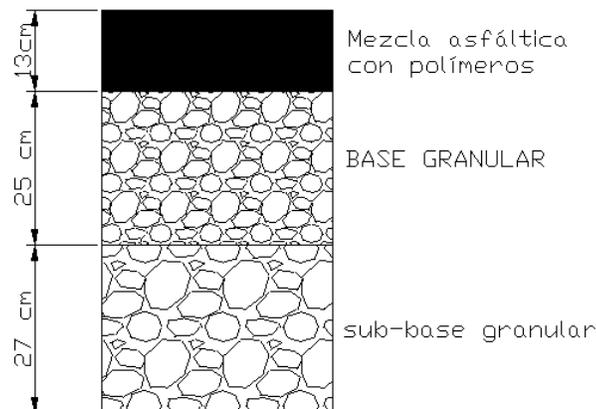
$\epsilon_t$ carpeta asfáltica (m)	1.51E-04
$\epsilon_c$ Sub-rasante (m)	2.72E-04

Fuente: 3D-Move.

**CUADRO 50. RESULTADO DEL MODELO DE DESEMPEÑO POR FATIGA Y DEFORMACIÓN PLÁSTICA. SC 60012, INTERVENCIÓN 3.**

Falla por fatiga $N_f$	2.91E+06
Falla por deformación $N_R$	1.24.E+07
N18	3.E+06
$N_f > N18$	Cumple
$N_R > N18$	Cumple

Fuente: 3D-Move.



**Figura 58.** Espesores de capa propuestos para la estrategia de intervención 3 en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

**Intervención 4 en la SC 60012. Perfilar totalmente la carpeta asfáltica actual y colocar una losa de concreto.**

El dimensionamiento del espesor de losa sigue los lineamientos de la metodología de la Guía de

Diseño de la AASHTO (1993). El desarrollo de los parámetros utilizados se encuentra en la figura del Apéndice 122.

$$300 \times 10^3 \text{ lb} = \left[ \frac{100 \times 10^3 \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{2.82}}} \right] + (4.22 - 0.32 \eta_1) \times 10^3 \left[ \frac{\eta_2 + C_d \left[ D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.43 \eta_2 \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(\eta_2/\eta_1)^{0.25}} \right]} \right]$$

Parámetros importantes	
Zr	-1.282
So	0.350
ΔPSI	2
pt	2.5
Sc (psi)	644.975
Cd	1
Ec (psi)	3597120
k (pci)	90
J	3.2
D (in)	8.4

LOG10(W <sub>18</sub> )	A	Dif	Cumple
6.45269299	6.450967698	2.E-03	Cumple

**Figura 59.** Parámetros importantes y espesor de losa propuesta para la estrategia de intervención 4 en la SC 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 52. ACERO DE REFUERZO TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL PROPUESTO PARA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012.**

Acero	Número de varilla	Separación (cm)
Refuerzo transversal	8	30
Refuerzo longitudinal	4	60

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 53. REVISIÓN DEL MODELO MECANÍSTICO DE ESCALONAMIENTO. ESPESOR DE LOSA 21.34 CM (8.4 IN).**

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones		2.8
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)		203.3
Espaciamiento entre juntas JS (ft)		12.6
Módulo reacción efectivo subrasante K (pci)		95
Resultado obtenido para el modelo.		
F	-0.05	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 54. REVISIÓN DEL MODELO MECANÍSTICO DE BOMBEO. ESPESOR DE LOSA 21.34 CM (8.4 IN).**

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones		2.8
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7.)		0
Precipitación anual (cm)		570.4
Espesor de losa (in)		8.4
Índice de congelamiento		0
Resultado obtenido para el modelo		
PI	2	<b>No cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 55. RESULTADO DEL MODELO DE DESEMPEÑO DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA. ESPESOR DE LOSA 21.34 CM (8.4 IN).**

Parámetros de diseño.	
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones	2.8
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	203.3
Relación de esfuerzos SR	0.315
N	1.2E+13
N>N <sub>18</sub>	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se aumenta a 30.48 cm (12 in) el espesor de la losa debido a que el modelo de bombeo no cumple para el espesor de losa propuesto mediante la

metodología AASHTO 93. Los siguientes cuadros (56, 57, 58) muestran el resultado de los criterios mecánicos evaluado.

**CUADRO 56. RESULTADO DEL CRITERIO DE DESEMPEÑO POR ESCALONAMIENTO. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones		2.8
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)		139.4
Espaciamiento entre juntas JS (ft)		18.00
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)		95
Resultados obtenidos del modelo.		
F	-0.05	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO 57. RESULTADO DEL MODELO DE DESEMPEÑO MECANÍSTICO POR BOMBEO. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7.)	0	
Precipitación anual (cm)	570.4	
Espesor de losa (in)	12	
Índice de congelamiento	0	
Resultado obtenido para el modelo		
PI	1	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

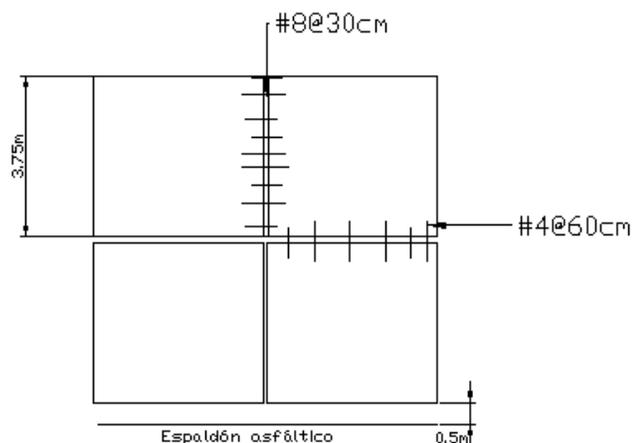
**CUADRO 58. RESULTADOS DEL MODELO DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño	
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	139.4
Relación de esfuerzos SR	0.22
N	1.3E+17
$N > N_{18}$	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 60.** Espesores de capa propuestos para estrategia de intervención 4 en la SC 60012. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 61.** Esquema del acero de refuerzo propuesto para la estrategia de intervención 4 en la SC 600012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

## Estrategias de diseño en la SC 60001, estación 350+080

**Intervención 1: Perfilar parcialmente 5cm de la carpeta asfáltica actual y colocar una sobrecapa de asfalto con polímero.**

Los parámetros de diseño son propios del tramo en estudio. Las consideraciones para la elección

de dichos parámetros se encuentra en la figura del AP-125.

### CUADRO 59 . PARÁMETROS DE DISEÑO CONSIDERADOS PARA LA SC 60001.

Nivel de confianza R (%):	75
So:	0.49
EEQ :	1.3.E+06
$\Delta$ PSI	2.3
$m_i$	0.8
$Z_r$	-0.674

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 60. MÓDULO DE RIGIDEZ Y FACTORES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001.**

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
Sobrecapa mezcla asfáltica con polímero	750000	0.540	1
Carpeta asfáltica existente	239226.9	0.320	1
Base estabilizada con cemento	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Préstamo	43776	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 61. NÚMEROS ESTRUCTURALES REQUERIDOS Y ESPESORES PROPUESTOS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001.**

Capa	SN requerido	Espesor supuesto (cm)	SN por capa	SN propuesto
Sobrecapa asfáltica con polímeros	-	6	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	0.37	6	0.76	2.03
Base estabilizada con cemento	2.18	23	1.14	3.18
Sub-base	1.64	20	0.88	4.05

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 62. MÁXIMAS DEFORMACIONES UNITARIAS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001.**

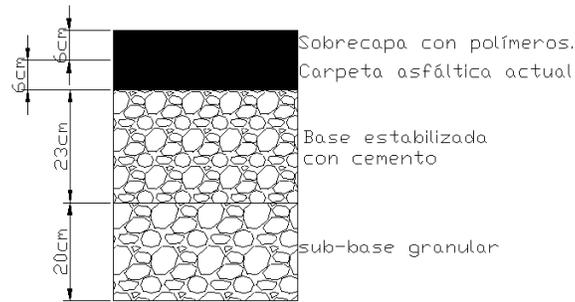
$\epsilon_t$ sobrecarpeta (m)	1.1.E-04
$\epsilon_t$ carpeta asfáltica existente	2.24E-04
$\epsilon_c$ Subrasante (m)	1.24E-04

Fuente: 3D- Move.

**CUADRO 63. RESULTADOS DE LOS MODELOS DE DESEMPEÑO MECANÍSTICOS PARA LA ESTRATEGIA INTEVENCIÓN 1 EN LA SC 60001.**

Tipo de falla	Valor	Criterio	Condición
$N_{18}$	1.28.E+06	-	-
Falla por fatiga NF sobrecapa	8.5.E+06	$N_{Fs} > N_{18}$	Cumple
Falla por fatiga NF carpeta actual	1.50E+06	$N_{fc} > N_{18}$	Cumple
Deformación plástica en la subrasante	4.20.E+08	$N_R > N_{18}$	Cumple
Fatiga en la base estabilizada	4.03E+13	$N_{f\text{ base}} > N_{18}$	Cumple
Deformación en la base estabilizada	1.E+08	$N > N_{18}$	Cumple

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 62.** Espesores de capa propuestos para la estrategia de intervención 1 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

**Intervención 2 en la SC 60001: Colocar una sobrecapa de mezcla asfáltica con polímero manteniendo el paquete estructural actual.**

### CUADRO 64. PARÁMETROS DE DISEÑO CONSIDERADOS PARA LA SC 60001.

Nivel de confianza R (%):	75
So:	0.49
EEQ :	1.3.E+06
$\Delta$ PSI	2.3
$m_i$	0.8
Zr	-0.674

Fuente: Elaboración propia.

### CUADRO 65. MÓDULO DE RIGIDEZ Y FACTORES DE DISEÑO CONSIDERADOS PARA LA INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001.

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
Sobrecapa mezcla asfáltica con polímero	750000	0.540	1
Carpeta asfáltica existente	239226.9	0.320	1
Base estabilizada con cemento	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Préstamo	43776	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

### CUADRO 66. NÚMEROS ESTRUCTURALES REQUERIDOS Y ESPESORES PROPUESTOS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001.

Capa	SN requerido	Espesor supuesto (cm)	SN por capa	SN propuesto
Sobrecapa asfáltica con polímeros	-	6	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	0.37	11	1.39	2.66
Base estabilizada con cemento	2.18	23	1.14	3.18
Sub-base	1.64	20	0.88	4.68

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 67. MÁXIMAS DEFORMACIONES UNITARIAS GENERADAS EN LA CARPETA ASFÁLTICA Y SUBRASANTE EN LA SC 60001, INTEVENCIÓN 2.**

$\epsilon_t$ sobrecarpeta (m)	8.3.E-05
$\epsilon_t$ carpeta asfáltica (m)	1.60E-04
$\epsilon_c$ Sub-rasante (m)	9.81E-05

Fuente: 3D-Move.

**CUADRO 68. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS UNITARIAS GENERADAS EN LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.**

Esfuerzos y deformaciones en la BE	
$\sigma_{t\max}$ fibra inf (kPa)	16.02
$\sigma_t$ max fibra inf (psi)	2.32
$\epsilon_{t\max}$ fibra inf (m)	8.3.E-05
Módulo de flexotracción 28 días (psi)	128.01
Módulo de flexotracción 28 días (Mpa)	0.88

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 69. PARÁMETROS IMPORTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA.**

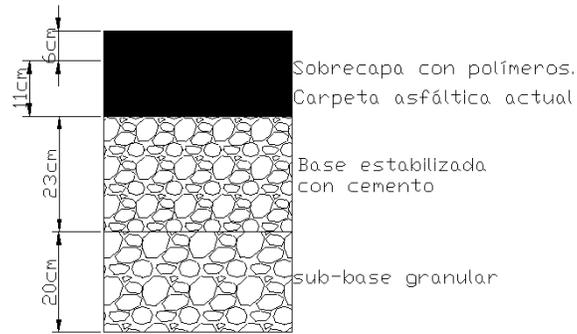
Parámetros importantes	
$\mu$	0.25
$K_1$	0.972
$K_2$	0.0825
$B_{c1}$	1.0645
$B_{c2}$	0.9003

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 70. RESULTADOS DE LOS MODELOS DE DESEMPEÑO MECANÍSTICOS EVALUADOS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001.**

Tipo de falla	Valor	Criterio	Condición
$N_{18}$	1.28.E+06	-	-
Falla por fatiga NF sobrecapa	2.04.E+07	$N_{Fs} > N_{18}$	Cumple
Falla por fatiga NF carpeta actual	6.33E+06	$N_{fc} > N_{18}$	Cumple
Deformación plástica en la subrasante	1.20.E+09	$N_R > N_{18}$	Cumple
Fatiga en la base estabilizada	4.86E+13	$N_{fBE} > N_{18}$	Cumple
Deformación en la base estabilizada	2.E+08	$N > N_{18}$	Cumple

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 63.** Espesores de capa propuestos para la estrategia de intervención 2 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

**Intervención 3 en la SC 60001:** Perfilar la totalidad de la carpeta asfáltica acutal y colocar una nueva carpeta asfáltica con polímeros.

**CUADRO 71. PARÁMETROS DE DISEÑO CONSIDERADOS PARA LA SC 60001.**

Nivel de confianza R (%):	75
So:	0.49
EEQ :	1.28.E+06
$\Delta$ PSI	2.3
mi	0.8
Zr	-0.674

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 72. MÓDULO DE RIGIDEZ Y FACTORES DE DISEÑO CONSIDERADOS PARA LA INTEVENCIÓN 3 EN LA SC 60001.**

Material	$M_R$ (psi)	$a_i$	$m_i$
Carpeta asfáltica con polímero	750000	0.540	1
Base estabilizada con cemento	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Préstamo	43776	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 73. NÚMEROS ESTRUCTURALES REQUERIDOS Y ESPESORES PROPUESTOS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001.**

Capa	SN requerido	Espesor propuesto (cm)	SN por capa	SN propuesto
Carpeta asfáltica con polímeros	0.37	10	2.13	2.13
Base estabilizada con cemento	2.18	23	1.14	3.27
Sub-base	1.64	20	0.88	4.15

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 74. MÁXIMAS DEFORMACIONES UNITARIAS GENERADAS EN LA CARPETA ASFÁLTICA Y SUBRASANTE EN LA SC 60001, INTERVENCIÓN 3.**

$\epsilon_t$ carpeta asfáltica (m)	1.48E-04
$\epsilon_c$ Sub-rasante (m)	1.40E-04

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 75. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS UNITARIAS GENERADAS EN LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.**

Esfuerzos y deformaciones en la BE	
$\sigma_{t \max}$ fibra inf (kPa)	8.6
$\sigma_t$ max fibra inf (psi)	1.247
$\epsilon_{t \max}$ fibra inf (m)	1.E-04
Módulo de flexotracción 28 días (psi)	128.01
Módulo de flexotracción 28 días (Mpa)	0.883

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 76. PARÁMETROS IMPORTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.**

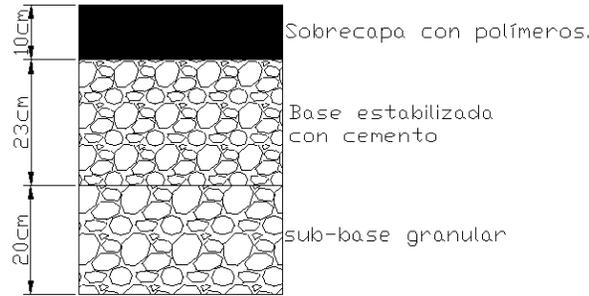
Parámetros importantes	
$\mu$	0.25
$K_1$	0.972
$K_2$	0.0825
$B_{c1}$	1.0645
$B_{c2}$	0.9003

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 77. RESULTADOS DE LOS MODELOS DE DESEMPEÑO MECANÍSTICOS EVALUADOS PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001.**

Tipo de falla	Valor	Criterio	Condición
$N_{18}$	1.28.E+06	-	-
Falla por fatiga NF carpeta actual	3.09E+06	$N_{fc} > N_{18}$	Cumple
Deformación plástica en la subrasante	2.47.E+08	$N_R > N_{18}$	Cumple
Fatiga en la base estabilizada	6.30E+13	$N_{fBE} > N_{18}$	Cumple
Deformación en la base estabilizada	1.E+08	$N > N_{18}$	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

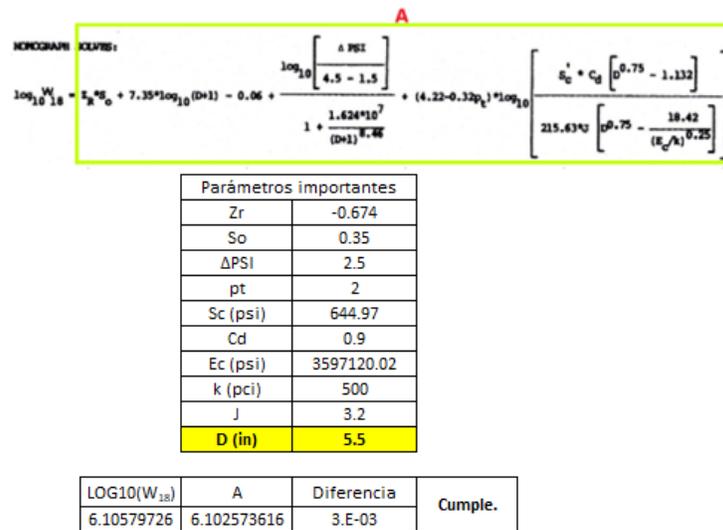


**Figura 64.** Espesores de capa propuestos para la estrategia de intervención 3 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

**Estrategia de Intervención 4 en la SC 60001: Perfilar totalmente la carpeta asfáltica actual y colocar una losa de concreto.**

El dimensionamiento del espesor de losa sigue los lineamientos de la metodología de la Guía de Diseño de la AASHTO (1993). El desarrollo de los

parámetros utilizados se encuentra en la figura del Apéndice 128.



**Figura 65.** Parámetros importantes y espesor de losa propuesto para la estrategia de intervención 4 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 78. ACERO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL PROPUESTO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001.**

Acero	Número de varilla	Separación (cm)
Refuerzo transversal	10	30
Refuerzo longitudinal	3	60

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 79. RESULTADOS DEL MODELO DE ESCALONAMIENTO EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001.**

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones		1.3
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)		145.7
Espaciamiento entre juntas JS (ft)		8.25
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)		600
Resultado obtenido para el modelo		
F	-0.10	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 80. RESULTADOS DEL MODELO DE BOMBEO EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001. ESPESOR DE LOSA 13.97 CM (5.5 IN).**

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes N <sub>18</sub> en millones		1.3
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7)		0
Precipitación anual (cm)		542.1
Espesor de losa (in)		5.5
Índice de congelamiento		0
Resultados obtenidos par el modelo.		
PI	3	<b>No cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 81. RESULTADO DEL MODELO DE FATIGA EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001. ESPESOR DE LOSA 13.97 CM (5.5 IN).**

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes N18 en millones		1.3
Módulo de ruptura Concreto (psi)		644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)		145.7
Relación de esfuerzos SR		0.226
N		4.27E+16
N>N18		<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 82. RESULTADO DEL MODELO DE ESCALONAMIENTO EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones		1.3
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)		101.2
Espaciamiento entre juntas JS (ft)		18.00
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)		600
Resultados obtenidos del modelo		
F	-0.10	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 83. RESULTADO DEL MODELO DE BOMBEO EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones		1.3
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7)		0
Precipitación anual (cm)		542.1
Espesor de losa (in)		12
Índice de congelamiento		0
Resultados del modelo		
PI	1	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

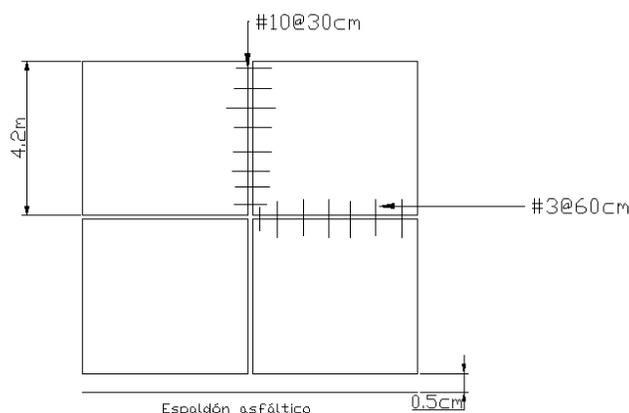
**CUADRO 84. RESULTADO DEL MODELO DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001. ESPESOR DE LOSA 30.5 CM (12 IN).**

Parámetros de diseño	
Ejes equivalentes N18 en millones	1.3
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	101.2
Relación de esfuerzos SR	0.157
N	3.34E+20
$N > N_{18}$	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 66.** Espesores de capa propuestos para la estrategia de intervención 4 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 67.** Esquema del acero de refuerzo transversal y longitudinal propuesto para la estrategia de intervención 4 en la SC 60001, estación 350+080. Fuente: Elaboración propia.

## Costos de inversión inicial, conservación y mantenimiento en la sección de control 60012, estación 605+650

El presupuesto inicial para cada alternativa fue elaborado con base en la estimación de costos establecidos por la empresa Constructora Meco S.A, empresa a quien se le adjudicó la licitación pública 2014LN-000018-0CV00 “Mantenimiento

periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada”. En la figura del Anexo 71 se encuentran los precios unitarios por ítem facilitados por la empresa.

**CUADRO 86. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60012.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	0.562	₡1,079,991.82	₡606,955.40
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	4215	₡1,156.10	₡4,872,961.50
CR.719.02.ARS.7	Geogrilla tejida MANGRID AR 5,7	m2	4215	₡3,250.16	₡ 13,699,424.40
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	4215	₡ 395.87	₡1,668,592.05
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	t	601	₡79,936.04	₡48,012,583.23
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua amarilla)	km	0.562	₡ 1,651,755.52	₡928,286.60
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	Km	1.124	₡ 1,657,661.62	₡1,863,211.66
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	2	₡ 91,801.00	₡183,602.00
				<b>Total</b>	<b>₡71,835,616.84</b>

Fuente:Elaboración propia.

**CUADRO 87. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	0.562	₡1,079,991.82	₡606,955.40
CR.719.02.ARS.7	Geogrilla tejida MANGRID AR 5,7	m2	4215	₡3,250.16	₡13,699,424.40
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	4215	₡ 395.87	₡1,668,592.05
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	t	661	₡79,936.04	₡52,813,841.55
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua amarilla)	km	0.562	₡ 1,651,755.52	₡928,286.60
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	Km	1.124	₡ 1,657,661.62	₡1,863,211.66
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	2	₡ 91,801.00	₡183,602.00
				<b>Total</b>	<b>₡71,763,913.66</b>

Fuente:Elaboración propia.

**CUADRO 88. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60012.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	Km	0.562	₡ 1,079,991.82	₡ 606,955.40
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	4215	₡ 1,156.10	₡ 4,872,961.50
M30(A)	Reacondicionamiento de la calzada	m2	4215	₡ 1,300.65	₡ 5,482,239.75
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	4215	₡ 395.87	₡ 1,668,592.05
MCR. 408(5)	Material de secado	m3	25.29	₡ 29,772.00	₡ 752,933.88
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	ton	1301.38125	₡ 79,936.03	₡ 104,027,250.64
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua amarilla)	km	0.562	₡ 1,651,755.52	₡ 928,286.60
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	Km	1.124	₡ 1,657,661.62	₡ 1,863,211.66
CR.633.01	instalación de señales verticales tipo IV	u	2	₡ 91,801.00	₡ 183,602.00
				<b>Total</b>	<b>₡ 120,386,033.49</b>

Fuente:Elaboración propia.

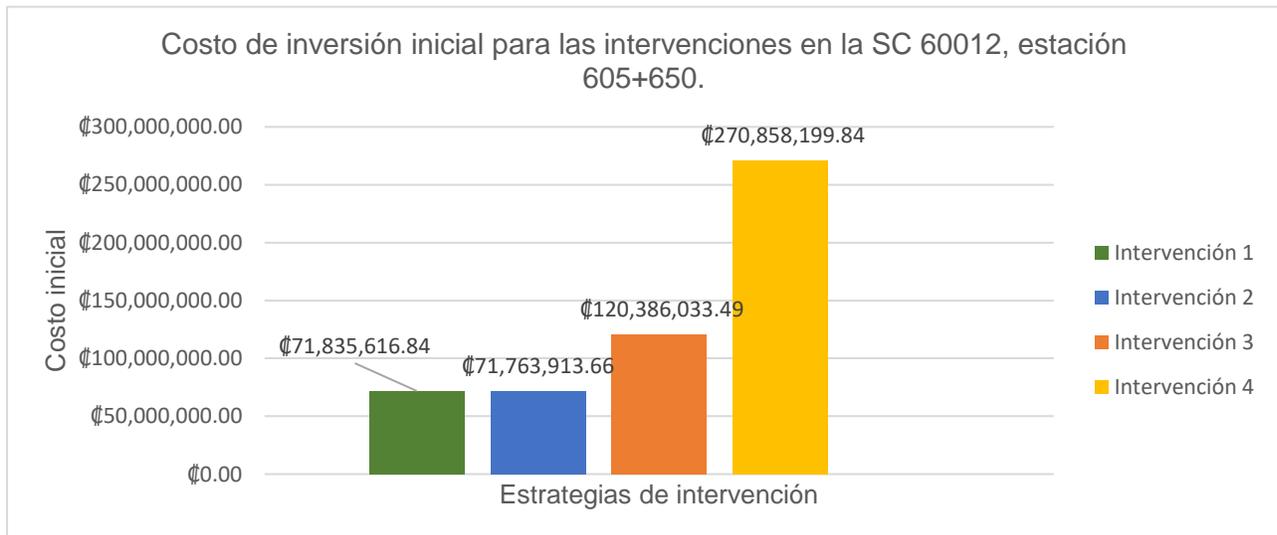
## CUADRO 89. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012.

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	4215	₡ 1,156.10	₡ 4,872,962
M30(A)	Reacondicionamiento de la calzada	m2	4215	₡ 1,300.65	₡ 5,482,240
CR.302.03	Cemento hidráulico	ton	79.03125	₡ 198,537.32	₡ 15,690,652.57
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	4215	₡ 395.87	₡ 1,668,592.05
MCR. 408(5)	Material de secado	m3	25.29	₡ 29,772.00	₡ 752,933.88
CR.501.01	Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo	m2	4215	₡ 56,801.67	₡ 239,419,039
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua amarilla)	Km	1.124	₡ 1,651,755.52	₡ 1,856,573
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	km	0.562	₡ 1,657,661.62	₡ 931,606
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	2	₡ 91,801.00	₡ 183,602.00
<b>Total</b>					<b>₡ 270,858,199.84</b>

Fuente:Elaboración propia.

Comparando los resultados del costo de cada actividad, la figura 68 muestra como resultado que la segunda estrategia de intervención que

contempla el uso de una sobrecapa, representa el menor costo de inversión inicial, mientras que la cuarta propuesta, que plantea un pavimento rígido, es la más costosa.



**Figura 68.** Costos de intervención inicial para las estrategias de intervención en la sección de control 60012, estación 605+650. Fuente: Elaboración propia.

Para los costos de conservación y mantenimiento se plantearon diferentes escenarios para cada estrategia y años de intervención. Los costos de cada actividad fueron brindados por la empresa

constructora Meco S.A. El cuadro 90 muestra el presupuesto necesario en mantenimiento para cada estrategia de intervención planteada para el tramo de la sección de control 60012.

## CUADRO 90. COSTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LAS ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PROPUESTAS EN LA SC 60012

	Item	Actividad	Año de intervención	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	Total mantenimineto
Estrategia 1	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	6	m	281	₡ 2,299	₡ 645,997	₡ 17,650,781.77
	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	4	m <sup>2</sup>	4215	₡ 4,034	₡ 17,004,785	
Estrategia 2	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	5	m	224.8	₡ 2,299	₡ 516,797	₡ 17,521,582.47
	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	4	m <sup>2</sup>	4215	₡ 4,034	₡ 17,004,785	
Estrategia 3	M40(A)	Levantamiento de tapas de pozos	2	u	3	₡ 50,840	₡ 152,519	₡ 18,449,297.00
	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	5	m <sup>2</sup>	4215	₡ 4,034	₡ 17,004,785	
	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	6	m	562	₡ 2,299	₡ 1,291,993	
Estrategia 4	CR.502.02	Sellado de juntas y grietas	5	m	168.6	₡ 3,740	₡ 630,486	₡ 630,486.44

Fuente:Elaboración propia.

La figura 69 muestra el valor del indicador económico CAUE para cada una de las estrategias de intervención propuestas para el tramo de la

sección de control 60012, donde se consideró el costo de inversión inicial y los costos de mantenimiento en valor presente.

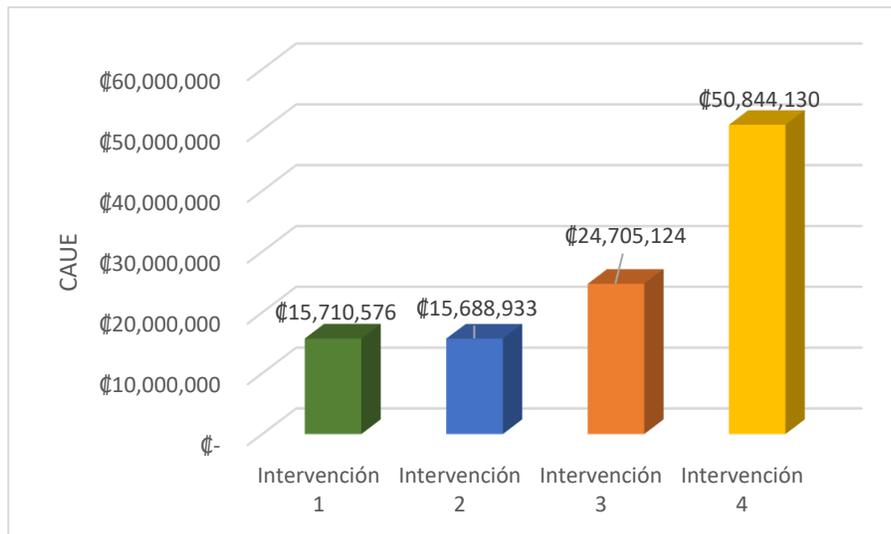


Figura 69. Costo Anual equivalente para las estrategias de intervención en la SC 60012, est 605+650. Fuente: Elaboración Propia.

### Costos de inversión inicial, conservación y mantenimiento SC 6001, estación 350+080.

El costo de inversión inicial también fue elaborado con base en la estimación de costos establecidos por la empresa Constructora Meco S.A, empresa

a quien se le adjudicó la licitación pública 2014LN-000018-0CV00 “Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada”.

**CUADRO 91 . COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	0.064	₡ 1,079,991.82	₡ 69,335.47
M42(B)	Perfilado de pavimento	m <sup>2</sup>	269.640	₡ 1,156.10	₡ 311,730.80
CR.303.03	Riego de imprimación	l	269.640	₡ 395.87	₡ 106,742.39
CR.719.02.ARS.7	Geogrilla tejida MANGRID AR 5,7	m2	269.64	₡3,250.16	₡ 876,373.14
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	ton	38.424	₡ 79,936.03	₡ 3,071,438.04
CR.634.04	Señalamiento tipo A(Línea continua blanca)	km	0.128	₡ 1,657,661.82	₡ 212,843.78
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	1.000	₡ 91,801.00	₡ 91,801.00
<b>Total</b>					<b>₡ 4,740,264.62</b>

Fuente:Elaboración propia.

**CUADRO 92. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	0.0642	₡1,079,991.82	₡69,335.47
CR.719.02.ARS.7	Geogrilla tejida MANGRID AR 5,7	m2	269.64	₡3,250.16	₡ 876,373.14
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	269.64	₡ 395.87	₡106,742.39
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	t	42.26607	₡79,936.04	₡3,378,582.26
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	Km	0.1284	₡ 1,657,661.62	₡212,843.75
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	1	₡ 91,801.00	₡91,801.00
<b>Total</b>					<b>₡4,735,678.02</b>

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 93 COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001.**

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M403(1)A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	0.0642	₡ 1,079,991.82	₡ 69,335.47
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	269.64	₡ 1,156.10	₡ 311,730.80
M30(A)	Reacondicionamiento de la calzada	m2	269.64	₡ 1,300.65	₡ 350,707.27
MCR.408.(5)	Material de secado	m3	1.61784	₡ 29,772.00	₡ 48,166.33
CR.413.02	Riego de imprimación	l	269.64	₡ 395.87	₡ 106,742.39
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	ton	64.0395	₡ 79,936.03	₡ 5,119,063.39
CR.634.04	Señalamiento tipo A(Línea continua blanca)	km	0.1284	₡ 1,657,661.82	₡ 212,843.78
CR.633.01	Instalación de señales verticales tipo IV	u	2	₡ 91,801.00	₡ 183,602.00
<b>Total</b>					<b>₡ 6,402,191</b>

Fuente:Elaboración propia.

### CUADRO 94. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001.

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	269.64	₡ 1,156.10	₡ 311,731
CR.501.01	Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo	m2	269.64	₡ 56,801.67	₡ 15,316,002
M30(A)	Reacondicionamiento de la calzada	m2	269.64	₡ 1,300.65	₡ 350,707
CR.302.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	269.64	₡ 395.87	₡ 106,742.39
MCR. 408(5)	Material de secado	m3	1.61784	₡ 29,772.00	₡ 48,166.33
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua amarilla)	Km	0.1284	₡ 1,651,755.52	₡ 212,085
CR.634.04	Señalamiento tipo I(Línea continua blanca)	km	0.0642	₡ 1,657,661.62	₡ 106,422
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de velocidad KPH)	m2	1	₡ 91,801.00	₡ 91,801
<b>Total</b>					<b>₡ 16,543,657.37</b>

Fuente:Elaboración propia.

Al igual que en el tramo de la SC 60012, se plantean diferentes actividades de mantenimiento y conservación para cada estrategia según el tipo

de estructura. Los costos por actividad expuestos en la figura 95 fueron establecidos por la empresa Constructora Meco S.A, quien es la responsable de mantenimiento y la rehabilitación del tramo.

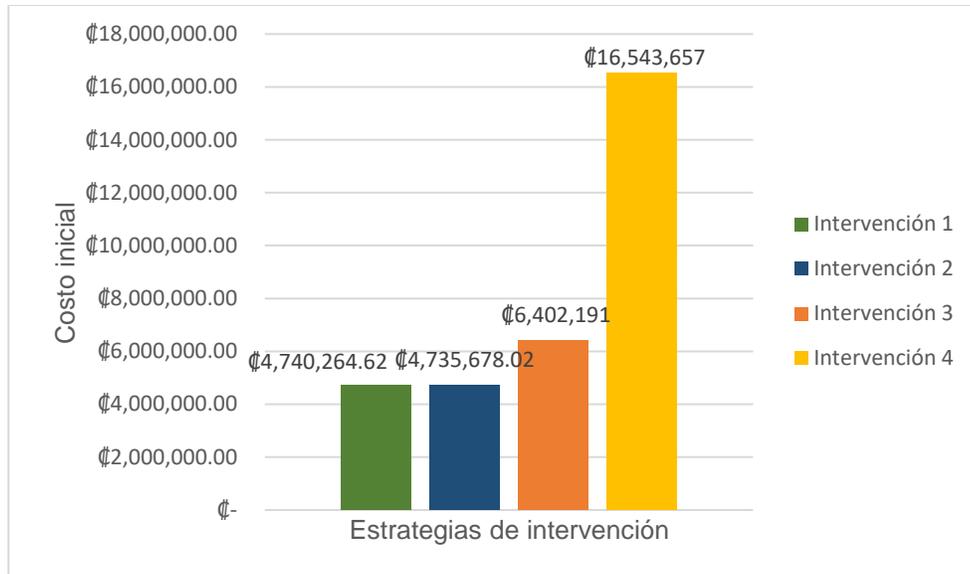
### CUADRO 95. COSTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LAS ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PROPUESTAS EN LA SC 60001.

	Item	Actividad	Año de intervención	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	Total mantenimiento
Estrategia 1	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	5	m <sup>2</sup>	269.64	₡ 4,034.35	₡ 1,087,822.13	₡ 1,235,412.80
	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	4	m	64.2	₡ 2,298.92	₡ 147,590.66	
Estrategia 2	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	5	m	32.1	₡ 2,298.92	₡ 73,795.33	₡ 1,161,617.47
	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	6	m <sup>2</sup>	269.64	₡ 4,034.35	₡ 1,087,822.13	
Estrategia 3	M40(A)	Levantamiento de tapas de pozos	2	u	1	₡ 50,839.57	₡ 50,839.57	₡ 1,286,252.37
	M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	5	m <sup>2</sup>	269.64	₡ 4,034.35	₡ 1,087,822.13	
	M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	6	m	64.2	₡ 2,298.92	₡ 147,590.66	
Estrategia 4	CR.502.02	Sellado de juntas y grietas	5	m	19.26	₡ 3,739.54	₡ 72,023.54	₡ 72,023.54

Fuente:Elaboración propia.

La figura 70 muestra que en la SC 60012 la estrategia con la inversión inicial más económica, es la segunda estrategia, que plantea, una prenivelación para posteriormente colocar una

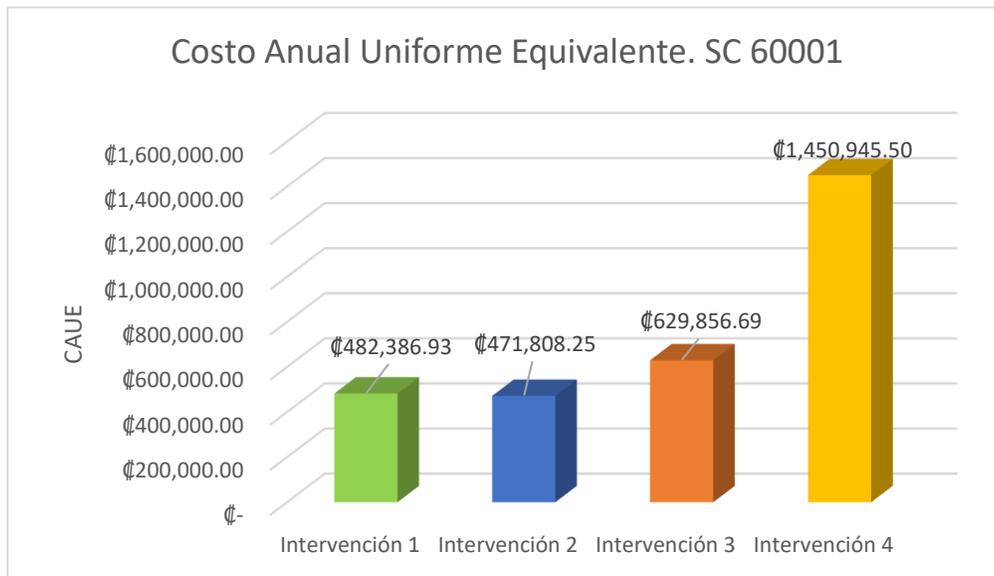
sobrecapa con polímeros, mientras que la más costosa es la intervención 4 (losa de concreto hidráulico), con una diferencia de ₡11 807 979 millones de colones.



**Figura 70.** Costos de intervención inicial para las estrategias de intervención en la SC 60001, est 350+08. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico muestra el indicador económico Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), donde la mejor alternativa en términos

económicos, se rige por el menor Costo Anual Uniforme Equivalente que corresponde a la segunda estrategia de intervención.



**Figura 71.** Costo Anual equivalente para las estrategias de intervención en la SC 60001, est 350+080. Fuente: Elaboración Propia.

## Matriz FODA

Mediante la matriz FODA, en los siguientes cuadros se establecen las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas propias de la implantación de las estrategias de

intervención propuestas para cada tramo afectado, considerando criterios técnicos y económicos.

**CUADRO 96. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia 1. SC 60012, estación 605+650.	Menor tiempo de colocación respecto alternativas en pavimento rígido	Perfilar parcialmente para eliminar roderas	Costo elevado de las mezclas asfálticas con polímero	Reflejo de grietas
	Bajo costo de inversión inicial	Aumentar la rigidez de la carpeta asfáltica con sobrecapa de asfalto con polímeros	El mantenimiento para la conservación del tramo es más frecuente con respecto alternativas en pavimento rígido	Exudación debido a un inadecuado riego de liga
	Diminuye las deformaciones	Mantener los niveles de rasante actual		

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 97. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia 2. SC 60012, estación 605+650.	Menor Costo de inversión inicial	Aumentar la rigidez de la carpeta asfáltica con sobrecapa de asfalto con polímeros	Costo elevado del polímero	Reflexión de grietas
	Mejor Indicador CAUE	Toma menor tiempo de rehabilitación	Mayores espesores de capa de soporte	Escalonamiento entre calzada y espaldón
	Aumenta el aporte estructural del pavimento	Eliminar las roderas con una capa de prenivelación	Modifica el nivel de la rasante actual	Problemas de evacuación de agua por variación en geometría del tramo
	Menores deformaciones a tensión en la carpeta asfáltica respecto a la intervención 1			Inadecuada ejecución del riego de liga

**Fuente:** Elaboración propia.

**CUADRO 98. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia de intervención 3. SC 60012, estación 605+650.	Buen comportamiento para medio y alto volumen de tránsito	Permite eliminar completamente la carpeta asfáltica actual	Costo elevado del polímero	Problemas de temperatura en la mezcla por acarrees
	No necesita juntas de acero	Utilizar cemento asfáltico apto para las condiciones del tramo	Toma más tiempo para rehabilitación respecto a las alternativas 1 y 2	Compactación en campo inadecuada
	Resistencia al agrietamiento por fatiga	Posibilidad de disipar energía por medio de deformaciones elásticas		Juntas de construcción trabajadas inadecuadamente

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 99. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650..**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia de intervención 4. SC 605+650.	Posee mayor vida útil respecto a las alternativas en pavimento flexible	Combatir el derrame de aceites e hidrocarburos	Costo de inversión muy elevado respecto a las demás estrategias de intervención	Posibilidad de agrietamiento térmico
	Requiere menor mantenimiento	Colocar dovelas transversales y longitudinales para controlar tensiones	Requiere más tiempo de colocación	Bombeo de finos debido a las altas precipitaciones de la zona
	Menores deflexiones ante tránsito de alto volumen			

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 100. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia de 1. SC 60001, estación 350+080.	Bajo costo de inversión inicial	Perfilar parcialmente hasta la profundidad de la rodera	Costo elevado de la mezcla Ásfaltica con polímeros	Reflexión de grietas
	Combate las altas temperaturas	Permite corregir problemas superficiales existentes en la carpeta asfáltica actual	Disponibilidad de mezcla asfáltica con polímeros	Sustitución de la base estabilizada
	Permite mejorar la calidad funcional de la estructura			Técnicas de construcción pobres

Fuente:Elaboración propia.

**CUADRO 101. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia de 2. SC 60001, estación 350+080.	Aumenta la capacidad de la estructura actual	Toma menor tiempo de rehabilitación	Costo elevado de la mezcla asfáltica con polímeros	Reflejo de grietas
	Realizar una rehabilitación en menor tiempo		Mayor espesor de la estructura del pavimento	Sustitución de la base estabilizada
	Representa el menor costo anual uniforme equivalente.		Modifica el nivel de la rasante actual	Problemas de evacuación de agua por variación en geometría del tramo

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 102. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia 3. SC 60001, estación 350+080.	Reducción del espesor de la estructura de pavimento	Eliminar totalmente la carpeta asfáltica deteriorada	Suceptible al agrietamiento en la base estabilizada	Sustitución de la base estabilizada
	Resistencia al agrietamiento por fatiga	No requiere de equipos especiales	Toma mayor tiempo de rehabilitación respecto a las alternativas 1 y 2	Técnicas de construcción pobres
	Disminución de deformaciones sobre la carpeta asfáltica	Corregir la mala elección del cemento asfáltico presente en la carpeta actual	Representa un mayor costo de inversión respecto las alternativas 1 y 2	

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 103. MATRIZ FODA PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Fortaleza	Oportunidad	Debilidad	Amenazas
Estrategia 4. SC 60001, estación 350+080.	Menor deformación ante cargas de alta magnitud	Combatir el derrame de aceites e hidrocarburos	Costo de inversión inicial alto	Bombeo y erosión de finos
	Menor inversión en mantenimiento respecto a las otras alternativas		Mayor tiempo de colocación	Mala construcción de juntas

Fuente: Elaboración propia.

# Análisis de los resultados

## Levantamiento de deterioros

Parte importante en el estudio de las carreteras es conocer el entorno sobre el cual estas se encuentran construidas, por lo que inicialmente se investigó sobre las condiciones climáticas propias del sitio, encontrándose que la sección de control 60012, estación 605+650, se localiza específicamente en la provincia de Puntarenas, cantón Golfito, distrito Guaycará. Esta zona, según la página Weather Spark (s.f), es caracterizada por una temperatura que varía entre los 23 °C y los 33 °C, rara vez baja a menos de 21 °C o sube por arriba de los 35 °C.

En el cantón de Golfito las temperaturas altas se prolongan por 2.4 meses, del 29 de enero al 11 de abril, con temperatura máxima promedio de 32 °C, por otra parte, la temporada de lluvias dura 7.3 meses y va del 29 de abril al 6 de diciembre, con probabilidad de lluvia mayor al 30%.

Weather Spark indica que el periodo más húmedo va del 21 de marzo al 2 de febrero, durante este período la sensación de comodidad es bochornosa, opresiva o insoportable (Ver A-24).

La sección de control 60001, estación 650+080, también se ubica en la provincia de Puntarenas, pero en el cantón de Corredores, distrito Paso Canoas, en este sitio la temperatura varía de 22 °C a los 34 °C durante todo el año y rara vez está por debajo de los 21 °C o por arriba de los 36 °C.

Debido a las altas precipitaciones y la extendida temporada de lluvias, fue necesario inspeccionar los drenajes que tenían ambos tramos. Durante las

visitas a campo, para la SC 60012 se encontraron drenajes en buen estado y una adecuada evacuación del agua (Ver A-13).

En el tramo localizado en Paso Canoas, según lo indagado en la zona, el lugar históricamente ha tenido problemas con la evacuación del agua en épocas de intensas precipitaciones y los sistemas de drenaje apenas son suficientes para la evacuación. Las fotografías del apéndice 14 muestran la condición del sistema en este tramo.

Con las inspecciones en campo se identificó la importancia de prestar atención al agua que se estanca en los canales que se han formado debido a las roderas, especialmente en el tramo de la SC 60012, estación 305+650 y que puede provocar una condición de hidropneumático. Por otra parte, en el tramo ubicado en Paso Canoas, aunque hay presencia de ahuellamiento, la acumulación del agua es mínima

A partir del levantamiento de deterioros realizado para el tramo en estudio de la sección de control 60012, se identificó que la principal patología presente en el pavimento son las roderas (Anexo 1), este deterioro pudo ser identificado a lo largo de toda la longitud de las 13 Unidades de Muestra (UM) auscultadas, con severidades que van de categoría baja (profundidad de 6 mm a 13 mm) hasta alta (mayor a 25 mm). También se determinó que el daño asociado a este deterioro es distinto en los carriles, especialmente en las UM 3,4,5,6,8, (AP-7,8,9,10 y 12), en donde se identificó un grado de severidad en el carril de circulación la Guaria-Río Claro,

comparado con el carril con sentido Río Claro-La Guaria, lo cual puede estar asociado a las diferentes condiciones de carga a las que está sometida la estructura en cada carril, tales como, frecuencia de carga, peso y presiones de inflado.

Dentro de la UM 7 estación 305+733, se encuentra el puesto de detención policial donde se realiza la inspección rutinaria y es justamente en esta sección donde se presenta una severidad alta para ambos carriles, por lo tanto, es otra muestra que indica sobre la posibilidad de que la influencia de las cargas estáticas o el frenado de los vehículos puede estar provocando la aparición de roderas; además, se identificó que las zonas más afectadas por esta condición son las UM 3,4,5,6,7,8 (ver AP-7,8,9,10,11 y 12) y es a lo largo de estos 210 metros de extensión donde se generan las filas de vehículos estacionados que esperan para ser inspeccionados.

Las UM 1,2, 11,12 y 13 (AP-5, 6, 14, 15 y 16) tienen asociada una severidad de roderas bajas y son las UM que se encuentran más a los extremos del punto de inspección vehicular ubicado en la UM 7, generalmente cuando los vehículos pasan por estas Unidades de Muestra más alejadas, la circulación de los vehículos es más dinámica y fluida debido a que ya han dejado atrás el puesto de control.

El Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016), además de asociar el problema de roderas a una sobre carga o volúmenes altos de tránsito no previstos en el diseño, relaciona esta patología con una inestabilidad en la base o sub-base debido a la presión o saturación de agua, materiales no apropiados o de mala calidad, así como a una deficiente compactación, por lo tanto, es importante prestar atención a las condiciones antes mencionadas y de ser necesario aplicar acciones correctivas.

Otro de los daños presentes en la estructura es la conocida exudación (figura 13), la cual es una condición presentada como un afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie de ruedo y que se nota visualmente como brillante, resbaladiza y pegajosa dependiendo del nivel de severidad (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

Para el tramo de la sección de control 60012 de la ruta nacional 2, se observó la presencia de exudación sobre la totalidad de las unidades de muestra auscultadas (13 UM) y en el total de la longitud (42m) de la muestra auscultada. Principalmente la extensión de la exudación fue observada en la depresión creada en la trayectoria de las llantas de los vehículos (ver A-3), asociada al ahuellamiento también presente en la carretera. Para este mismo tramo, las únicas dos Unidades de muestra que presentaron una severidad media a lo largo de la extensión de las roderas, fue la UM 6 y 7 (ver AP-10 y AP-11) en el carril sentido La Guaria- Río Claro, todas las demás UM presentaban una exudación baja, sin embargo, la UM 3, 4, 8 y 11 (Ver AP-7, 8, 12 y 14 ), además de presentar una baja exudación sobre la extensión de las roderas, presenta pequeñas áreas afectadas con una exudación media que podría estar relacionada con el derrame de solventes.

Debido a la presencia de exudación, fue recomendable realizar ensayos de laboratorio con el fin de analizar la condición actual de la mezcla, para identificar si el problema se encuentra asociado a deficiencias en la mezcla asfáltica.

Las Unidades de muestra 4, 5 y 8 presentaron niveles de severidad baja (elevación máxima 10 mm) correspondientes al desplazamiento de mezcla, mientras que las UM mayormente afectadas por este deterioro, son las UM 6 y 7 con una severidad alta (mayor a 20mm).

El corrimiento, según lo expuesto en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (2016), es una condición de desplazamiento longitudinal de la superficie del pavimento y que es causado principalmente por la acción de las cargas del tránsito, por lo tanto, también es importante realizar pruebas en la mezcla asfáltica para conocer el contenido de asfalto y porcentajes de vacío.

Otra de las condiciones observadas a la hora del levantamiento de deterioros en el tramo de la SC 60012, fue el pulimiento de agregados (figura 14). Esta patología se manifiesta a lo largo y ancho de las marcas de las huellas que dejan los vehículos, la cual puede estar relacionada a un desgaste en el recubrimiento del ligante asfáltico que cubre las partículas de agregado, cuando no

hay ligante asfáltico que proteja los agregados, estos quedan expuestos y por abrasión, a partir del paso de las cargas de tránsito, se genera pulimento. Para estudiar este problema sobre estructura de pavimento, es importante realizar pruebas de caracterización de materiales y evitar el uso de agregados propensos al pulimento, como lo son las rocas calizas. De la UM 4 a la UM 10 se presenta pulimento (ver AP del 8 al 13).

Por otra parte, para el tramo de la sección de control 60001, estación 350+080, es importante mencionar que este es un tramo de un solo carril de 4,2 m de ancho, utilizado exclusivamente para la desinfección sanitaria de vehículos provenientes de Panamá y que desean ingresar a territorio costarricense. La Mayor cantidad de vehículos que utilizan la estructura son vehículos articulados tipo T3-S2 y T3-S3, cargados con mercancías que luego de pasar por la cámara de desinfección, deben pasar por el control de aduanas localizado justamente después de la cámara y así poder seguir el destino que llevan.

Para la sección antes mencionada, la presencia de roderas fue uno de los principales deterioros observados, esta patología al igual que en el tramo de la sección de control 60012, se localiza a lo ancho de las marcas de las huellas de las llantas de los vehículos que transitan, lo mismo que sucede con la exudación, deterioro catalogado con severidad baja, que se encuentra expuesto sobre las roderas que se han formado.

Siguiendo con el caso de las roderas, se tiene una severidad media asociada (profundidad 13 mm a 25 mm) en la UM 1, mientras que en la UM 2, se encontró una severidad alta (profundidad mayor a 25 mm) en los primeros 10.9 metros de longitud y los siguientes 31.1 metros tienen roderas de severidad baja (profundidad promedio de 6mm a 13mm), por lo tanto, para este tramo también se recomienda realizar un análisis del efecto de los volúmenes de tránsito y verificar si los valores de las cargas actuales se ajustan a los diseños realizados iniciales.

La UM 2 inicia 42 metros antes de la entrada de los vehículos a la cámara de desinfección y dependiendo de la cantidad de vehículos que deben ser desinfectados, estos tienen que hacer fila para ser atendidos. Las filas que se forman en la extensión de este tramo,

cuando las cargas del tránsito presionan el pavimento, podrían estar ligadas a la causa de la formación de dos pequeñas áreas donde la mezcla se ha desplazado, de igual manera, es probable que el efecto de estas cargas también propicie la creación de roderas y que un asfalto muy blando o un exceso de este sea parte del problema de exudación también observado (Ver AP-18).

La UM 1, de la sección 60001, se encuentra localizada, luego de que los vehículos pasan la zona de desinfección, justamente después de pasar por la cámara; se notó el desprendimiento de agregados sobre la superficie de rueda en un área de 44.1 m<sup>2</sup> (ver A-10). Es importante considerar las posibles causas mencionadas por Barrera (2014) donde se relaciona esta patología con una mala selección del ligante, una deficiente adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado o lluvia durante el tendido del pavimento que haya ocasionado que el asfalto no pueda aglutinarse con el agregado y se quede fijo sobre la estructura sin ser desprendido.

Una vez conocidos los deterioros que afectan los tramos en estudio, es necesario poder clasificar la condición funcional del pavimento mediante el cálculo del PCI, pero antes de conocer la nota de clasificación para cada tramo, es necesario mencionar la importancia de los valores deducidos (VD), ya que, estos valores varían y se encuentran relacionados con la medida y la severidad de cada deterioro mediante el uso de gráficos (ver A-17, A-18, A-19, A-20, A-21 y A-22).

A través de los gráficos para el cálculo de del VD se pudo notar cómo un mayor porcentaje de densidad de daño, implica un valor deducido mayor, así mismo, se observó que un aumento en la severidad del daño aumenta el VD.

La importancia del VD es que, conociendo este valor para cada deterioro, se pudo realizar la suma de todos los valores deducidos (VDT), lo que permitió englobar todas las patologías presentes en cada UM, para posteriormente, mediante el uso de gráfico del anexo A-23, fuese posible conocer el valor deducido corregido, valor que se encuentra ligado al PCI que se le asignó a cada UM (ver ecuación 9).

Analizando los resultados de la Sección 60012, estación 605+650, se determinó que una de las primeras UM con mayor daño fue la UM 3

que tiene asociada una severidad alta para roderas, con densidad de daño del 24% que eleva su valor deducido a 73, posee un VDT mayor a 100 para “q=3” y “q=2”, lo que a su vez da como resultado valores altos de VDC, afectando la UM con un PCI final de 24 (Ver AP-26).

La calificación más baja por UM, en la sección de control 60012, fue para la Unidad de Muestra 6 con una nota de 6, este valor se obtuvo debido a la cantidad de deterioros que se observaron el día del levantamiento en campo, además de la extensión de estos. Sobre esta misma UM, al existir más deterioros que en otras UM, hay un mayor número de valores deducidos que a su vez aportan un mayor valor a la sumatoria en el cálculo del VDT, también, al existir más VD mayores a 2, el valor de “q” aumenta y se generan igual número de VDC que el valor de “q” inicial, por consiguiente, existe mayor posibilidad de obtener altos valores de VDT y altos resultados en el Valor Deducido Corregido (VDT).

Además de la UM 6, las UM 7, 8 y 5 presentaron deterioros considerables con un PCI de 8, 12 y 20 puntos, los cuales también fueron obtenidos a partir de la relación con el tipo de deterioro, la cantidad de deterioros por UM, la severidad, la medida del deterioro, el valor de VD, VDT, “q” y VDC.

Para el caso del tramo de la sección de control 60001, donde se evaluaron las dos UM, se observa que la densidad de los deterioros es menor con respecto a gran parte de los deterioros presentes en la sección 60012, esto está estrechamente asociado a una menor área de UM y a una menor medida del daño presente, a su vez, este valor bajo de densidad se relaciona con los valores bajos de VD, siendo el mayor el VD el generado a partir de una severidad alta y densidad de 9.9% de roderas presentes en la UM 2.

Siguiendo la metodología presente en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, fue posible determinar mediante la fórmula expuesta en la ecuación 10, que el valor del PCI para cada tramo se basa en la nota obtenida para cada UM, la cantidad de UM inspeccionadas y el área de la sección, por lo tanto, se obtuvo una nota PCI de 35 puntos para la sección de control 60012, estación 605+650 y para la sección de control 60001, estación

350+080 un PCI de 49.5. Con los anteriores puntajes, el método clasifica los tramos según su condición funcional como muy pobre y pobre respectivamente (Ver cuadro 5 y 8).

Tanto los resultados obtenidos del levantamiento de deterioros como la clasificación del PCI indican la necesidad de intervenir los tramos sujetos de estudio.

## **Análisis de Granulometría Base, sub-base y subrasante SC 60012 y SC 60001.**

En el análisis de las muestras de material base obtenidas en la SC 60012, se pudo identificar mediante análisis granulométrico que el Tamaño Máximo Nominal de la partícula (TMN) es de 38.5 mm y su tamaño máximo es de 50.1 mm, lo que indica la presencia de partículas grandes, además, de la combinación granulométrica se pudo determinar que este material se encuentra conformado por una mayor cantidad de partículas gruesas con respecto a los porcentajes de finos tal y como es de esperarse en un material utilizado como base (Ver cuadro 15).

En la SC 60001 se identificó un mismo TMN de la partícula (38.55 mm) y tamaño máximo (50.1 mm) que en la SC 60012, lo que indica que en ambos tramos se utilizó un mismo tamaño de partículas en el diseño, también se comprobó que la combinación granulométrica promedio de ambas muestras eran similares con valores de alrededor de 60% de gruesos y 40% de finos en su composición.

Los resultados indican que al tener una mayor combinación de agregado grueso, así como un TMN de partículas grande, los materiales son considerados como aceptables para desempeñar la función como base, esto porque una mayor cantidad de gruesos favorece a la resistencia mecánica que estas partículas aportan ante los esfuerzos a los que la capa es sometida, además, el tamaño de partículas favorece la trabazón que se da entre los agregados, aumentando la capacidad de resistir cargas, pero, para conocer más detalladamente sobre los agregados, también es importante saber sobre otras propiedades físico-mecánicas de los agregados, como lo es la

resistencia a la abrasión, caras planas y alongadas, índice de durabilidad de gruesos, entre otras características que pueden ser conocidas mediante ensayos de laboratorio, que ayudan a una mejor caracterización de los materiales, pero que no pudieron ser realizados para este proyecto.

Para el caso del material de Sub-base muestreado en el tramo de la SC 60012, se encontró un TMN de partícula de 50.1 mm y un tamaño máximo de 63.0 mm, lo cual indica que este material está compuesto por un tamaño de partículas más grandes respecto al material base, esto a su vez genera una granulometría más abierta que fue comprobada a través de los resultados de la granulometría presentes en el cuadro 16 y la figura 31. También se notaron porcentajes de gruesos en la combinación granulométrica mayores que los que se obtuvieron para el material de la base y con ayuda de los tamices, se pudo conocer que respecto al material base, existe una mayor retención de material en los primeros tamices, lo que efectivamente confirmó la presencia de un material con granulometría más abierta.

El material no presenta plasticidad tal y como era de esperarse, ya que, esta característica es propia de arcillas y limos (material fino).

Por otra parte, en la sección de control 60001, se encontró un TMN de 38.5 mm y un tamaño máximo de partículas de 50.1 mm asociada a la sub-base (ver cuadro 19), lo cual hace referencia a una granulometría también abierta, además, en la combinación de materiales el porcentaje de material grueso promedio es del 58%, por lo tanto, poco más de la mitad de la muestra está compuesta por agregado de orden grueso. Sobre este mismo material, el estudio de los límites de Atterberg arrojó un valor de  $IP=0$  indicando que este material no presenta plasticidad, característico de los materiales gruesos.

En ambos tramos se realizó una clasificación de los materiales mediante el sistema AASHTO y se determinó que tanto los materiales para base como sub-base son materiales del tipo A-1-a (Ver cuadro 22 y 23). Este tipo de materiales son bien graduados, conformados por piedras o gravas y son no plásticos, por lo tanto, son

materiales adecuados para la construcción de carreteras.

Para el material encontrado en el puesto de control policial fronterizo en la SC 60012 utilizado como subrasante, fue posible analizar dos muestras en el laboratorio que contenían porcentajes de finos mayores al 80 % del total de la muestra, también, con los resultados del análisis granulométrico y los límites de Atterberg fue posible clasificar ambos materiales con el sistema AASHTO, donde se encontró que ambos materiales eran clasificados como suelos finos debido a que más del 35% del material pasa la malla N°200, por lo tanto, se puede intuir inicialmente que el material es una arcilla o limo, los cuales son materiales compuestos en su mayoría por partículas finas.

Fue importante realizar un análisis de los límites líquidos (LL), ya que, estos dan una idea de los rangos de variación de humedad y la capacidad de estos materiales para retener agua, obteniéndose para ambos puntos de estudio un valor de  $LL < 35$ , siendo esto favorable para el proyecto, ya que, materiales con altos contenidos de humedad tienden a una baja estabilidad mecánica.

El Índice plástico (IP) es otro de las características del suelo importante de analizar, ya que, este indica el intervalo de contenido de humedad en la que el suelo se mantiene plástico y para el caso de este proyecto los resultados del cuadro 21, muestran Índices de plasticidad  $IP < 30$ , por lo tanto, el material posee baja plasticidad, lo cual es favorable debido a que, por el contrario, materiales con alta plasticidad pueden generar asentamientos diferenciales.

Con las muestras del material ensayado fue posible realizar un promedio de la granulometría del material en el sitio y mediante la clasificación del sistema de la AASHTO se identificó que el material en la subrasante en la SC 60012 se clasifica como A-6-(9), según la tabla de clasificación presente en el Anexo 29 e indica la presencia de arcilla.

Los materiales de este grupo normalmente presentan cambios de volúmenes entre el estado seco y húmedo (Chacón, A; Ordóñez, A; Varón L. 2016). Para controlar los cambios volumétricos de la subrasante una de las recomendaciones es la

estabilización con cemento para disminuir la plasticidad y aumentar la rigidez del material.

En la sección 60001 se encontró un material de préstamo, de granulometría abierta con tamaño máximo de 50.1 mm, un TMN de 38.5 mm y que según su combinación granulométrica es clasificado como A-1-a (1).

## Proctor estándar.

Con el ensayo Proctor estándar fue posible conocer la humedad óptima en la muestra para alcanzar la máxima densidad seca, siendo para el material de la base en la SC 60012, 2195 kg/m<sup>3</sup> a un contenido de humedad del 7.85%. Por otra parte, para el tramo evaluado en la SC 60001 la densidad máxima seca promedio es de 2038 kg/m<sup>3</sup> a una humedad del 9.50%. (Ver cuadro 24 y 25).

Lo anterior demuestra que el material colocado en la SC 60012 tiene una mayor densidad con respecto al material de la SC 60001, por lo que tiene un mejor acomodo de las partículas, además, el material de la SC 60012 necesita una menor cantidad de humedad para alcanzar su máxima densidad, pero, en general si se evalúan ambos resultados, una humedad menor al 10 % hace referencia a materiales que no retienen mucha agua, lo cual es importante y beneficia a las condiciones del suelo, ya que, el agua es un elemento que perjudica a los materiales en términos de fluidez o capacidad de carga.

La densidad máxima seca promedio de la sub-base colocada en la SC 60012, dio como resultado 2110 kg/m<sup>3</sup> a un 7.4% de humedad óptima, mientras en la sección de control 60001 la humedad óptima a la cual se lleva el material a su densidad máxima seca es de 8.33% para 2100 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto, se puede mencionar que en ambos tramos la densidad es muy similar, sin embargo, el material sub-base colocado en el puesto de control fronterizo (SC 60012) es ligeramente mejor en este rubro debido a que tiene mayor densidad y necesita menor humedad para ser alcanzada.

En el puesto de control fronterizo (SC 60012), se encontró que el material de la

subrasante es el que menor densidad máxima seca presenta con 1595 kg/m<sup>3</sup>, este valor es explicado debido a que es un material fino clasificado como arcilla y estos materiales son plásticos, por ende, su densidad es menor en comparación por ejemplo con el material de préstamo colocado por debajo de la sub-base en el SC 60001, que por su composición granulométrica es clasificado como material grueso, no presenta plasticidad y que por ello su valor de densidad seca es muy similar al de la capa base con un valor de 2017 kg/m<sup>3</sup>.

También se pudo notar que la arcilla encontrada en la subrasante de la SC 60012 es la que mayor contenido de humedad presentó "in situ" con un 16.09%, esto contribuye a que su densidad sea menor, debido a que las partículas del suelo son desplazadas por las del agua y al ser el agua menos densa que los agregados, esto influye en una disminución de la masa con respecto al volumen de la muestra.

Generalmente, para el control de calidad de los materiales granulares, se comparan los resultados del ensayo de laboratorio "Proctor Estándar" con resultados de densidad en campo, sin embargo, para este proyecto, dicha comparación no fue posible debido a que no se pudo contar con el equipo requerido para determinar la densidad de los materiales en los sitios estudiados.

## Ensayo CBR.

Para este ensayo se compararon los resultados de CBR con la tabla de clasificación del anexo 30, con el fin de identificar si los materiales presentes en campo fueron utilizados para el uso recomendado de acuerdo con la tabla. Dicho lo anterior, en el cuadro 26 se presenta el valor de CBR obtenido en cada tramo y se verificó que actualmente los materiales para base y sub-base al tener valores de CBR mayor a 50 son considerados como excelentes y pueden ser inicialmente considerados en el paquete estructural.

Tal y como era de esperarse en la SC 60012, se tiene un valor de CBR de 8.2 en la subrasante, lo cual, para Castro (2020) indica una baja resistencia a cortante típica de las arcillas. Por otra parte, al momento de realizar los sondeos

de materiales en la SC 60001 se encontró un material de préstamo en la subrasante, compuesto en su mayoría por material grueso (piedra), lo que explica que el valor del CBR sea mayor a 50 y sea de mejor calidad que el encontrado en la SC 60012. (Ver cuadro 26).

También se pudo notar que en ambos tramos el material utilizado para sub-base es el material que mejores resultados de CBR presenta con valores por arriba de 90, lo que indica una alta relación entre la calidad del material encontrado en sitio y el material estándar establecido en la norma ASTM D-1833.

Los valores de CBR fueron comparados con los valores para especificaciones de base y sub-base de la sección 301 del CR-2010 y se encontró que tanto en la SC 60012 como en la SC 60001 los materiales granulares de base y sub-base cumplen con el 80 y 30 mínimo, lo cual indica que son aceptables para la función que desempeñan.

## Núcleos de mezcla asfáltica.

A partir de los resultados del ensayo de granulometría fue posible comparar el tamaño de las partículas de agregado para mezcla asfáltica con los tamaños especificados en la tabla 418.2 del Manual CR-2010, (Ver A-33). Dicho lo anterior, se notó que el agregado de la SC 60012 posee un TMN de partículas de 19 mm y que efectivamente cumple con las tolerancias y rangos permitidos en el Manual mencionado anteriormente. (Ver cuadro 27 y figura 36)

Por otra parte, los resultados obtenidos para la SC 60001 presentes en el cuadro 28, afirman que los tamaños de las partículas se encuentran dentro de los rangos establecidos como aptos para desempeñar la función de agregado para mezcla asfáltica en caliente. Con ayuda de ese mismo cuadro fue posible determinar que el TMN es de 12.7 mm y el tamaño máximo es de 19 mm, esto porque es el tamiz de 9.5 mm el que retiene más del 10% de material. La figura 37 ayuda a realizar una comparación entre las curvas granulométricas especificadas en el CR2010 y la curva granulométrica de los materiales en campo, encontrándose una adecuada graduación según lo estipulado.

Para el análisis se realizó una comparación entre los parámetros de diseño óptimos propuestos inicialmente en el oficio N° ITP-104-19 elaborado por Ingeniería Técnica de Proyectos (ITP) y los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en este proyecto, esto con el fin de relacionar los problemas a las patologías encontradas en campo.

Dicho lo anterior, en el levantamiento de deterioros realizado en ambos tramos, se identificó la presencia de exudación, esta patología puede ser explicada a partir de los resultados de los ensayos de MAC presentes en el cuadro 29, ya que se encontró una relación de 6.51% entre el asfalto y la mezcla para la SC 60012, mientras que para la SC 60001 el valor es de 6.01%, estos resultados demuestran que para ambos tramos los contenidos de asfalto se encuentran por encima del valor óptimo de 5.70% y que incluso para el caso de la SC 60012 se encuentra 0.31% por encima del rango permitido, por lo tanto, es muy posible que la película gruesa de ligante asfáltico que se observa en la carpeta asfáltica, esté relacionado con el exceso en el contenido de asfalto, además, el bajo contenido de vacíos en la SC 60012 también puede estar asociado con exudación.

En el levantamiento en campo, para ambas secciones de control, se encontró un desplazamiento de mezcla, obteniéndose para la SC 60012 una mayor severidad y extensión que para el tramo de la SC 60001, esto a su vez puede estar relacionado con los valores del contenido de asfalto obtenidos, ya que, el exceso de asfalto sumado con bajos porcentajes de vacíos, las bajas frecuencias de carga y las altas temperaturas son probablemente las causas del corrimiento de la mezcla y se nota como para la SC 60012 hay una mayor afectación de esta patología debido a que es la que mayor contenido de asfalto presenta y es el sitio donde la sobrecarga es mayor. Más adelante se analiza cómo las cargas a las que está sometida la estructura también están relacionadas con la presencia del desplazamiento de mezcla.

Aunque no fue posible realizar el ensayo de estabilidad y flujo debido a que el espesor de los núcleos cortados no cumplía con los espesores de la norma ASTM D 6927, una cantidad alta de asfalto como la que se presenta en ambos puntos,

ocasiona una lubricación de partículas excesiva, esto porque el exceso de ligante genera una capa alrededor de los agregados que provoca que las partículas se desplacen entre sí, además, altos contenidos de asfalto, cargas altas, cargas lentas y las altas temperaturas generan que la mezcla se encuentre en condiciones desfavorables en términos de deformación plástica y que esto sea una causa de las deformaciones permanentes observadas en ambos sitios. Los altos contenidos de asfalto ocasionan valores de flujo alto y baja estabilidad en las mezclas asfálticas, esto sumado con cargas excesivas que provocan la falla del asfalto a temprana edad.

El bajo contenido de vacíos de la mezcla presentado en el cuadro 29, indica altos porcentajes de compactación, lo que permite un adecuado acomodo de las partículas, sin embargo, el promedio de 2.4% de vacíos obtenido para la SC 60012 es bajo en relación con la especificación, ya que, según Fernández (2020) los valores típicos de contenido de vacíos en campo son de 3.0% - 7%, este valor atípico en el porcentaje de vacíos es debido a que posiblemente gran parte de los espacios vacíos han sido cubiertos por el asfalto que se encuentra en exceso, además, el paso repetido de los vehículos y la magnitud de las cargas han ocasionado que la mezcla asfáltica se encuentre más sellada de lo normal. En la SC 60001, el resultado de las pastillas ensayadas arrojó un valor promedio de 4.1% de vacíos, lo cual también es bajo y está relacionado con el contenido de asfalto y las cargas, pero, se encuentra dentro del rango especificado en el cuadro 29, por lo tanto, se considera aceptable.

En la sección de control 60012 se encontró un valor de 2,420 para la gravedad bruta de pastillas compactadas (Gbs) y 2,483 para el caso de la gravedad máxima teórica (Gmm), mientras que, para el tramo localizado en la frontera con Panamá, la gravedad bruta compactada es de 2,386 y su gravedad máxima teórica es de 2,488. Lo que se pudo observar de estos resultados es que para el caso del tramo con mayor contenido de asfalto (SC 60001) se tiene una pequeña disminución en el Gmm con respecto a la SC 60012, esto se relaciona al hecho de que el agregado tiene una gravedad específica mayor

que el asfalto, por lo que al tener más asfalto ocupando espacio que puede ser cubierto con agregado, la pastilla baja su gravedad máxima teórica. También hay que mencionar que la leve diferencia entre la (Gmb) se debe al contenido de asfalto de las mezclas, ya que, a mayor cantidad de asfalto mayor gravedad específica bruta compactada, esto porque el asfalto llena los vacíos de aire y la densidad aumenta.

Según la experiencia de Fernández (2020) los valores típicos de Gbs se encuentran en un rango de 2,280 a 2,400 y los valores para Gmm de 2,440 a 2,520, por lo tanto, en términos de gravedad específica bruta compactada y gravedad máxima teórica, ambos tramos se encuentran dentro de los valores normales.

## Deflectometría por impacto.

Los resultados obtenidos del ensayo de deflectometría por impacto expuestos en la figura 39 y 40, fueron comparados con la figura 23 que agrupan las deflexiones según su severidad, dando como resultado severidades en su mayoría bajas para ambos tramos, con deflexiones menores a los 76, 5 (mm x10<sup>-2</sup>) tal y como lo comprueban las figuras 39 y 40.

El tener deflexiones bajas y conocer mediante las figuras 43 y 44 que el número estructural retrocalculado es un valor considerado como bueno para la estructura de pavimento, además, de conocer mediante estas mismas figuras que los módulos retrocalculados para la base, sub-base y subrasante se encuentran dentro de lo típico de los materiales de buena calidad, hicieron que la atención fuera puesta en el resultado del módulo de rigidez de la MAC en ambos tramos, donde los valores de 370 771.45 (psi) y 239 226.9 (psi) en la SC 60012 y en la SC 60001 respectivamente, lo que demuestra una deficiencia en esta propiedad, ya que los valores típicos de módulos de rigidez de mezclas convencionales se aproximan a los 450 000 psi.

Lo anterior demuestra que el número estructural alto retrocalculado se debe a un buen desempeño de los materiales granulares presentes en el paquete de pavimento, así como también a lo robustas que son los espesores de capa que existen actualmente. Deflexiones en un

rango bajo, pero observar ahuellamiento y desplazamiento de mezcla indican que los esfuerzos a los que está sometida la estructura como un todo, no genera grandes deformaciones, que los materiales granulares están resistiendo las compresiones a las que está sometida la estructura, pero la mezcla asfáltica está cediendo, así mismo, los resultados obtenidos parecen indicar que la capacidad estructural es adecuada y que los problemas funcionales en la superficie de rodamiento se encuentran relacionados con el ligante asfáltico utilizado en el diseño inicial, debido a que las altas temperaturas, altas cargas y las bajas velocidades de carga distintas a la totalidad de la ruta, no son aptas para soportar las condiciones mencionadas, lo que ha provocado que probablemente el asfalto haya pasado de un estado visco-elástico a un estado más plástico, donde se generan deformaciones no recuperables y se excede la capacidad de la MAC.

## Medición vehicular.

Para el caso del tramo afectado en la SC 60012, estación 605+650, a partir de los datos presentados en los apéndices del 41 al 45, se pudo determinar que el carril por el que más vehículos transitan es el que se encuentra en el sentido de circulación La Guaría- Río Claro, ya que, se contabilizó un total de 5294 vehículos, mientras que en el sentido de circulación Río Claro – La Guaría, pasaron 4940 vehículos, para un total de 354 vehículos menos.

Con los datos recopilados del 22 al 27 de abril de 2021, en el tramo de la sección de control 60001, se identificó que el día que más vehículos transitan es el sábado con 148 vehículos. Lo anterior, según información brindada por los encargados del puesto de desinfección, se debe a que gran parte de los conductores de vehículos pesados de placa costarricense salen cargados con destino hacia Panamá los viernes y regresan al siguiente día (sábado) generalmente vacíos y listos para volver a cargar domingos con la intención de salir nuevamente el lunes hacia el país vecino.

En la figura 45 se presenta un gráfico de barras que muestra la cantidad de vehículos que transitaron por la ruta de la SC 60012 en estudio

durante los días 15, 16, 19, 20 y 21 de abril, en el horario definido para el conteo. Con la figura mencionada anteriormente es posible identificar que, durante la primera mitad del día, el horario en el que más vehículos circulan es de 8:00 am a 10:00 am con un promedio de 211 vehículos, de 8:00 am a 9:00 am y de 9:00 am a 10:00 am un promedio de 210 vehículos. Para la otra mitad del día, de 3:00 pm a 5:00 pm es el horario en el que más vehículos circulan.

La cantidad de tránsito horario por día de recuento en el tramo de la SC 60001, ilustrado en la figura 46, permite identificar que de 7:00 am a 8:00 am es el horario que más vehículos transitan con un promedio de 17 vehículos, siendo el jueves el día que más vehículos pasaron durante esa hora aportando 23 vehículos al conteo. Para la otra mitad del día, en horario de 4:00 pm a 5:00 pm circula un promedio de 12 vehículos, siendo otro de los horarios más concurridos.

La figura 47 permite identificar cuáles son las cantidades por tipo de vehículo pesado que transitan el tramo de la SC 60012, siendo los tipos T3-S3 y los C2 los que más circulan. Por otra parte, para el caso del tramo afectado en la SC 60001, a partir de los datos mostrados en la figura 48, los vehículos tipo T3-S2 son los que más aportan al conteo, ya que, al estar este tramo en las cercanías de la frontera con Panamá, es común que gran parte de los vehículos que ingresan tengan la intención de importar productos a nuestro territorio o servir de canal para el traslado de mercadería más hacia el norte.

Para efectos de análisis, tanto para el tramo de la SC 60012 como para el de la SC 60001, no se ha considerado el daño de los vehículos livianos y de carga liviana debido a que el daño que estos ocasionan es insignificante con respecto a los vehículos del tipo pesado (BUS, C2,C3,T3-S2,T3-S3), sin embargo, tal y como se muestra en la figura 49 y 50, los livianos y carga liviana son los autos que más circulan con un 53.5% y un 23% del total de vehículos contabilizados, por otra parte, para el caso del tramo de la SC 60001 88.3% de los vehículos son del tipo T3-S2.

Conocer los tipos de vehículos que pasan por esta ruta es importante a la hora de determinar los factores camión, ya que, parámetros como la

cantidad y tipo de ejes de los vehículos son valiosos para asociar el daño que estos provocan sobre la estructura.

Las figuras 51 y 52 fueron creadas para identificar que el viernes 16 de abril fue el día que más vehículos pasaron por el segmento de la SC 60012 con un total de 3062 vehículos contabilizados, mientras que para el segmento afectado en la SC 60001, sábado con 169 vehículos, es el día más transitado.

El Tránsito Promedio Diario (TPD) para ambos segmentos se presenta por medio de la figura 53 y da como resultado una diferencia significativa entre ambos tramos, con 2884 vehículos en la SC 60012 contra 139 del tramo de la SC 60001. La diferencia mencionada anteriormente se debe a que en el segmento de la SC 60012 existen dos carriles de circulación (uno por sentido), además, el tramo es parte de una ruta primaria como lo es la Ruta Nacional 2 y conecta con muchos otros pueblos cercanos como Golfito, Río Claro, Ciudad Neilly, Palmar Norte y Paso Canoas, por lo tanto, la afluencia vehicular es alta. Por otra parte, aunque el tramo ubicado en el puesto de desinfección es parte de la RN2, este se encuentra anexo a la carretera principal y es utilizado únicamente por aquellos vehículos que ingresan al país provenientes de Panamá, por consiguiente, no se tomó en consideración los vehículos que llegaban a Paso Canoas ni los que salían de nuestro país.

Con información de la estación temporal ubicada 1 km antes de la entrada a Río Claro, R.14 a Golfito, Río Lagarto, sección 60012, proveniente del Anuario de Información de Tránsito 2018, (Ver A-47), fue posible realizar una comparación entre los resultados medidos y los reportados en el anuario para el año 2015, dando como resultado una diferencia de 2295 vehículos menos en el TPD, respecto a los datos tomados actualmente para el tramo de la SC 60012, también se pudo observar que hubo una disminución del 5% en el porcentaje de vehículos livianos, ya que, para el 2015 se registraron un 58.09% y actualmente se registró un 53.5%, los vehículos clasificados como carga liviana por el contrario tuvieron una alza debido a que pasaron de ser un 15.56 % del total, a un 23.1%, sin embargo, esta fue la única excepción debido a que los vehículos pesados

(bus, C+, C2, C3, T3-S2 y T3-S3) tuvieron una disminución en sus porcentajes al igual que los vehículos livianos.

La disminución en el TPD de esta ruta puede estar fuertemente relacionada a las condiciones sanitarias actuales que han restringido la circulación de vehículos en el país, sumado con el cierre de las fronteras, comercios y el turismo que habitualmente se realizaba antes de la pandemia.

Para el caso del tramo de la SC 60001, se determinó que los datos de la estación temporal no están asociados al segmento en estudio, ya que como se mencionó con anterioridad, el tramo es un carril anexo a la ruta principal que únicamente considera el paso de los vehículos provenientes de la frontera con Panamá, por lo tanto, no es adecuado realizar una comparación entre los datos obtenidos y los de la estación temporal.

## Factor camión.

Para realizar un diseño ajustado a las condiciones a las que están expuestos ambos tramos, fue necesario realizar una estimación del daño que ocasionan los vehículos sobre la estructura de pavimento, esto con la intención de comparar los resultados obtenidos, con información de cargas y configuración de ejes proveído por el Departamento de Pesos y Dimensiones de CONAVI basado en pesos permitidos según el Decreto Ejecutivo N°31363-MOPT.

Según información brindada por Fernández (2020), los diseños actuales de los tramos por intervenir fueron realizados con base en los factores camión máximos expuestos en el Oficio DVOP-5170-07 (2007), por lo que fue también necesario realizar una comparación entre estos y los que se encontraron actualmente.

En el cuadro número 32 se muestran los resultados de los factores camión obtenidos para la SC 60012, donde queda en evidencia que el factor camión correspondiente al vehículo del tipo T3-S3, T3-S2 y C3 más pesado que transita por esta ruta, sobrepasa considerablemente los factores camión con los cuales se diseñó inicialmente y también sobrepasa los valores permitidos según decreto.

Sobre esta misma línea, también es importante mencionar que el tramo de la SC 60012 es altamente concurrido por camiones articulados que transportan palma aceitera y que según la policía de fronteras y policía de tránsito pasan con cargas consideradas como en exceso, sin embargo, los días que se realizaron los controles de peso muy probablemente los conductores fueron advertidos de nuestro accionar, ya que, en conjunto con la policía de tránsito se sancionó a quien estuviera infringiendo la ley de pesos y dimensiones, por lo tanto, no fue posible comprobar dicha información, pero se sabe que es veraz, ya que, los mismos ingenieros de la empresa y mi persona corroboramos dicha información en otras oportunidades que estuvimos en la zona.

Sobre esta misma sección, pero con respecto al estadístico percentil 84 de los resultados para los vehículos T3-S3, T3-S2 y C3 los valores también sobrepasan los factores camión utilizados en el diseño inicial. Con respecto al Decreto Ejecutivo N°31363-MOPT y comparándolo también con los resultados del percentil 84, solo el caso del vehículo T3-S3 se encuentra por arriba de lo permitido.

Para el vehículo promedio en este mismo tramo (SC 60012), los resultados del control de pesos indican que los datos de todos los vehículos se encuentran dentro del límite establecido en el Decreto Ejecutivo.

El cuadro 33 expone los resultados del factor camión de los vehículos que transitan por el tramo afectado de la SC 60001, a partir de ello fue posible identificar que los factores camión del vehículo más pesado, el vehículo promedio y el estadístico percentil 84, se encuentran por debajo de los factores camión permitidos en el decreto, pero, al comparar el factor camión del vehículo más pesado T3-S3 y T3-S2 con respecto al factor máximo del oficio DVOP-5170-.07, estos se encuentran por debajo de los obtenidos en este proyecto, lo que indica una subestimación de los factores camión utilizados en el diseño inicialmente.

En síntesis, los resultados obtenidos muestran una necesidad de realizar un mayor control con estaciones de peso temporales rutinarias o con una estación permanente donde

se fiscalice el peso de los vehículos que transitan sobre la SC 60012, ya que, al obtener factores camión por encima de los límites, es muy probable que el ciclo de vida de la estructura se acorte, esto a su vez ocasiona que los periodos de mantenimiento y rehabilitación sean menores y generen un mayor costo del esperado.

Por otra parte, el desajuste entre los factores camión del diseño inicial y los encontrados actualmente, demuestra que las condiciones de carga sobre ambos tramos han cambiado, por lo tanto, para un correcto diseño de rehabilitación es importante considerar las solicitaciones de carga obtenidas actualmente, ya que, aunque el diseño inicial sea satisfactorio para el resto de las condiciones de operación de la ruta, las condiciones especiales que existen en ambos tramos evaluados, en términos de velocidad de carga, generan una condición crítica sobre la estructura.

Al encontrarse vehículos con cargas en exceso y con factores camión mayores a los permitidos por la ley, se puede asociar el daño que ocasionan estos vehículos con la presencia de roderas, pulimiento y el desplazamiento de mezcla.

Para cuestiones de diseño estructural la Guía de Diseño de la AASHTO (1993) recomienda realizar el diseño a partir del factor camión promedio, sin embargo, por recomendación del ingeniero Hermes Navarro y debido a que según el ingeniero Sergio Fernández los diseños iniciales fueron realizados considerando el factor camión máximo, se decide también utilizar el factor camión máximo relacionado con el daño crítico ocasionado por los vehículos que transitan.

## Diseño estructural para la SC 60012, estación 605+650.

El diseño estructural de espesores para la estructura de pavimento fue realizado inicialmente mediante lineamientos establecidos en la Guía de diseño AASHTO (1993). Esta metodología es basada en métodos empíricos que, a partir de la demanda, las propiedades de los materiales, confiabilidad de los datos, serviciabilidad de la estructura y otros, determina espesores de capa.

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados a materiales granulares (base, sub-base y subrasante), fue posible determinar que estos se encuentran en buenas condiciones para desempeñar función de materiales de soporte debajo de la capa de rodamiento, por lo tanto, los materiales granulares que se encuentran actualmente en el tramo afectado de la SC 60012 no serán sustituidos y por el contrario se decidió mantenerlos así tal cual con sus mismas propiedades y espesores para ser aprovechados.

Las bajas deflexiones obtenidas con la deflectometría de impacto (menores a  $76.5 \text{ mm} \times 10^{-2}$ ) y los valores estimados en el retrocálculo del número estructural ( $SN = 6.1$ ) indican que el paquete estructural actual posee una buena capacidad de soporte, sin embargo, para tener certeza de la capacidad estructural del paquete de pavimento, se determinó el SN actual manteniendo los mismos espesores y materiales existentes (Ver AP-119, SN existente).

Mediante la metodología AASHTO también fue posible conocer la capacidad estructural requerida que rige el diseño ( $SN_3$ ) para un periodo de 8 años y un número de ejes equivalentes igual a  $2.84E+06$ . (Ver AP-119, SN requerido)

En términos estructurales se realizó comparación entre la capacidad actual ( $SN_{\text{actual}} = 5.43$ ) y la capacidad requerida ( $SN = 3.55$ ) donde se demuestra que el paquete estructural (carpeta asfáltica, base, sub-base) no presenta problemas.

Conociendo que los materiales granulares poseen buenas características y sabiendo que la capacidad estructural actual es mayor a la requerida, así como los robustos espesores que posee la estructura actual, es muy probable que las patologías presentes en este tramo estén relacionadas a la mezcla asfáltica, ya que, tal y como se ha mencionado el módulo de rigidez de la MAC (363 158 psi) indica un módulo de rigidez bajo, lo cual se asocia con una baja resistencia a la deformación, además, los ensayos realizados a las pastillas de MAC (Cuadro 29) indican asfalto en exceso, lo cual influye en aparición de roderas y la presencia de exudación, además, el cemento asfáltico recomendado, según los resultados de la figura 42 debe ser PG-76 por las condiciones de

operación actuales en términos de temperatura alta, velocidad de carga baja y altas magnitudes de carga existentes.

Partiendo de que la condición actual y las patologías presentes en el tramo no están relacionadas con fallas en los materiales granulares, se decidió trabajar en 4 estrategias de intervención posibles para corregir los problemas superficiales presentes en la capa de rodadura.

La estrategia de intervención 1 propone realizar un perfilado parcial de 5 cm de profundidad para eliminar las roderas de severidad alta que alcanzan profundidades mayores a los 2.5 cm y colocar una mezcla asfáltica con polímeros para aumentar la rigidez a la deformación en la capa de rodadura, combatir el ahuellamiento, disminuir la susceptibilidad térmica del asfalto y dar rehabilitación al tramo.

El número estructural requerido  $SN_3$  es de 3.55 para un horizonte futuro de 8 años.

El perfilar 5 cm de carpeta asfáltica actual genera una disminución de 0.77 puntos en el aporte estructural de esta capa, sin embargo, esta capacidad es recuperada y excedida con la propuesta de un espesor de 6cm sobrecapa asfáltica con polímeros que genera un aumento de 1 cm de espesor con respecto al espesor de todo el paquete estructural que se encuentra actualmente.

Así la propuesta de la intervención 1 establece un espesor de sub-base y base igual al diseño existente (27 y 25 cm, respectivamente), un espesor de carpeta actual perfilada de 12 cm y una sobrecapa de asfalto modificado de 6 cm para un total de 70 cm de espesor del paquete estructural.

Los 6 cm de sobrecapa fueron propuestos siguiendo la recomendación de la AASHTO 93 que establece un espesor de sobrecapa de tres veces el tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica (generalmente 12.5 mm)

Con un número estructural acumulado de 5.93 y mayor al SN requerido, el diseño de esta propuesta es satisfactorio por medio de la metodología AASHTO 1993, sin embargo, fue necesario revisar aquellas posibles fallas en el pavimento mediante métodos de desempeño mecánico.

La intervención 1 es una estrategia de pavimento flexible, por consiguiente, mediante el modelo de agrietamiento por fatiga y el modelo de deformación plástica del Instituto del Asfalto detallado en la metodología, fue posible determinar que el número de repeticiones para la falla tanto en subrasante como en la carpeta y sobrecapa es mayor a la cantidad de repeticiones para la falla debido a cargas vehiculares.

El cuadro 40 muestra cómo la falla por deformación plástica en la subrasante es de un orden mayor al valor de repeticiones  $N_{18}$ , lo cual está ligado al espesor de 27 cm en la subrasante y a la baja deformación máxima en la fibra superior de la subrasante que se genera.

La segunda estrategia de intervención propone no perfilar y en vez de esto realizar una prenivelación para posteriormente colocar una sobrecapa asfáltica compuesta por polímeros de alta resistencia a la deformación.

Tal y como lo muestran las condiciones consideradas en la figura del Apéndice 120, la capacidad requerida en términos estructurales es la misma para la intervención 2 que la determinada para la intervención 1, debido a que los parámetros y el periodo de diseño no cambian.

Sin embargo, para esta intervención es importante mencionar que, debido a las irregularidades superficiales, la ejecución de la prenivelación debe ser controlada en campo, ya que, dicha actividad genera un incremento en el nivel de rasante, que a su vez repercute en una modificación de la geometría del tramo.

Debido a que en esta intervención los espesores y materiales existentes se mantienen, el número estructural acumulado pasa de 3.41 a un SN acumulado propuesto de 4.68 lo que equivale a un aumento de 1.28 correspondientes a los 6 cm de espesor de sobrecapa asfáltica añadidos.

Como era de esperarse, un aumento en el espesor de capa del paquete estructural genera un aumento en el SN existente y sigue cumpliendo con el SN requerido.

Con los resultados de las deformaciones obtenidos con el Software 3D-Move se determinó que la estructura está sometida a deformaciones en tensión menores respecto a la estrategia de

intervención 1 y esto se encuentra ligado a la diferencia de 5 cm de espesor propuesto entre ambas intervenciones que ocasionan una mayor rigidez y resistencia a la deformación.

Ante las bajas deformaciones presentes en la carpeta asfáltica actual y la sobrecapa, el modelo por fatiga cumple, lo cual indica que con esta intervención el agrietamiento sobre la superficie de ruedo es controlado.

La tercera estrategia de intervención también propone mantener los mismos espesores y materiales de base y sub-base (25 y 27 cm respectivamente) sin embargo, la diferencia radica en eliminar completamente la actual carpeta asfáltica deteriorada mediante perfilado, esta opción es considerada debido a que, mediante los ensayos de laboratorio realizados a la MAC actual, se ha terminado un ablandamiento y/o pérdida de rigidez de la mezcla debido a las altas temperaturas y las condiciones de carga. La condición de deterioro de la MAC también fue visualmente comprobada en campo con la extracción de núcleos realizada, donde se pudo observar una mezcla con exceso de asfalto y que aún con esta condición, el cemento asfáltico presentaba una con baja capacidad para aglutinar o amarrar los agregados que componen la MAC, ya que, la mayoría de los núcleos muestreados salían deteriorados (Ver A-15).

Para esta alternativa se propuso sustituir la totalidad de la carpeta asfáltica actual por una carpeta asfáltica elaborada con polímeros, clasificada por cemento asfáltico como PG-76 que como se muestra en la figura del anexo 43, cumple satisfactoriamente con las condiciones especiales de aceleración/frenado, altas temperaturas y cargas, lo que evitaría la formación de roderas y el desplazamiento de la mezcla.

La figura 51 muestra la elección de 13 cm de espesor de mezcla asfáltica modificada, 25 cm de base y 27 cm de sub-base, con estos nuevos espesores se logra una disminución de 4 cm con respecto al espesor del paquete estructural actual, además, el aporte estructural de esta nueva carpeta es de 2.76, lo que corresponde a un aumento de 0.15 en relación con el aporte de la carpeta actual y cumple con el SN requerido de 2.54 para esta capa.

Para esta alternativa también se revisaron los requisitos mínimos recomendados por la AASHTO en función de las cargas de diseño, donde se recomienda un mínimo de 9 cm de carpeta asfáltica para diseños de EEQ entre 2 millones y 7 millones de ejes equivalentes, por lo tanto, el diseño se considera aceptable para la metodología AASHTO 1993.

Para el caso del modelo mecánico por fatiga en la carpeta asfáltica, se consideró mantener el espesor de 13 cm debido a que, si se utiliza el espesor recomendado por AASHTO, el diseño falla por agrietamiento debido a las grandes magnitudes de deformación que se generan debido a las condiciones de carga sobre la estructura.

Con respecto al criterio de deformación plástica que se debe cumplir, este diseño no presenta problemas debido a que con el espesor de sub-base existente (27 cm) es suficiente para resistir las pasadas de los vehículos en el periodo de 8 años establecido.

La cuarta intervención es una alternativa en pavimento rígido, donde se evalúa perfilar la totalidad de la carpeta actual debido al deterioro comprobado. Con esta intervención se pretende aprovechar el buen comportamiento de los materiales granulares existentes y sobre estos colocar una losa de concreto hidráulico para controlar las deformaciones.

Mediante los criterios de la metodología AASHTO 1993 para el diseño del espesor de losa se propone un espesor definitivo de 30.5 cm (12 in) y con ayuda de los lineamientos de la PCA se realizó un diseño con dovelas # 8, 2.54 cm (1 in), a una separación de 30 cm. Bajo esta propuesta la capacidad de las dovelas es mayor que al esfuerzo que se genera en la dovela crítica y se cumple con el factor de seguridad de 2.

Para el diseño de acero de refuerzo transversal se propone el uso de espaldón asfáltico, distancia al borde libre igual al ancho de carril, factor de fricción losa/capa soporte de 1.5 y acero grado 40. Bajo dichos parámetros, se propone el uso de varillas # 4, 1.27 cm (0.5 in), a una distancia de 60 cm (23.62 in) entre ellas.

Se revisaron los modelos de escalonamiento, fatiga y bombeo incumpliendo este último criterio debido a las grandes

precipitaciones anuales en la zona y la relación de este parámetro con el modelo, por lo tanto, fue necesario aumentar el espesor de losa de 21.34 cm (8.4 in) a 30.5 cm (12 in). Con un aumento en el espesor de losa las deformaciones máximas disminuyen, por lo tanto, el modelo de escalonamiento y fatiga que ya cumplía para 21.34 cm también cumple para un espesor de 30.5 cm, además, con el nuevo espesor propuesto sí se logró cumplir con modelo de bombeo.

Por lo anterior, este modelo propone una losa de 30.5 cm (12 in) de espesor, sobre una capa de soporte ya existente de 26.7 cm (10.5 in).

## Diseño estructural SC 60001, estación 605+650.

En la SC 60001 actualmente se encuentra colocada una carpeta de 11 cm de asfalto convencional AC-30, una base estabilizada con cemento de 23 cm y una sub-base de 20 cm sobre material de préstamo colocado a una profundidad de 53 cm.

Los resultados de laboratorio analizados en la sección correspondiente determinaron una calidad aceptable para los materiales utilizados como base y sub base, con adecuada granulometría, humedad y densidad en sitio, sin embargo, al igual que en la sección 60012 se encontraron deficiencias en la mezcla asfáltica con respecto a un exceso en el contenido de asfalto, además, los resultados del retrocálculo de módulos indican que actualmente la MAC posee un módulo de rigidez de 239 227 psi, siendo este un valor bajo en comparación con el módulo de una mezcla asfáltica convencional (450 000 psi). El valor del módulo de rigidez se encuentra ligado a las condiciones de operación actuales y el ablandamiento del cemento asfáltico a causa de temperaturas por encima de los 30°C encontradas en el sitio.

Para los 64 m de longitud afectados en SC 60001, estación 350+080 se consideran las mismas cuatro estrategias de intervención planteadas para el segmento de la SC 60012 debido a que todo apunta a fallas funcionales sobre la carpeta asfáltica, debido a las deficiencias encontradas en la MAC que ha ocasionado

principalmente la aparición de roderas y exudación.

La estrategia 1 busca eliminar el desplazamiento de mezcla y las roderas presentes mediante el perfilado de la carpeta asfáltica actual hasta una profundidad de 5 cm, donde el asfalto no presenta afectación por dichas patologías, ya que, la profundidad de las roderas no sobrepasa los 3 cm.

Con este diseño se propone mantener los mismos materiales base y sub-base para aprovechar el alto módulo de rigidez asociado a la base estabilizada con cemento que, como era de esperarse, aumenta la capacidad estructural de la capa, además, bajo la sub-base se encontró un material de préstamo con alto CBR (84.7) y módulo de rigidez que a su vez genera un requerimiento estructural (SN3) menor con respecto al calculado para la SC 60012 debido al importante aporte estructural que brinda el préstamo.

En la figura del apéndice 125 se detalla el procedimiento tanto para determinar el SN requerido como el SN por capa propuesto, asociado a un espesor de sobrecapa asfáltica de 6 cm, una carpeta original perfilada para un espesor también de 6 cm, una base estabilizada con cemento de 23 cm y una sub-base de 20 cm.

Los espesores propuestos generan un SN de 4.05 mayor a 1.64 (SN requerido), lo que evidentemente sobrepasa en gran medida el requerimiento. Lo anterior indica que la estructura se encuentra sobredimensionada, esto puede estar asociado a los tamaños de espesor utilizados para la base estabilizada y la sub-base además de que en esta estrategia se aumenta en 1 cm el espesor del paquete del pavimento (55cm).

Aunque el paquete estructural se encuentra por arriba de los requerimientos de la metodología AASHTO, fue necesario conocer las deformaciones máximas mediante la modelación del pavimento en el Software 3D-Move para posteriormente determinar la capacidad de la estructura en términos mecánicos.

Al ser esta una propuesta en pavimento semi-rígido, además de los modelos de deformación plástica en la subrasante y fatiga en la carpeta, se revisó el modelo de desempeño por fatiga en la base estabilizada, propuesto por la

PCA y la guía de asfaltos australiana, indicadas en la metodología, dando como resultado valores de repetición de ejes equivalentes mayores al EEQ de diseño, por lo tanto, la estructura es aceptable en términos mecánicos.

La estrategia de intervención 2 desarrollada para este tramo pretende aprovechar la totalidad de la capacidad estructural manteniendo los mismos 11 cm de carpeta, 23 cm de base estabilizada y 20 cm de sub-base, pero para cubrir las roderas se plantea el uso de una capa de prenivelación y de una sobrecapa nueva de asfalto con polímero de 6 cm de espesor para controlar las deformaciones.

Para esta intervención el requerimiento estructural se mantiene igual a la mencionada en la intervención 1, (SN requerido=1.64).

El SN acumulado existente, manteniendo los mismos espesores y materiales, corresponde a 3.41 lo que directamente indica que la estructura actual es capaz de soportar las condiciones actuales e indica que probablemente las patologías presentes están relacionadas a fallas funcionales propias de las características de la mezcla asfáltica (cemento asfáltico) actual y no un problema estructural del paquete de pavimento.

Al obtener un SN existente de 3.41, es evidente que, ante la consideración de una sobrecapa de 6 cm el número estructural aumente hasta un valor de 4.68 debido al aporte que genera una nueva capa con polímeros de alto módulo de rigidez propuesto (750 000 psi).

La deformación unitaria máxima a tensión en la fibra inferior de la sobrecapa asfáltica es menor que la que se genera en la sobrecapa de la intervención 1, esto está estrechamente relacionado con el hecho de que en la segunda propuesta de intervención se mantienen los mismos espesores de capa y generan una mayor capacidad ante la deformación como un todo, mientras que en la primera intervención al existir una diferencia de capa asfáltica de 5 cm se generan mayores deformaciones, sin embargo, para ambas propuestas tanto el modelo de fatiga como el modelo de deformación plástica cumple con los criterios de aceptación.

Comparando los resultados de fatiga en la base estabilizada, se determina que tanto para intervención 1 como para la intervención 2 el

criterio de la PCA y el criterio de la Guía de Diseño Australiana cumple para ambos casos, sin embargo, se pudo observar cómo el aumento de espesor de 5 cm en el paquete estructural de la intervención 2 genera una disminución de 21.31 kPa a 16.02 kPa en términos de esfuerzos generados en la fibra inferior de la base estabilizada.

Al igual que como se planteó para la SC 60012, en la tercera estrategia para la SC 60001 también se propone eliminar totalmente la carpeta asfáltica actual, con ello se pretende utilizar una nueva carpeta asfáltica con polímero para combatir las altas temperaturas de la zona, eliminar roderas, modificar la mezcla a una más apta para las cargas asociadas a vehículos pesados y las condiciones especiales presentes en términos de acelerado/frenado y/o cargas estáticas.

Esta tercera intervención también propone mantener la base estabilizada y materiales granulares presentes en el sitio, debido a que como ya se mencionó, estos materiales son de buena calidad y brindan un gran aporte estructural.

Manteniendo las mismas condiciones de carga y demanda expuestas en las intervenciones 1 y 2, en esta intervención se buscó optimizar el espesor de la carpeta basado en la recomendación de espesor de 7.6 cm planteada por la AASHTO para el EEQ de diseño obtenido, sin embargo, este diseño fue rechazado, ya que cumplía con criterios de la AASHTO, pero no así con el criterio mecánico de agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica.

Por lo anterior, se tomó la decisión de proponer un espesor final de 10 cm para la carpeta asfáltica con polímeros, mantener los 23 cm de base estabilizada y 20 cm de sub-base actual, para un SN acumulado propuesto de 4.15, lo cual cumple con el requerido y se disminuye en 1 cm la totalidad del paquete estructural actual.

El máximo esfuerzo a tensión en la base estabilizada es de 8.6 kPa lo que representa al menor esfuerzo sobre esta capa en comparación con las demás intervenciones planteadas.

La cuarta intervención se basa en implementar una losa de concreto hidráulico siguiendo los lineamientos de la AASHTO 1993, con la cual se propone un espesor de losa de 5.5

cm, sin embargo, el modelo de bombeo y erosión para esta alternativa no cumple, lo que indica que para la precipitación anual en la zona, un espesor de losa de 5.5 cm no es suficiente para controlar la pérdida de finos por erosión o bombeo que revisa el modelo, por ello, fue necesario aumentar el espesor de losa hasta los 30.5 cm para controlar dicho criterio de falla.

El diseño de las dovelas fue realizado a partir del percentil 84 del peso de las cargas que transitan el tramo, esto con el fin de obtener resultados representativos y así al menos tener una garantía de que el diseño es apto para al menos el 84% de las cargas.

Este diseño fue basado en los criterios de la PCA y considerando un espesor final de losa de 30.5 cm, se ha propuesto el uso de dovelas #10, 3.18 cm (1.25 in), con un espaciamiento de 30 cm, mientras que para el caso del refuerzo longitudinal se propone un acero de refuerzo #3, 0.92 cm (0.375 in), con un espaciamiento de 60 cm tal y como se presenta en la figura 67.

## Presupuesto SC 60012.

Los tramos de las secciones afectadas forman parte de las rutas de conservación y mantenimiento periódico adjudicadas a la empresa constructora Meco S.A a través de la licitación pública 2014LN-000018-0CV00.

Para obtener los precios de las actividades de inversión inicial y el mantenimiento, con ayuda del Ingeniero Hermes Bonilla, se hizo uso de los precios más actualizados que mantiene la empresa en su base de datos, precios que están basados en la oferta inicial presentada por la empresa para entrar a licitar.

A partir de las actividades necesarias para la rehabilitación de la ruta se determinó un costo inicial de ¢71 835 616.84 para la estrategia 1, 71 763 914 en la estrategia 2, para el perfilado total y la colocación de una nueva carpeta ¢120 386 033 y por último para la estrategia 4 en pavimento rígido un costo de inversión inicial de ¢270 858 199.

Comparando las estrategias uno y dos que contemplan el uso de una sobrecapa de asfalto con polímeros, existe una diferencia de únicamente ¢71 703 colones menos para la

estrategia 2. Esta pequeña diferencia del 0.1% se debe a que en la estrategia de inversión 1 se evita el gasto de colocar una prenivelación, pero, es necesario realizar el perfilado parcial para corregir el problema de ahuellamiento antes de colocar la sobrecapa con polímeros, mientras que, en la segunda estrategia se decide cubrir el problema de roderas con la colocación de una capa de prenivelación evitando el perfilado parcial de la carpeta de rodamiento actual previo a la colocación de la nueva sobrecarpeta.

Es importante aclarar que con base en la experiencia constructiva del ingeniero Hermes Bonilla, para el cálculo de la cantidad de mezcla asfáltica a colocar como prenivelación, se usó el 10% del total de la mezcla por colocar como sobrecapa, lo que corresponde a una inversión ₡4 801 258 colones en prenivelación de la superficie.

También cabe mencionar que el costo del perfilado parcial propuesto en la estrategia 1 equivale al mismo costo de perfilar totalmente la carpeta actual considerado en la estrategia 3, esto porque la empresa cobra esta actividad por metro cuadro, por consiguiente, no hay diferencia de costos según el volumen por perfilar.

Comparando estas dos primeras estrategias con el Costo Anual Uniforme Equivalente se encontró que la segunda estrategia de inversión posee un mejor CAUE debido a que la inversión inicial e inversión en mantenimiento es menor para esta opción.

La opción 3 que considera una nueva carpeta asfáltica y la alternativa 4 que propone una nueva losa de concreto tienen una diferencia de ₡150 millones de colones entre sí, lo que muestra la disparidad de precios entre un pavimento flexible y rígido, siendo mucho mayor la inversión inicial para este último.

En términos de mantenimiento la estrategia que representa la menor inversión corresponde a la estrategia 4, debido a que al ser esta una propuesta en pavimento rígido, generalmente la vida útil es mayor, por ende, los mantenimientos se realizan en lapsos más prolongados.

El factor económico CAUE permite evaluar las estrategias tomando en consideración los desembolsos en mantenimiento que se plantean realizar durante la vida útil del proyecto. Tomando

como referencia un periodo de diseño de 8 años elegido por la administración y una tasa de descuento de 10% también elegida por la administración, se determinó que la estrategia de menor costo anual uniforme equivalente corresponde a la alternativa de intervención 2 con un valor de ₡14 788 966 colones y la que mayor costo representa es la intervención 4 con ₡50 844 130 colones debido a que la propuesta en pavimento rígido representa un costo inicial muy elevado respecto a las demás alternativas, aunque, tenga la ventaja de ser la opción de menor inversión en mantenimiento.

## Presupuesto SC 6001, estación 350+080.

Para el caso de los 64.2 metros de longitud del proyecto también fueron utilizados los precios estimados por la empresa constructora Meco S.A quien al igual que en la SC 60012 es la que se encarga de dar rehabilitación y mantenimiento al tramo.

Para el caso de la primera estrategia de intervención se tiene un costo aproximado de ₡4 740 264, en la estrategia de intervención 2 se calcula un monto aproximado de inversión inicial correspondiente a ₡4 735 678, la tercera estrategia que propone un cambio de la carpeta actual tiene un costo asociado cercano a los ₡6 402 191 millones, mientras que la opción del pavimento rígido corresponde a ₡16 543 657.

Tal y como lo menciona la teoría, se comprueba que el costo de inversión inicial más alto corresponde a la estrategia en pavimento rígido donde también se observa que, con respecto a las opciones que proponen el uso de sobrecapa, existen hasta más de 11 millones de colones de diferencia.

En términos de presupuesto inicial las opciones 1 y 2 que contemplan el uso de una sobrecapa poseen montos muy similares con una diferencia entre sí del 0.1 % lo que corresponde a ₡4 586 colones más cómoda para la estrategia 2 que contempla una capa de prenivelación. La pequeña diferencia que existe entre las intervenciones es asociada al costo de operación y traslado de la perfiladora, contemplado para la

primera intervención, la cual no fue considerada en la segunda estrategia.

Comparando las opciones 3 y 4 que contemplan eliminar la carpeta actual, se determinó que la puesta en funcionamiento de una nueva carpeta asfáltica con polímeros es  $\text{¢}10$  millones de colones menor con respecto a uso de una losa de concreto, lo que presenta una diferencia significativa asociada al tipo de pavimento propuesto.

Para el mantenimiento la opción que genera menor costo en este rubro es la propuesta en pavimento rígido, debido a que como ya se mencionó, es el tipo de pavimento que necesita menor inversión en mantenimiento, pues su deterioro puede llegar a ser menor y la vida útil es mayor respecto a las estrategias en pavimento semi-rígido, sin embargo, el costo inicial es elevado para el periodo de diseño propuesto.

Los desembolsos correspondientes a las actividades de mantenimiento fueron traídos a valor presente para al igual que en la sección de control 60012 conocer el costo periódico anual de cada estrategia para un horizonte de 8 años a una tasa de descuento del 10% elegidos por la administración. El CAUE que representa al menor flujo anual corresponde a la estrategia de intervención 2 con un monto anual de  $\text{¢}471\ 808$  colones seguido de la alternativa 1 con  $\text{¢}482\ 387$  mientras que el mayor Costo Anual uniforme equivalente corresponde a la estrategia en pavimento rígido con  $\text{¢}1\ 450\ 945$  debido a que la inversión inicial es alta respecto a las demás alternativas y porque en términos económicos es más factible utilizar losas de concreto para periodos de diseño mayores a los 15 años y no para los 8 años como se pretende en este proyecto.

## Elección de la alternativa de intervención SC 60012 y SC 60001

Para determinar la alternativa más factible en términos técnicos y económicos fue importante conocer el criterio de los ingenieros que estarán a cargo de la rehabilitación, pues la estrategia por elegir pretende cumplir con lo que solicita la empresa.

En la sección 60012 se ha demostrado mediante ensayos de laboratorio que los materiales granulares existentes son de buena calidad, con la deflectometría se pudo comprobar que las deflexiones en este tramo son bajas, además, mediante el diseño estructural fue posible determinar que la capacidad actual de la estructura se encuentra por arriba de la capacidad requerida para el horizonte de diseño (8 años), lo cual parece indicar que en términos estructurales el paquete del pavimento es aceptable, pero, en relación con los estudios realizados a la MAC, se determinó mediante la clasificación por grado de desempeño que la mezcla asfáltica convencional no es apta para las altas temperaturas de la zona y las velocidades de carga distintas a la totalidad de la ruta, además de la acción del acelerado/frenado debido a los controles policiales rutinarios. Una mala elección en el ligante asfáltico provoca que a altas temperaturas la mezcla asfáltica pase de un comportamiento viscoelástico a uno plástico, lo cual genera un aumento en el flujo y por ende menor estabilidad. Para la MAC también se encontraron valores de módulo de rigidez por debajo del valor típico, también asociadas al conjunto de condiciones de operación distintas a la totalidad de la ruta.

Las primeras tres estrategias de intervención proponen el uso de un asfalto con polímeros del tipo III, el cual es un modificador que mejora la resistencia a las roderas, disminuye la susceptibilidad térmica y posee un buen comportamiento a altas temperaturas, por lo tanto, con estas 3 alternativas se estarían solucionando los problemas superficiales. Por otra parte, la cuarta opción que es una losa de concreto, comúnmente utilizada para tramos de alto volumen de tránsito, además de que disminuye las deformaciones por la rigidez característica del material, también fue contemplada, sin embargo, esta opción deja de ser factible en términos económicos debido al corto periodo de diseño definido por la administración y la inversión inicial asociada.

La estrategia número tres fue descartada porque al igual que las primeras dos opciones, solucionan el problema principal de roderas, pero requiere de mayor inversión, ya que, es la que mayor costo posee después del pavimento rígido

y esto se debe al hecho de que dentro de sus actividades considera perfilar totalmente la carpeta actual y colocar un nuevo espesor de carpeta de 13 cm, por lo tanto, resulta más conveniente colocar únicamente 6 cm de sobrecapa tal y como se contempla en las estrategias 1 y 2.

La opción 1 y 2 también solucionan el problema, la diferencia entre costos iniciales es de tan solo 0.1 % lo que representa ¢71 703 colones más barata para la segunda opción, sin embargo, la idea de colocar una prenivelación y una sobrecapa representa una modificación en el nivel de rasante y que como ya se ha mencionado, provoca una variación en la geometría del tramo que a su vez puede repercutir en problemas de evacuación de agua si no es controlada y diseñada de manera adecuada, además de que también genera una diferencia de elevación entre el espaldón y la calzada. Por el contrario, la opción 1 que representa el perfilado parcial y una posterior colocación de la sobrecapa evita los problemas que se puedan generar al modificar la geometría de la carretera, porque la rasante no se modifica con el perfilado parcial, además, de que también se puede controlar el reflejo de grietas con una geomalla, se puede combatir la susceptibilidad térmica y se aumenta la rigidez de la superficie de rodamiento con un asfalto modificado de alto desempeño contra la deformación.

Por las razones técnicas mencionadas anteriormente, se tomó la decisión de elegir la estrategia de intervención 1 como la más apta para este tramo justificando la inversión inicial de ¢71835 617, ¢71 703 de colones más con respecto a la segunda alternativa planteada y un costo anual uniforme equivalente de ¢15 710 576.

Para el tramo afectado en la sección de control 60001, mediante los estudios realizados, también se pudo comprobar que la combinación de las altas temperaturas, la baja velocidad de carga, alta magnitud de carga y el exceso de asfalto, ha generado una disminución en la capacidad de la MAC, lo cual ha ocasionado deformaciones superficiales, exudación y el desplazamiento de mezcla, por lo tanto, sabiendo lo anterior y conociendo que el segmento afectado corresponde a únicamente 64 metros, se planteó

el uso de una losa de concreto hidráulico, pues es muy común que en tramos cortos o sitios donde hay puestos de control, desinfección o peajes, se utilice pavimento rígido debido a que estos sitios presentan condiciones distintas a la totalidad de la ruta, sin embargo, esta opción fue descartada porque representa el mayor costo de inversión inicial con ¢16 543 657 millones de colones.

La opción que plantea la prenivelación y colocación de una sobrecapa sin perfilar fue descartada por las mismas razones técnicas mencionadas para la SC 60012, aunque sea la que represente la menor inversión.

Sobre la alternativa 1 y 3 planteadas, se decidió seleccionar la primera intervención, esto porque, aunque ambas pueden dar una correcta rehabilitación y solucionar los problemas funcionales, pero, la intervención 1 representa un menor costo de inversión inicial (¢311 733 colones más económica) ya que lógicamente es más barato perfilar 5 cm de carpeta actual y colocar 6 cm de sobrecapa, que perfilar la totalidad de la carpeta actual y colocar una nueva capa asfáltica de 10 cm.

# Conclusiones

1. Mediante el levantamiento de deterioros se determinó que el tramo de la SC 60012, estación 605+650, se encuentra en una condición muy pobre, mientras que la SC 60012, estación 350+080, presenta un estado pobre. Las principales patologías que afectan estos tramos son las roderas, la exudación y el desplazamiento de mezcla.
2. En el caso de las dos secciones de control, las capas de materiales granulares existentes, son considerados como aceptables para la función que desempeñan, debido a que cumplen con los criterios establecidos en la especificación del manual CR-2010, sin embargo, se encontraron deficiencias en el desempeño de la mezcla asfáltica debido a efectos combinados de la temperatura, altas magnitudes de carga, bajas velocidades de carga y la acción acelerado/frenado.
3. Mediante el análisis de deflectometría por impacto fue posible determinar que en general ambos tramos evaluados presentan deflexiones categorizadas como bajas, lo que apunta a una buena capacidad estructural del pavimento actual y asocia las patologías actuales a problemas funcionales mas no estructurales.
4. Los controles de tránsito realizados determinaron un Tránsito Promedio Diario de 2884 vehículos para el tramo perteneciente a la SC 60012, mientras que el TPD en el segmento de la SC 60001 corresponde a 139 vehículos. A través de los controles de peso realizados en ambas secciones, se constató que los factores camión máximos utilizados en el diseño inicial se encuentran desactualizados, además, se identificó un exceso de carga en la SC 60012, respecto a los valores permitidos en el Decreto Ejecutivo N°31363, condición que ha conducido a un acelerado deterioro de la capa más superficial del pavimento.
5. Para ambas secciones la alternativa más económica corresponde a la estrategia de intervención 2. No obstante, esta alternativa fue descartada al considerar aspectos técnicos de construcción y funcionales relacionados con el aumento en el nivel de la rasante, lo que, a su vez, representa una variación en la geometría de la carretera que, si no es controlada de manera adecuada, podría generar problemas de evacuación de agua y escalonamiento calzada-espaldón.
6. En ambos tramos la alternativa en pavimento rígido representa el menor costo de mantenimiento, sin embargo, esta alternativa deja de ser factible en términos económicos debido al alto costo inicial y el CAUE calculado.
7. En términos técnicos y económicos para el tramo afectado en la SC 60012, se decidió mantener los materiales base, sub-base existentes, perfilar 5 cm de espesor de la carpeta actual para eliminar las patologías presentes y colocar una sobrecapa de asfalto modificado con polímeros del tipo III, para soportar las condiciones de operación distintas a la totalidad de la ruta. Los espesores definitivos para el pavimento son de 6 cm de sobrecapa, 12 cm de carpeta actual, 25 cm de base granular y 27 cm para la sub-base, todos estos correspondientes a la estrategia de intervención 1, seleccionada

como la más apta. El costo de inversión inicial para esta propuesta es de

8. Para los 64.2 metros afectados en la SC 60001 estación 350+080, al igual que en la SC 60001 también se determinó que la estrategia de intervención más apta corresponde a la primera alternativa, debido a condiciones de operación muy similares. Los espesores definitivos

aproximadamente  $\text{¢}71\,763\,913$  colones con un CAUE de  $\text{¢}15\,710\,576$  colones. corresponden a 6 cm de sobrecapa asfáltica modificada con polímeros del tipo III, 6 cm de carpeta actual perfilada, 23 cm de base estabilizada con cemento y 20 cm de sub-base granular. El costo inicial de esta intervención corresponde a  $\text{¢}4\,740\,262$  colones y un Costo Anual Uniforme Equivalente de  $\text{¢}482\,386$  colones.

# Recomendaciones

1. Reforzar la estructura de pavimento con una geogrilla que controla las tensiones y el riesgo al reflejo de grietas sobre la capa de rodamiento.
2. Ejecutar las actividades de mantenimiento y conservación propuestas, con el fin de preservar la integridad de las estructuras.
3. Colocar una estación de pesaje permanente en la zona o realizar controles de peso con el fin de controlar el exceso de carga constatado en ambos tramos y evitar el acelerado deterioro del pavimento.
4. Confinar la estructura de pavimento con espaldones para evitar el desplazamiento lateral.
5. Considerar las distintas condiciones de operación que puedan presentarse en las
6. distintas secciones de control de la totalidad de la Ruta Nacional N°2 ante posibles reconstrucciones futuras.
7. Se recomienda implementar el costo de la actividad “perfilado de pavimento” por volumen perfilado y no por área, esto porque la profundidad por perfilar representa cantidad de trabajo por ejecutar que debe ser considerada.
8. Cuantificar el valor residual de la estructura de pavimento al final de la vida útil para incorporar el valor remanente al flujo de efectivo.

# Apéndice

AP- 1. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS, PÁG 1.....	136
AP- 2. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS, PÁG 2. ....	136
AP- 3. ORDEN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL LEVANTAMIENTO DE CAMPO (PAV. FLEXIBLE). .....	137
AP- 4. HOJA DEL PROCESO ITERATIVO PARA EL CÁLCULO DEL MVDC. ....	137
AP- 5. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+481. ....	138
AP- 6. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+523. ....	139
AP- 7. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+565. ....	140
AP- 8. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+607 ..... 141	
AP- 9. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+649 ..... 142	
AP- 10. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+691. .... 143	
AP- 11. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+733. .... 144	
AP- 12. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+775. .... 145	
AP- 13. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+817. .... 146	
AP- 14. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+901. .... 148	
AP- 15. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+943. .... 149	
AP- 16. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+985. .... 150	
AP- 17. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+140. .... 151	
AP- 18. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192. .... 152	
AP- 19. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 1, 2, 3. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+481, 305+523 Y 305+565. ....	153
AP- 20. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 4 Y 5. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+607 Y 305+649. ....	153
AP- 21. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 6 Y 7. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+691 Y 305+733. ....	154
AP- 22. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 8, 9 Y 10. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+775 Y 305+817 Y 305+859. ....	154
AP- 23. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 11,12 Y 13. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+901, 305+943 Y 305+985. ....	155
AP- 24. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 1. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+481. ....	155
AP- 25. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 2. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+523. ....	155
AP- 26. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 3. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+565. ....	156
AP- 27. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 4. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+607. ....	156
AP- 28. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 5. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+649. ....	156

AP- 29. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 6. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+691. ....	157
AP- 30. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 7. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+733. ....	157
AP- 31. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 8. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+775. ....	157
AP- 32. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 9. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+817. ....	158
AP- 33. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 10. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+859. ....	158
AP- 34. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 11. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+901. ....	158
AP- 35. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 12, SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+943. ....	158
AP- 36. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 13. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+985. ....	159
AP- 37. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LA UM 1. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+140. ....	159
AP- 38. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LA UM 2. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192. ....	159
AP- 39. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 1. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+140. ....	159
AP- 40. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 2. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192. ....	160
AP- 41. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL JUEVES 15 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	160
AP- 42. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL VIERNES 16 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	161
AP- 43. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL LUNES 19 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	162
AP- 44. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL MARTES 20 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	163
AP- 45. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL MIÉRCOLES 21 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	164
AP- 46. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL JUEVES 22 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	165
AP- 47. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL VIERNES 23 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	165
AP- 48. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL SÁBADO 24 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	166
AP- 49. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL LUNES 26 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	166
AP- 50. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL MARTES 27 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	167
AP- 51. TRÁNSITO DIARIO MEDIDO, TRÁNSITO DIARIO EXPANDIDO Y TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	167
AP- 52. TRÁNSITO DIARIO MEDIDO, TRÁNSITO DIARIO EXPANDIDO Y TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	167
AP- 53. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	168

AP- 54. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.	168
AP- 55. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.....	169
AP- 56. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.....	169
AP- 57. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. .....	170
AP- 58. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPOS C2+.	170
AP- 59. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	170
AP- 60. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S2 EN 1 LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. .....	170
AP- 61. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.....	171
AP- 62. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO BUS C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. .....	171
AP- 63. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	171
AP- 64. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	172
AP- 65. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	172
AP- 66. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	172
AP- 67. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	173
AP- 68. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	173
AP- 69. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	173
AP- 70. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	174
AP- 71. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	174
AP- 72. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	174
AP- 73. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.....	174
AP- 74. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	175
AP- 75. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. .....	175
AP- 76. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.....	175
AP- 77. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	176
AP- 78. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.....	176
AP- 79. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	176
AP- 80. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. .....	177
AP- 81. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	177
AP- 82. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	177
AP- 83. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	178

AP- 84. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	178
AP- 85. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	178
AP- 86. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	179
AP- 87. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	179
AP- 88. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2+ EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	179
AP- 89. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	180
AP- 90. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	180
AP- 91. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	180
AP- 92. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	181
AP- 93. FACTOR CAMIÓN VEHÍCULO TIPO T3-S3 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	181
AP- 94. FACTOR CAMIÓN DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	181
AP- 95. FACTOR CAMIÓN DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	182
AP- 96. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	182
AP- 97. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	182
AP- 98. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	182
AP- 99. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	183
AP- 100. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	183
AP- 101. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	183
AP- 102. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	184
AP- 103. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	184
AP- 104. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	184
AP- 105. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	185
AP- 106. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	185
AP- 107. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	185
AP- 108. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	186
AP- 109. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	186
AP- 110. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	186

AP- 111. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	187
AP- 112. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO BUS C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	187
AP- 113. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	187
AP- 114. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	188
AP- 115. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	188
AP- 116. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363. ....	188
AP- 117. CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	189
AP- 118. CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	189
AP- 119. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60012.....	190
AP- 120. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012.....	191
AP- 121. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO 1993 PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60012 .....	192
AP- 122. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO 1993 PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012.....	193
AP- 123. DISEÑO DE ACERO TRANSVERSAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	195
AP- 124. DISEÑO DE ACERO LONGITUDINAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	196
AP- 125. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.....	197
AP- 126. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.....	198
AP- 127. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.....	199
AP- 128. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.....	200
AP- 129. DESARROLLO DEL DISEÑO DE DOVELAS PROPUESTO PARA LA ESTRATEGIA INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	201
AP- 130. DISEÑO DE AMARRE LONGITUDINAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	202
AP- 131. REVISIÓN DE LOS MODELOS DE DESEMPEÑO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650. ....	203
AP- 132. REVISIÓN DE LOS MODELOS DESEMPEÑO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080. ....	204

## AP- 1. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS, PÁG 1.

**Pág 1**

Hoja /

Fecha: \_\_\_\_\_ Estc. Inicial: \_\_\_\_\_  
 # Unidad de Muestreo: \_\_\_\_\_ Estc. Final: \_\_\_\_\_  
 Secc. Control: \_\_\_\_\_ Código de Vía/#Ruta: \_\_\_\_\_  
 Provincia, Cantón y Distrito: \_\_\_\_\_

Longitud de la UM: \_\_\_\_\_  
 Inspeccionada por: \_\_\_\_\_  
 Posición GPS: \_\_\_\_\_

<i>Deterioros Pavimento Flexible</i>		Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología	ESQUEMA
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		
<b>Grietas</b>	01. Cuero de lagarto								<div style="border: 1px solid black; height: 300px; width: 100%;"></div>
	02. Longitudinal - Transversal								
	03. Reflejo de juntas								
	04. Bloque								
	05. Borde								
	06. Arco								
<b>Deformaciones</b>	07. Roderas								
	08. Abultamientos y Hundimientos								
	09. Corrugación								
	10. Depresiones								
	11. Hinchamiento								
	12. Corrimiento/Desplazamiento								
<b>Textura Superficial</b>	13. Exudación								
	14. Pulimiento de agregados								
	15. Desprendimiento de agregados								
	16. Desgaste superficial								
<b>Misceláneos</b>	17. Escalonamiento calzada-espaldón								
	18. Baches								
	19. Huecos								
	20. Cruce de línea férrea								

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:

## AP- 2. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS, PÁG 2.

**Pág. 2**

<i>Casos Especiales</i>	<i>Medida</i>	
Tapas de alcantarillas	Unidad (und)	

Deberá señalarse en el esquema la localización de:  
 Las alcantarillas

**AP- 3. ORDEN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL LEVANTAMIENTO DE CAMPO  
(PAV. FLEXIBLE).**

a	b	c	d	e	f	g
Unidad de Muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad	Valor Deducido
1						
2						
3						

**AP- 4. HOJA DEL PROCESO ITERATIVO PARA EL CÁLCULO DEL MVDC.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=6		q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC												

AP- 5. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+481.

Pág 1

Fecha: 21/02/2021

# Unidad de Muestreo: 60012

Sec. Control: Puntarenas, Sto. Hilario, Suaycota

Código de Vía/Ruta: 305+481

Est. Inicial: 305+481

Est. Final: 305+523

Hoja 1/13

Longitud de la UMI: 42 m

Inspeccionada por: Diego Torres C.

Posición GPS: \_\_\_\_\_

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la celda que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de lagarto						
	02. Longitudinal - Transversal						
	03. Reflejo de juntas						
	04. Bloque						
	05. Borde						
	06. Arco			X			3,6x42
Deformaciones	07. Roderas						
	08. Abultamientos y Hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
	12. Corrimiento/Desplazamiento						
	13. Exudación			X			3,6x42
	14. Pulimiento de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
	16. Desgaste superficial						
Textura Superficial	17. Escalonamiento calzada-espaldón						
	18. Rachas						
	19. Huecos						
	20. Cruce de líneas férreas						
Misceláneos							

Notas: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones: • Día sábado con temperatura de 30°C  
 • Se utilizó un escalímetro horizontal 1:200 y una vertical 1:400  
 • El marcador azul indica la severidad de las rasas y el rojo exudación

ESQUEMA

AP- 6. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+523.

Pág 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Secc Control: Puntarenas, Colfijo, Aguaycurá  
 Est. Inicial: 305+523  
 Est. Final: 305+650  
 Código de Vía/Ruta: 2  
 Provincia, Cantón y Distrito: Puntarenas, Colfijo, Aguaycurá

Hoja 2/13  
 Longitud de la UN: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Portas Castro  
 Posición GPS: \_\_\_\_\_

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas							
01. Cuero de lagarto							
02. Longitudinal - Transversal							
03. Reflejo de juntas							
04. Bloque							
05. Borde							
06. Arco							
07. Roderas			X				3,6x4,2
08. Abultamientos y Hundimientos							
09. Corrugación							
10. Depresiones							
11. Hinchamiento							
12. Corrimiento/Desplazamiento							
13. Exudación			X				3,6x4,2
14. Pulimento de agregados							
15. Desprendimiento de agregados							3,6x4,2
16. Desgaste superficial							
17. Escalonamiento calzada-espaldón							
18. Baches							
19. Huecos							
20. Cruce de línea férrea							
Textura Superficial							
Misceláneos							

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:

- Día Soleado con temperatura de 30°C
- Sentido de avance la Esquivia - Río Claro
- El marcador azul indica la severidad de Boderas y el rojo de exudación
- Se utilizó una escala horizontal de 1:200 y una vertical 1:400

AP- 7. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+565.

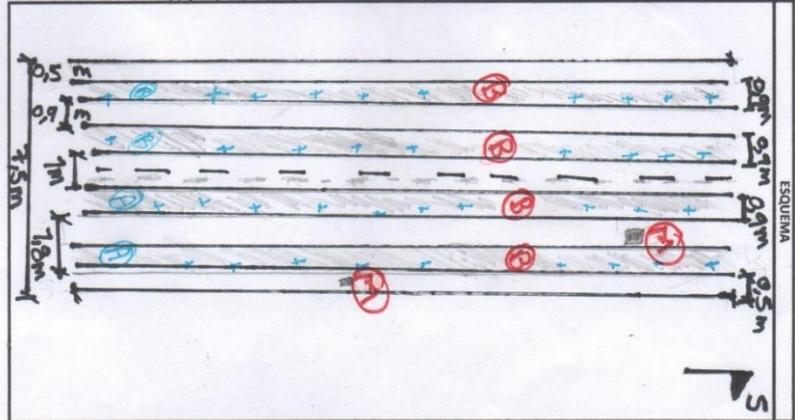
Pág 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 3002  
 Secc. Control: Run Yarcas, Tal Alto, Suaguará  
 Etc. Inicial: 305+565  
 Etc. Final: 305+603  
 Código de Vía/Ruta: 2

Longitud de la UMI: 42 M  
 Inspeccionada por: Diego Portas C.  
 Posición GPS: \_\_\_\_\_

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
01. Cuero de lagarto						
02. Longitudinal - Transversal						
03. Reflejo de juntas						
04. Bloque						
05. Borde						
06. Arco						
07. Roderas	X			1,8x42		1,8x42
08. Abultamientos y Hundimientos						
09. Corrugación						
10. Depresiones						
11. Hinchamiento						
12. Corrimiento/Desplazamiento						
13. Exudación		X	X		0,02 m <sup>2</sup>	3,6x42
14. Pulimiento de agregados						
15. Desprendimiento de agregados						
16. Desgaste superficial						
17. Escalonamiento cascada-espaldón						
18. Baches						
19. Huecos						
20. Cruce de línea férrea						

Observaciones:  
 • Día soleado con temperatura de 30°C  
 • Sentido a Yance la Izquierda - Río Claro  
 • El marcador azul indica severidad de rodadura y el rojo exudación  
 • Se utilizó una escala horizontal 1:200 y una vertical 1:400

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.



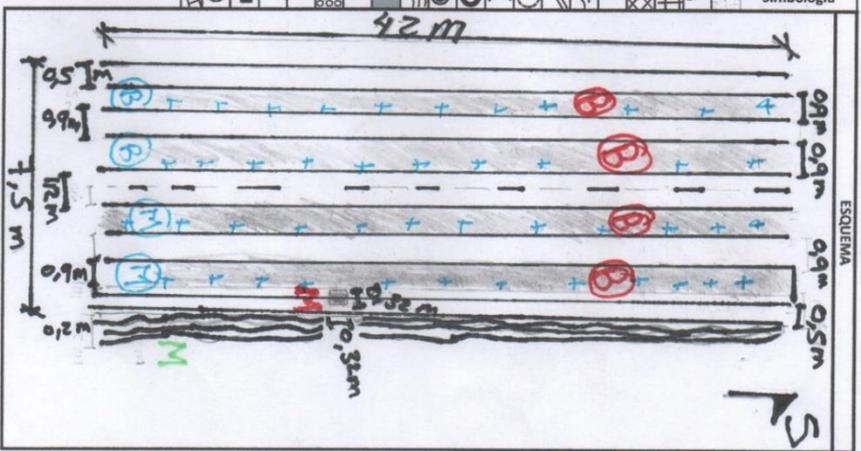
AP- 8. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+607

Página 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Sec. Control: Puntarenas, Salto, La Virgen  
 Est. Inicial: 305+607  
 Est. Final: 305+699  
 Provincia, Cantón y Distrito: Puntarenas, Salto, La Virgen

Hoja 4/13  
 Longitud de la UMI: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Porras C  
 Posición GPS: \_\_\_\_\_

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Medir con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas							
01. Claro de ligarto							
02. Longitudinal - Transversal							
03. Reflejo de juntas							
04. Bileque							
05. Borde							
06. Arco							
07. Roderas	X		X	1,8x42	1,8x42		
08. Abultamientos y Hundimientos							
09. Corrugación							
10. Depresiones							
11. Hinchamiento							
12. Corrimiento/Desplazamiento							
13. Exudación	X		X	0,2x42	0,10m <sup>2</sup>	3,6x42	
14. Pulimiento de agregados							
15. Desprendimiento de agregados							
16. Desgaste superficial							
17. Escalonamiento calzada-espaldón							
18. Bades							
19. Huecos							
20. Cruce de líneas férreas							
Textura Superficial							
Misceláneos							

Observaciones:  
 • Día Soleado con temperatura de 30°C  
 • Se hizo de Avance La Escarria - Río Claro  
 • El marcador azul indica severidad de roderas, el rojo exudación y el verde desfog.  
 • Se utilizó una escala 1:200 horizontal y vertical 1:400



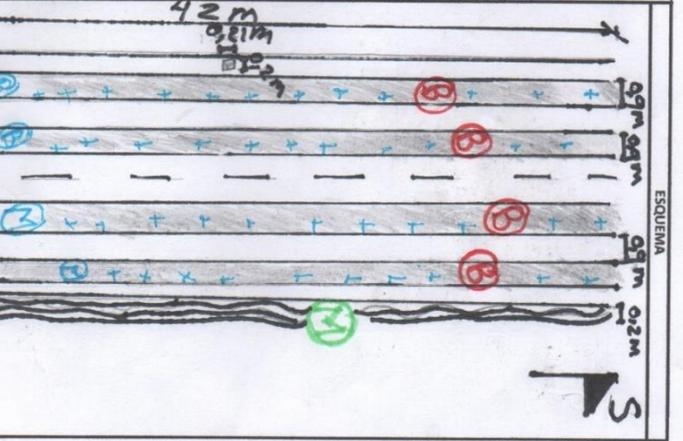
AP- 9. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+649

Página 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 6002  
 Secc. Control: PUNTAERAS, Calle/Av. /Carretera  
 Provincia, Cantón y Distrito: Esf. Inicial: 305+649  
 Esf. Final: 305+691  
 Código planilla/# Ruta:

Hoja 5/13  
 Longitud de la UMI: 42m  
 Inspeccionada por: Diego Portas C.  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la celda que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
<b>Grietas</b>						
01. Cuero de lagarto						
02. Longitudinal - Transversal						
03. Relleno de juntas						
04. Bloque						
05. Borde						
06. Arco						
07. Roderas	X		X	1,8 X 42	1,8 X 42	
08. Abultamientos y Hundimientos						
09. Corrugación						
10. Depresiones						
11. Hinchamiento						
12. Corrimiento/Desplazamiento						
13. Exudación	X		X	0,2 X 42	0,2 X 42	
14. Pulimiento de agregados						
15. Desprendimiento de agregados						
16. Desgaste superficial						
17. Escalonamiento calzada-espalda						
18. Baches						
19. Huecos						
20. Cruce de línea férrea						
<b>Textura Superficial</b>						
14. Pulimiento de agregados						
15. Desprendimiento de agregados						
16. Desgaste superficial						
17. Escalonamiento calzada-espalda						
18. Baches						
19. Huecos						
20. Cruce de línea férrea						
<b>Misceláneos</b>						

Observaciones:  
 - Día sábado con temperatura de 30°C  
 - Sentido de avance La Esmeralda - Río Claro  
 - El motorizador azul indica Severidad de rodaderas y el rojo exudación y Verde carimbatito  
 - Se utilizó una escala horizontal 1:200 y vertical 1:400



AP- 10. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+691.

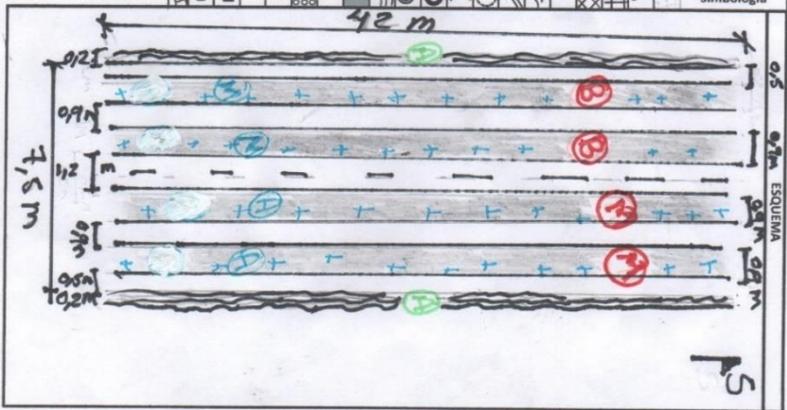
Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Medir con %)			Medida (Usar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de ligarto						
	02. Longitudinal - Transversal						
	03. Reflejo de juntas						
	04. Bloque						
	05. Borde						
Deformaciones	06. Arco						
	07. Roderas	X	X		1,8 X 42	1,8 X 42	
	08. Abultamientos y hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
	12. Corrimiento/Desplazamiento						
	13. Evidación	X		X	0,4 X 42	1,8 X 42	1,8 X 42
	14. Pulimento de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
Textura Superficial	16. Desgaste superficial						
	17. Escalonamiento cizada-espaldón						
	18. Baches						
	19. Huecos						
Misceláneos	20. Cruce de líneas férreas						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:  
 - Día sábado con temperatura de 30°C  
 - Sección de avance La Tovaría - Río Claro  
 - El marcador a 2m indica severidad de rodadas del carro: ejecución y el valor críptico se utilizó una escala horizontal 1:200 y una vertical 1:400

Pág 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Sec. Control: RUTENAS Paltito, Bayadara  
 Est. Inicia: 305+691  
 Est. Final: 305+733  
 Código de Via/Ruta: 305+733  
 Provincia, Cantón y Distrito: RUTENAS Paltito, Bayadara

Hoja 6/13  
 Longitud de la UMI: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Porras C.  
 Posición GPS:



# AP- 11. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+733.

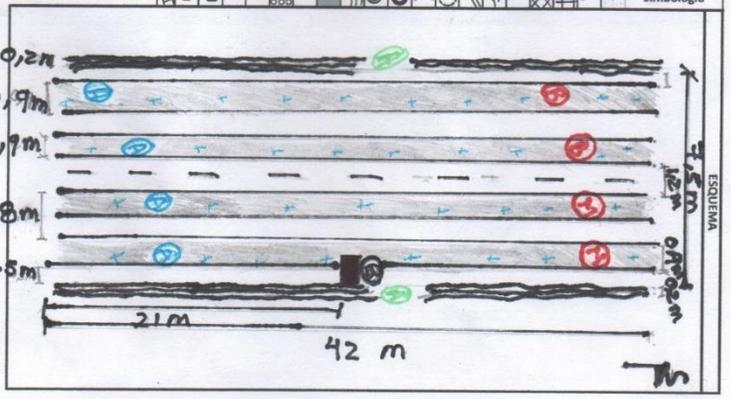
Pág 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 3  
 Secc. Control: 60012  
 Provincia, Cantón y Distrito: Puntarenas, Golfito, Guayacard  
 Est. Inicial: 305 + 691  
 Est. Final: 305 + 733  
 Código de Via/Hruta: 305 + 733

Hoja 7/13  
 Longitud de la UMI: 42m  
 Inspeccionada por: Diego Borrás Castro  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la celda que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Grietas						
01. Cuero de lagarto						
02. Longitudinal - Transversal						
03. Reflajo de juntas						
04. Bloque						
05. Borde						
06. Arco						
07. Roderas	X			3,6 X 4 Z		
08. Abultamientos y Hundimientos						
09. Corrugación						
10. Depresiones						
11. Hinchamiento						
12. Corrimiento/Desplazamiento						
13. Erodición	X			0,4 X 4 Z		
14. Pulimiento de agregados						
15. Desprendimiento de agregados		X	X	1,8 X 4 Z	1,8 X 4 Z	
16. Desgaste superficial				3,6 X 4 Z		
17. Escalamiento cabeza-espaldón						
18. Baches						
19. Huecos			X			1,5 X 1,1
20. Cruce de líneas férreas						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:  
 - Día Soleado con temperatura de 30°C  
 - Estado de Ambiente: Lo lluvioso - Río Claro  
 - El parador azul indica severidad de rodadas, el rojo, erosión, Verde Corrimiento y huecos  
 - Se utilizó una Escala horizontal 1:200 y una Vertical 1:400



AP- 12. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+775.

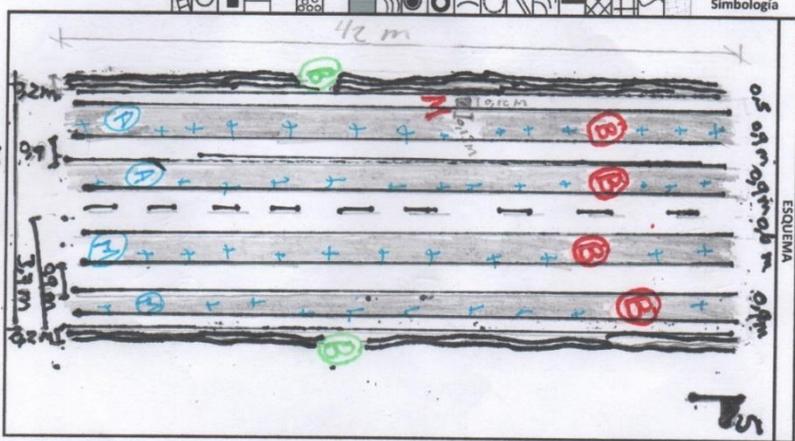
Pág 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Secc Control: Batacenas, Esfilito, Aboyador  
 Est. Inicial: 305+775  
 Est. Final: 305+815  
 Código de Via/Affuta: 305+815

Hoja 813  
 Longitud de la UM: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Torres Castro  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Usar la celda que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Grietas						
01. Cuero de lagarto						
02. Longitudinal - Transversal						
03. Reflejo de juntas						
04. Bloque						
05. Borde						
06. Arco						
07. Roderas	X			1,8x42	1,8x42	
08. Abultamientos y Hundimientos						
09. Corrugación						
10. Depresiones						
11. Hinchamiento						
12. Corrimiento/Desplazamiento						
13. Exudación			X		0,8m <sup>2</sup>	0,8x42
14. Pulimiento de agregados		X			3,6x42	
15. Desprendimiento de agregados						
16. Desgaste superficial						
17. Escalonamiento cabeza-espaldón						
18. Baches						
19. Huecos						
20. Cruce de líneas férreas						
Deformaciones						
Textura Superficial						
Misceláneos						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:  
 - Se utilizó una escala horizontal 1:200 y una Vertical 1:400  
 - Día soleado con temperatura de 30°C  
 - El marcador azul indica Seledidad de roderos, el rojo exudación y el Verde Corrimiento





AP-13. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+859.

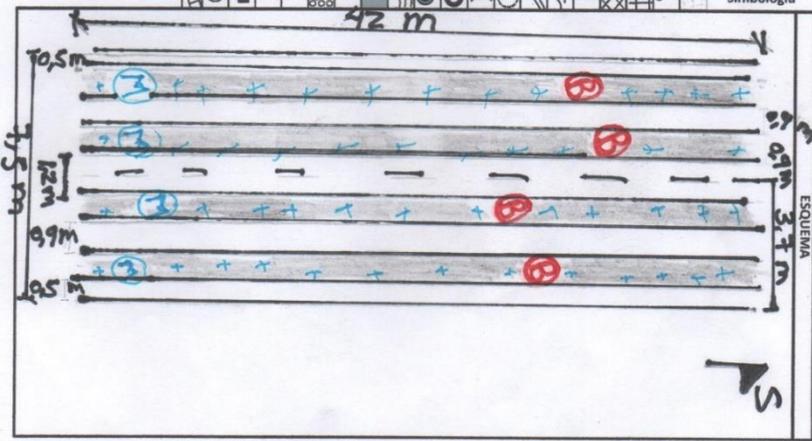
Pág 1

Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 100R  
 Secc. Control: 600R  
 Provincia, Cantón y Distrito: Puntarenas, Maliflor, Guaycará  
 Est. Inicial: 305+859  
 Est. Final: 305+901  
 Código de Vía/Ruta: 2

Hoja 10/13  
 Longitud de la UM: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Portras Castro  
 Posición GPS: \_\_\_\_\_

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Grietas	01. Curvo de lagarto					
	02. Longitudinal - Transversal					
	03. Reflejo de juntas					
	04. Bloque					
	05. Borde					
Deformaciones	06. Arco		X		3,6 X 42	3,6 X 42
	07. Roderas					
	08. Abultamientos y hundimientos					
	09. Corrugación					
	10. Depresiones					
Textura Superficial	11. Hinchamiento					
	12. Corrimiento/Desplazamiento					
	13. Exudación		X		3,6 X 42	3,6 X 42
	14. Pulimento de agregados					
Misceláneos	15. Desprendimiento de agregados					
	16. Desgaste superficial					
	17. Escalonamiento calzada-espalda					
	18. Baches					
	19. Huecos					
	20. Cruce de líneas férreas					

Observaciones:  
 • Día soleado con temperatura de 30°C  
 • Se utilizó una escala horizontal 1:200 y una vertical 1:400  
 • El Marcador Azul indica Severidad de rodadas y el rojo exudación





AP- 15. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+943.

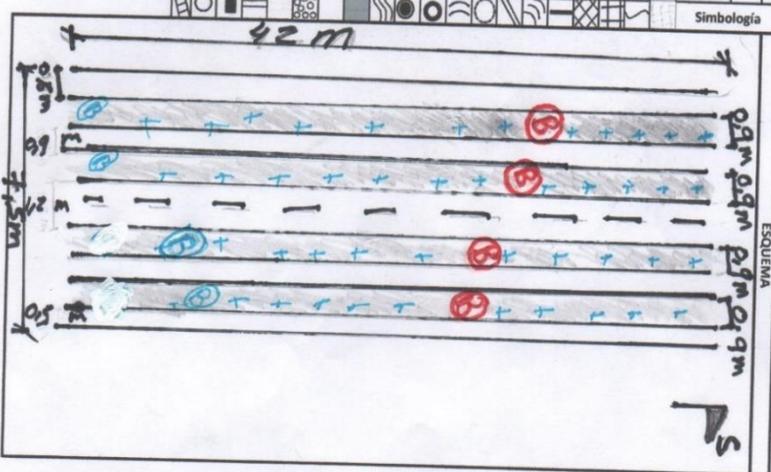
Página 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Secc. Control: 60012  
 Provincia, Cantón y Distrito: Guantánamo, Jáltimo, Escobar  
 Est. Inicial: 305+943  
 Est. Final: 305+985  
 Código de Vía/Ruta: 2

Hoja 12 / 13  
 Longitud de la UM: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Porras Castro  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Grietas						
01. Cuero de lagarto						
02. Longitudinal - Transversal						
03. Reflejo de juntas						
04. Bloque						
05. Borde						
06. Arco						
07. Roderas						
08. Abultamientos y hundimientos			X			36 X 42
09. Corrugación						
10. Depresiones						
11. Hinchamiento						
12. Corrimiento/Desplazamiento						
13. Exudación			X			36 X 42
14. Pulimiento de agregados						
15. Desprendimiento de agregados						
16. Desgaste superficial						
17. Escalonamiento calzada-espaldón						
18. Baches						
19. Huecos						
20. Cruce de línea férrea						
Textura Superficial						
Misceláneos						

Notas: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:  
 • Día soleado con temperatura de 30°C  
 • Sentido de a Vanc La Esvara - Río Cbro  
 • El marcador azul indica severidad de roderos y el rojo exudación  
 • Se utilizó una escala horizontal 1:200 y una vertical 1:400



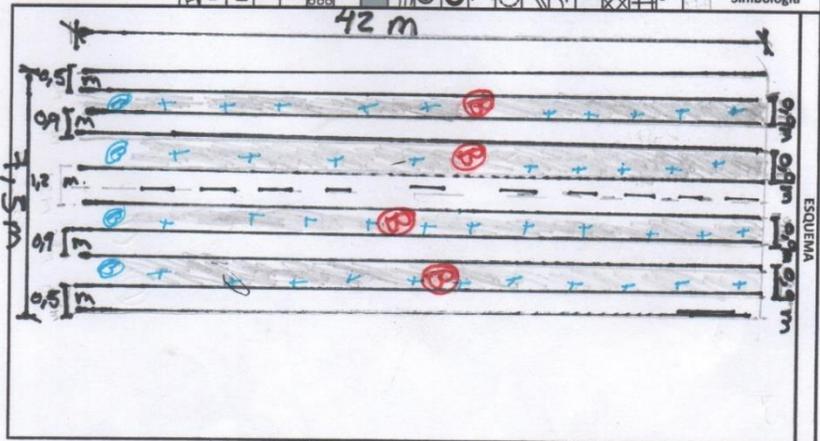
AP- 16. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+985.

Página 1  
 Fecha: 21/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60012  
 Secc. Control: Pontarras, La Hija, La Vaycard  
 Est. Inicial: 305+985  
 Est. Final: 306+827  
 Código de Via/Fruta: 2

Hoja 13/13  
 Longitud de la UM: 42 M  
 Inspeccionada por: Diego Forras C.  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de lagarto						
	02. Longitudinal - Transversal						
	03. Reflejo de juntas						
	04. Bloque						
	05. Borde						
Deformaciones	06. Arco		X			36x42	
	07. Roderas						
	08. Abultamientos y hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
	12. Corrimiento/Desplazamiento						
	13. Exudación		X			36x42	
Textura Superficial	14. Pulverido de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
	16. Degaste superficial						
	17. Escalonamiento calada-espaldón						
Misceláneos	18. Baches						
	19. Huecos						
	20. Cruce de líneas férreas						

Observaciones:  
 • Día sacado con temperatura de 30°C  
 • Se hizo avance de la Escuela - Río Claro  
 • El marcador actual indica severidad de roderos y el tipo de exudación  
 • Se utilizó una escala horizontal 1:200 y una vertical 1:400





AP- 18. HOJA DE DETERIOROS DE LA SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192.

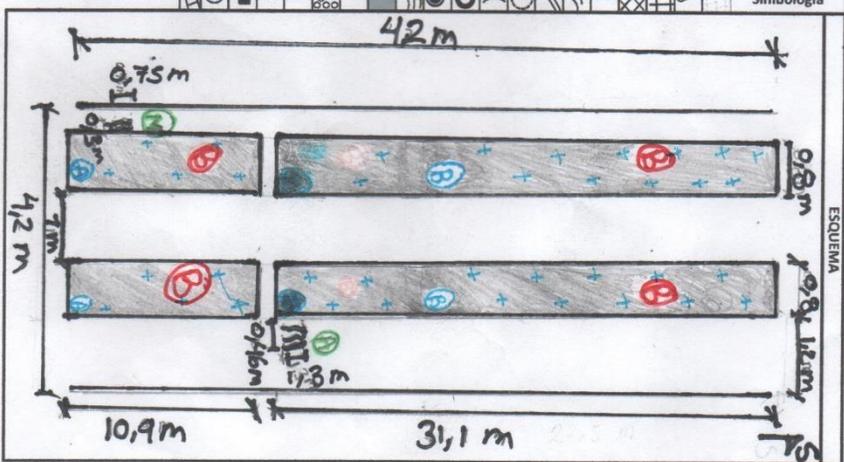
Pág 1  
 Fecha: 25/02/2021  
 # Unidad de Muestreo: 60001  
 Secc Control: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas  
 Estc. Inicial: 344+192  
 Estc. Final: 344+239  
 Código de Via/Ruta: Paso Canoas  
 Provincia, Cantón y Distrito: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas

Hoja 2/2  
 Longitud de la UM: 42 m  
 Inspeccionada por: Diego Portas C.  
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas							
01. Cuero de lagarto							
02. Longitudinal - Transversal							
03. Reflejo de juntas							
04. Bloque							
05. Borde							
06. Arco							
Deformaciones							
07. Roderas	X			1,6 X 10,9			1,6 X 31,1
08. Abultamientos y Hundimientos							
09. Corrugación							
10. Depresiones							
11. Hinchamiento							
12. Corrimiento/Desplazamiento				0,6 X 1,3	0,3 X 0,75		
13. Exudación							
Textura Superficial							
14. Pulimento de agregados							
15. Desprendimiento de agregados							
16. Desgaste superficial							
17. Escalonamiento calzada-espalda							
18. Badnes							
19. Huecos							
Misceláneos							
20. Cruce de líneas férrea							

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:  
 • Día soleado con temperatura de 32°C  
 • Sentido de avance ciudad NE/N - Paso Canoas  
 • El marcador azul indica severidad de Roderas, El rojo e xudación y el verde carromento  
 • Se utilizó una escala horizontal 1:100 y una vertical 1:400



**AP- 19. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 1, 2, 3. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+481, 305+523 Y 305+565.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=6.33
1	315	Roderas	Bajo	151.2	48	42	B	42	42
		Exudación	Bajo	151.2	48	11		11	11
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=6.33
2	315	Roderas	Bajo	151.2	48	42	B	42	42
		Exudación	Bajo	151.2	48	11		12	12
		Pulimiento	-	151.2	48	12		11	11
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=3.48
3	315	Roderas	Alta	75.6	24	73	b	73	73
		Roderas	Baja	75.6	24	35		35	35
		Exudación	Media	0.02	0.006349206	1		11	11
		Exudación	Baja	151.2	48	11		1	0.6

**AP- 20. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 4 Y 5. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+607 Y 305+649.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=5.32
4	315	Rodera	Medio	75.6	24.00	53	b	53	53
		Rodera	Bajo	75.6	24.00	33		33	33
		desplazamiento	Medio	8.4	2.87	16		16	16
		Exudación	Medio	0.1	0.03	1		12	12
		Exudación	Bajo	75.6	24.00	9		9	9
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12		1	0.6
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=5.32
5	315	Roderas	Medio	75.6	24.00	53	b	53	53
		Roderas	Bajo	75.6	24.00	33		33	33
		Desplazamiento	Medio	8.4	2.87	16		16	16
		Exudación	Medio	0.045	0.01	1		12	12
		Exudación	Bajo	151.2	48.00	11		11	11
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12		1	0.8

**AP- 21. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 6 Y 7. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+691 Y 305+733.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=3.57
6	315	Rodera	Alta	75.6	24.00	72	b	72	72
		Rodera	Medio	75.6	24.00	47		47	47
		Desplazamiento	Alto	16.8	5.33	40		40	40
		Exudación	Medio	75.6	24.00	21		21	21
		Exudación	Bajo	75.6	24.00	5		12	12
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12	5	3	
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=2.47
7	315	Rodera	Alto	151.2	48.00	84	b	84	84
		desplazamiento	Alto	16.8	5.33	40		40	40
		Exudación	Media	75.6	24.00	21		21	21
		Exudación	Baja	75.6	24.00	5		12	12
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12		5	5
		Bache	Bajo	1.65	0.52	1		1	0.6

**AP- 22. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 8, 9 Y 10. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+775 Y 305+817 Y 305+859.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=3.57
8	315	Rodera	Alta	75.6	24.00	72	b	72	72
		Rodera	Media	75.6	24.00	47		47	47
		Desplazamiento	Bajo	16.8	5.33	14		29	29
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12		14	14
		Exudación	Media	0.018	0.01	1		12	12
		Exudación	Baja	151.2	48.00	29		1	0.6
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=4.58
9	315	Rodera	Media	151.2	48.00	61		61	61
		Exudación	Baja	151.2	48.00	11		12	12
		Pulimiento	-	151.2	48.00	12		11	11
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=4.58
10	315	Rodera	Medio	151.2	48	61	b	61	61
		Exudación	Bajo	151.2	48	11		12	12
		Pulimiento	-	151.2	48	12		11	11

**AP- 23. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LAS UM 11,12 Y 13. SECCIÓN 60012, ESTACIONES 305+901, 305+943 Y 305+985.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=6.33
11	315	Rodera s	Baja	151.2	48.00	42		42	42
		Exudación	Media	0.14	0.04	1		11	11
		Exudación	Baja	151.2	48.00	11		1	1
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m= 6.23
12	315	Rodera s	baja	151.2	48	43	b	43	43
		Exudación	Baja	151.2	48	11		11	11
Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor-Menor)	m=6.33
13	315	Rodera s	Baja	151.2	48	42		42	42
		Exudación	Baja	151.2	48	11	b	11	11

**AP- 24. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 1. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+481.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC		
1	Rodera s	42	42	39	42	43	43	58
	Exudación	11	11		2			
		ΣVDT	53		44			

**AP- 25. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 2. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+523.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VCD	VD	VDC	VD	VCD		
2	Rodera s	42	42	41	42	41	42	47	47	53
	Exudación	12	12		12					
	Pulimiento.	11	11		2					
		ΣVDT	65		56		46			

**AP- 26. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 3. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+565.**

Unidad de muestra	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
		VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD		
3	73	73	74	73	76	73	76	76	24
	35	35		35		2			
	11	11		2		2			
	1	0.6		0.6		0.6			
	ΣVDT	120		111		78			

**AP- 27. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 4. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+607.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD		
4	Rodera	53	53	64	53	65	53	66	53	66	53	62	66	34
	Rodera	33	33		33		33		2					
	desplazamiento	16	16		16		2		2					
	Exudación	12	12		12		2		2					
	Exudación	9	9		2		2		2					
	Pulimiento	1	0.6		0.6		0.6		0.6					
	ΣVDT	124	117		107		93		62					

**AP- 28. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 5. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+649.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD		
5	Rodera	53	53	65	72	76	72	76	72	76	72	80	80	20
	Rodera	33	33		33		33		2					
	Desplazamiento	16	16		16		2		2					
	Exudación	12	12		12		2		2					
	Exudación	11	11		2		2		2					
	Pulimiento	1	0.6		0.6		0.6		0.6					
	ΣVDT	126	136		126		112		80.6					

**AP- 29. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 6. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+691.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=6		q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC												
6	Rodera	72	72	88	72	92	72	94	72	94	72	83	72	84	94	6
	Rodera	47	47		47		47		47		47		2			
	Desplazamiento	40	40		40		40		40		2		2			
	Exudación	21	21		21		21		2		2		2			
	Exudación	12	12		12		2		2		2		2			
	Pulimiento	5	3		2		2		2		2		2			
	ΣVDT	195	194		184		165		127		82					

**AP- 30. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 7. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+733.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC										
7	Rodera	84	84	82	84	86	84	88	84	86	84	92	92	8
	desplazamiento	40	40		40		40		40		2			
	Exudación	21	21		21		21		2		2			
	Exudación	12	12		12		2		2		2			
	Pulimiento	5	5		2		2		2		2			
	Bache	1	0.6		0.6		0.6		0.6		0.6			
	ΣVDT	163	160		150		131		93					

**AP- 31. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 8. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+775.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC										
8	Rodera	72	72	86	72	88	72	88	72	84	72	82	88	12
	Rodera	47	47		47		47		47		2			
	Desplazamiento	29	29		29		29		2		2			
	Pulimiento	14	14		14		2		2		2			
	Exudación	12	12		2		2		2		2			
	Exudación	1	0.6		0.6		0.6		0.6		0.6			
	ΣVDT	175	165		153		126		81					

**AP- 32. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 9. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+817.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VDC		
9	Roderos	61	61	68	61	66	61	65	68	32
	Exudación	12	12		30		2			
	Pulimiento	11	11		2		2			
	ΣVDT	84	93		65					

**AP- 33. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 10. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+859.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VDC		
10	Roderos	61	61	53	61	54	61	64	64	36
	Exudación	12	12		12		2			
	Pulimiento	11	11		2		2			
	ΣVDT	84	75		65					

**AP- 34. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 11. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+901.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VDC		
11	Roderos	42	42	34	42	41	42	43	43	57
	Exudación	11	11		11		2			
	Exudación	1	1		2		2			
	ΣVDT	54	55		46					

**AP- 35. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 12, SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+943.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=3		q=2		q=1	
			VD	VDC	VD	VDC	VD	VDC
12	Roderos	47	47	58	47	60	47	50
	Roderos	33	33		33		2	
	Exudación	11	11		2		2	
	ΣVDT	91	82		51			

**AP- 36. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 13. SECCIÓN 60012, ESTACIÓN 305+985.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC		
13	Rodenas	42	42	39	42	45	45	55
	Exudación	11	11		2			
	ΣVDT		53		44			

**Resultados del PCI, sección 60001, estación 350+080**

**AP- 37. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LA UM 1. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+140.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor a Menor)	m=7.24
1	176.4	Rodenas	Medio	7.2	4.1	32	B	32	32
		Exudación	Bajo	7.2	4.1	1		11	11
		desprend agregado	Medio	44.1	25.0	11		1	1

**AP- 38. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y VALOR DEDUCIDO PARA LA UM 2. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192.**

Unidad de muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad(%)	Valor Deducido	Caso	Valor Deducido (Mayor a Menor)	m=4.95
2	176.4	Rodenas	Alto	17.44	9.9	57	B	57	57
		Rodenas	Bajo	49.76	28.2	38		38	38
		Desplazamiento	Alto	0.598	0.3	10		10	10
		Desplazamiento	Medio	0.3	0.2	2		10	10
		Exudacion	Bajo	67.2	38.1	10		2	1.2

**AP- 39. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 1. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+140.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VDC		
1	Rodenas	32	32	32	32	35	35	65
	Exudación	11	11		2			
	Desprend agregado	1	1		1			
	ΣVDT		44		35			

**AP- 40. MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO Y PCI DE LA UM 2. SECCIÓN 60001, ESTACIÓN 344+192.**

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Valor Deducido Mayor a Menor	q=4		q=3		q=2		q=1		MVDC	PCI. UM
			VD	VDC	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD		
2	Roderas	57	57	66	57	64	57	66	57	64	66	34
	Roderas	38	38		32		32		2			
	Desplazamiento	10	10		10		2		2			
	Desplazamiento	10	10		2		2		2			
	Exudación	2	1.2		1.2		1.2		1.2			
	ΣVDT	116.2	102.2		94.2		64.2					

## Control Vehicular.

**AP- 41. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL JUEVES 15 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 1. Sección 60012, estación 605+650											
Fecha: 15/04/2021											
La Guaria – Río Claro.											
Hora/Sentido	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	Procentaje (%)	
6:00am - 7:00am	44	9	1	1	7	2	6	0	70	0.06	
7:00am - 8:00am	66	25	3	8	5	1	10	2	120	0.11	
8:00am - 9:00am	54	24	0	0	12	12	7	2	111	0.10	
9:00am - 10:00am	54	25	1	2	6	0	14	3	105	0.09	
10:00am - 11:00 am	53	25	1	2	17	1	4	1	104	0.09	
11:00am - 12:00md	53	22	2	4	12	3	10	2	108	0.10	
1:00pm - 2:00pm	71	15	1	1	5	1	5	1	100	0.09	
2:00pm - 3:00pm	67	36	2	0	5	2	11	1	124	0.11	
3:00pm-4:00pm	66	31	2	0	11	1	11	0	122	0.11	
4:00pm-5:00pm	87	40	1	1	7	2	6	0	144	0.13	
Sumatoria por tipos de vehículos	615	252	14	19	87	25	84	12	-		
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1,108</b>										
Río Claro-La Guaria.											
6:00am - 7:00am	60	17	4	1	5	0	1	0	88	0.08	
7:00am - 8:00am	39	14	0	5	5	1	2	1	67	0.06	
8:00am - 9:00am	63	27	3	5	13	2	16	1	130	0.12	
9:00am - 10:00am	48	27	3	1	8	0	14	1	102	0.12	
10:am - 11:00 am	46	17	0	1	3	2	11	2	82	0.08	
11:00am - 12:00md	55	30	4	1	5	1	11	1	108	0.10	
1:00pm - 2:00pm	44	23	2	1	6	6	15	1	98	0.09	
2:00pm - 3:00pm	66	31	1	0	8	1	9	0	116	0.11	
3:00pm - 4:00pm	74	36	2	0	3	2	19	2	138	0.13	
4:00pm - 5:00pm	70	32	1	0	5	2	7	3	120	0.11	
Sumatoria por tipos de vehículos	565	254	20	15	61	17	105	12	-		
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1,049</b>										
<b>Tránsito diario total</b>	<b>2,157</b>										

**AP- 42. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL VIERNES 16  
DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 2. Sección 60012, estación 605+650										
Fecha: 16/04/2021										
Hora/Sentido	La Guaria – Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	48	14	2	0	10	1	5	5	85	0.08
7:00am - 8:00am	52	29	3	1	8	1	12	1	107	0.10
8:00am - 9:00am	67	19	0	2	7	1	8	5	109	0.10
9:00am – 10:00am	67	28	1	1	2	2	5	2	108	0.10
10:00am – 11:00	62	22	3	3	3	0	11	0	104	0.10
11:00am – 12:00md	89	30	2	0	8	1	7	3	140	0.13
1:00pm – 2:00pm	45	15	0	2	2	3	4	1	72	0.07
2:00pm – 3:00pm	79	19	1	2	15	1	4	2	123	0.11
3:00pm-4:00pm	78	26	2	3	11	0	9	2	131	0.12
4:00pm-5:00pm	66	18	3	3	5	4	8	1	108	0.10
Sumatoria por tipos de vehículos	653	220	17	17	71	14	73	22	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1087</b>									
Hora/Sentido	Río Claro-La Guaria.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	63	21	4	1	12	0	5	1	107	0.10
7:00am - 8:00am	48	25	1	1	8	0	2	0	85	0.08
8:00am - 9:00am	46	34	1	1	8	3	10	0	103	0.09
9:00am – 10:00am	53	21	4	3	13	2	4	2	102	0.09
10:am – 11:00 am	43	29	0	2	12	1	15	2	104	0.10
11:00am – 12:00md	60	40	5	1	6	2	11	1	126	0.12
1:00pm - 2:00pm	52	20	2	2	8	1	4	1	90	0.08
2:00pm – 3:00pm	65	28	3	1	7	2	1	2	109	0.10
3:00pm - 4:00pm	86	32	3	1	4	1	8	2	137	0.13
4:00pm – 5:00pm	88	20	0	2	10	2	5	0	127	0.12
Sumatoria por tipos de vehículos	604	270	23	15	88	14	65	11	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1,090</b>									
<b>Tránsito diario total</b>	<b>2,177</b>									

**AP- 43. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL LUNES 19 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 3. Sección 60012, estación 605+650										
Fecha: 19/04/2021										
Hora/Sentido	La Guaria – Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	42	20	4	2	8	3	12	5	<b>96</b>	0.10
7:00am - 8:00am	22	8	2	3	0	0	3	0	<b>38</b>	0.04
8:00am - 9:00am	45	20	2	6	4	0	4	1	<b>82</b>	0.09
9:00am - 10:00am	75	18	1	1	5	0	5	2	<b>107</b>	0.11
10:00am - 11:00 am	68	24	2	3	9	2	5	1	<b>114</b>	0.12
11:00am - 12:00md	50	15	5	2	7	1	5	0	<b>85</b>	0.09
1:00pm - 2:00pm	39	25	3	1	8	1	10	3	<b>90</b>	0.09
2:00pm - 3:00pm	57	22	2	4	7	0	4	0	<b>96</b>	0.10
3:00pm-4:00pm	64	32	3	8	10	2	4	1	<b>124</b>	0.13
4:00pm-5:00pm	68	19	5	4	7	2	13	0	<b>118</b>	0.12
Sumatoria por tipos de vehículos	530	203	29	34	65	11	65	13	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>950</b>									
Hora/Sentido	Río Claro-La Guaria.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	38	20	4	3	12	2	6	3	<b>88</b>	0.11
7:00am - 8:00am	15	8	3	2	3	0	2	0	<b>33</b>	0.04
8:00am - 9:00am	44	16	2	5	8	1	4	1	<b>81</b>	0.10
9:00am - 10:00am	51	22	6	3	6	0	1	3	<b>92</b>	0.11
10:am - 11:00 am	40	22	2	1	6	0	5	1	<b>77</b>	0.09
11:00am - 12:00md	52	16	5	3	3	2	3	2	<b>86</b>	0.10
1:00pm - 2:00pm	46	25	3	2	7	1	8	2	<b>94</b>	0.11
2:00pm - 3:00pm	48	16	2	3	6	1	5	0	<b>81</b>	0.10
3:00pm - 4:00pm	59	26	3	5	9	1	6	1	<b>110</b>	0.13
4:00pm - 5:00pm	62	22	3	2	3	0	3	1	<b>96</b>	0.11
Sumatoria por tipos de vehículos	455	193	33	29	63	8	43	14	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>838</b>									
<b>Tránsito diario total</b>	<b>1,788</b>									

**AP- 44. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL MARTES 20 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 4. Sección 60012, estación 605+650										
Fecha: 20/04/2021										
Hora/Sentido	La Guaria – Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	46	18	4	2	6	2	5	3	86	0.08
7:00am - 8:00am	62	21	3	4	4	2	10	0	106	0.10
8:00am - 9:00am	47	29	0	5	8	5	14	8	116	0.11
9:00am – 10:00am	50	25	2	5	10	2	15	8	117	0.11
10:00am – 11:00 am	47	16	3	1	5	2	15	1	90	0.09
11:00am – 12:00md	46	23	3	2	5	4	12	2	97	0.09
1:00pm – 2:00pm	40	18	1	3	5	1	4	3	75	0.07
2:00pm – 3:00pm	58	31	1	5	10	1	8	2	116	0.11
3:00pm-4:00pm	46	29	1	8	7	3	6	2	102	0.10
4:00pm-5:00pm	64	23	5	4	14	2	8	1	121	0.12
Sumatoria por tipos de vehículos	506	233	23	39	74	24	97	30	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1026</b>									
Hora/Sentido	Río Claro-La Guaria.									
6:00am - 7:00am	60	19	4	3	5	2	4	1	98	0.11
7:00am - 8:00am	41	27	0	6	7	0	6	0	87	0.09
8:00am - 9:00am	38	12	2	6	8	2	7	0	75	0.08
9:00am – 10:00am	47	20	3	3	8	1	12	4	98	0.11
10:am – 11:00 am	26	17	2	1	6	0	5	0	57	0.06
11:00am – 12:00md	34	18	4	3	6	4	14	0	83	0.09
1:00pm - 2:00pm	46	25	3	2	7	1	7	2	93	0.10
2:00pm – 3:00pm	42	16	3	1	3	3	14	2	84	0.09
3:00pm - 4:00pm	74	30	1	5	11	2	19	3	145	0.16
4:00pm – 5:00pm	50	30	3	4	15	2	7	1	112	0.12
Sumatoria por tipos de vehículos	458	214	25	34	76	17	95	13	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>932</b>									
<b>Tránsito diario total</b>	<b>1,958</b>									

**AP- 45. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL MIÉRCOLES 21 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 5. Sección 60012, estación 605+650										
Fecha: 21/04/2021										
Hora/Sentido	La Guaria – Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	64	24	4	3	8	3	15	6	127	0.11
7:00am - 8:00am	46	23	2	3	11	0	13	5	103	0.09
8:00am - 9:00am	67	27	1	3	10	1	6	6	121	0.11
9:00am – 10:00am	66	31	0	2	7	2	7	0	115	0.10
10:00am – 11:00 am	64	20	3	2	7	0	12	0	108	0.10
11:00am – 12:00md	36	22	4	2	4	2	4	2	76	0.07
1:00pm – 2:00pm	58	32	2	6	5	2	10	4	119	0.11
2:00pm – 3:00pm	49	28	2	4	7	5	9	2	106	0.09
3:00pm-4:00pm	66	39	3	8	10	1	10	0	137	0.12
4:00pm-5:00pm	60	29	3	4	5	2	5	3	111	0.10
Sumatoria por tipos de vehículos	576	275	24	37	74	18	91	28	-	-
<b>Tránsito diario por sentido</b>	<b>1123</b>									
Hora/Sentido	Río Claro-La Guaria.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	porcentaje (%)
6:00am - 7:00am	56	22	3	5	8	2	8	5	109	0.11
7:00am - 8:00am	48	17	1	11	8	0	5	0	90	0.09
8:00am - 9:00am	63	37	2	1	13	1	11	1	129	0.13
9:00am – 10:00am	51	27	3	2	6	3	10	2	104	0.10
10:am – 11:00 am	42	33	3	5	5	2	15	3	108	0.10
11:00am – 12:00md	37	25	5	2	6	1	12	3	91	0.09
1:00pm - 2:00pm	56	27	1	0	6	3	8	0	101	0.10
2:00pm – 3:00pm	41	28	4	2	2	4	9	3	93	0.09
3:00pm - 4:00pm	63	23	2	2	4	1	13	0	108	0.10
4:00pm – 5:00pm	63	20	2	1	6	0	4	2	98	0.10
Sumatoria por tipos de vehículos	520	259	26	31	64	17	95	19	-	-
<b>Tránsito por sentido</b>	<b>1,031</b>									
<b>Tránsito total diario</b>	<b>2,154</b>									

**AP- 46. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL JUEVES 22 DE ABRIL  
EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 1. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha: 22/04/2021.										
Paso Canoas- Río Claro.										
Hora /Sentido	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am	0	0	0	0	1	1	5	0	7	0.06
7:00am - 8:00am	1	1	0	0	0	0	21	0	23	0.18
8:00am-9:00am	1		0	0	0	0	21	2	24	0.19
9:00am-10:00am	1	1	0	0	0	1	15	0	18	0.14
10:00am - 11:00am	1	0	0	0	0	0	11	1	13	0.10
11:00am - 12:00am	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0.06
1:00pm – 2:00pm	1	0	0	0	0	0	10	0	11	0.09
2:00pm - 3:00pm	0	0	0	1	0	1	3	0	5	0.04
3:00pm - 4:00pm	0	1	1	0	1		6	0	9	0.07
4:00pm - 5:00pm	0	0	0	0	0	0	6	1	7	0.06
Sumatoria por tipo de vehículo	5	3	1	1	2	3	106	4	-	-
<b>Tránsito diario total</b>	<b>125</b>									

**AP- 47. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL VIERNES 23 DE ABRIL  
EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 2. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha: 23/04/2021.										
Paso Canoas- Río Claro.										
Hora /Sentido	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am	0	0	0	0	0	0	11	0	11	0.10
7:00am - 8:00am	0	0	0	0	0	0	15	1	16	0.14
8:00am-9:00am	0	0	0	0	0	0	12	0	12	0.11
9:00am-10:00am	0	0	0	0	2	0	14	2	18	0.16
10:00am - 11:00am	0	0	0	0	0	0	4	1	5	0.04
11:00am - 12:00am	0	1	0	0	0	0	6	0	7	0.06
1:00pm – 2:00pm	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0.18
2:00pm - 3:00pm	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0.04
3:00pm - 4:00pm	0	0	0	0	1	0	5	0	6	0.05
4:00pm - 5:00pm	0	0	0	1	1	0	11	0	13	0.12
Sumatoria por tipo de vehículo	0	1	0	1	4	0	102	4	-	-
<b>Tránsito diario total</b>	<b>112</b>									

**AP- 48. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL SÁBADO 24 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 3. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha: 24/04/2021.										
Paso Canoas- Río Claro.										
Hora /Sentido	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am	0	0	0	0	0	0	17	0	17	0.11
7:00am - 8:00am	0	0	0	0	2	0	12	1	15	0.10
8:00am-9:00am	0	0	0	2	1	0	12	0	15	0.10
9:00am-10:00am	0	0	0	0	1	1	12	0	14	0.09
10:00am - 11:00am	0	0	0	0	2	0	6	1	9	0.06
11:00am - 12:00am	0	0	0	0	1	0	15	1	17	0.11
1:00pm – 2:00pm	0	0	0	0	0	0	13	0	13	0.09
2:00pm - 3:00pm	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0.06
3:00pm - 4:00pm	0	0	0	0	0	0	19	0	19	0.13
4:00pm - 5:00pm	0	0	0	0	2	1	17	0	20	0.14
Sumatoria por tipo de vehículo	0	0	0						-	-
<b>Tránsito diario total</b>	<b>148</b>									

**AP- 49. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL LUNES 26 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 4. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha: 26/04/2021.										
Paso Canoas- Río Claro.										
Hora /Sentido	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am	0	0	0	0	2	0	17	1	20	0.19
7:00am - 8:00am	0	1	0	0	1	0	11	0	13	0.12
8:00am-9:00am	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0.09
9:00am-10:00am	1	0	0	0	0	0	10	0	11	0.10
10:00am - 11:00am	0	0	0	0	0	1	10	2	13	0.12
11:00am - 12:00am	0	0	0	1	1	0	10	0	12	0.11
1:00pm – 2:00pm	0	0	0	0	0	0	5	2	7	0.07
2:00pm - 3:00pm	0	0	0	0	0	0	6	0	6	0.06
3:00pm - 4:00pm	0	0	0	0	0	0	3	1	4	0.04
4:00pm - 5:00pm	0	0	0	0	0	0	10	1	11	0.10
Sumatoria por tipo de vehículo	1	1	0	1	4	1	92	7	-	-
<b>Tránsito diario total</b>	<b>107</b>									

**AP- 50. DATOS DEL CONTEO VEHICULAR MANUAL REALIZADO EL MARTES 27 DE ABRIL EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día 5. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha: 27/04/2021.										
Hora /Sentido	Paso Canoas- Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am	0	0	0	0	1	0	10	0	11	0.10
7:00am - 8:00am	0	1	0	0	0	0	17	0	18	0.17
8:00am-9:00am	0	0	0	0	0	0	9	2	11	0.10
9:00am-10:00am	0	0	0	0	0	0	12	0	12	0.11
10:00am - 11:00am	0	1	0	0	0	0	13	0	14	0.13
11:00am - 12:00am	0	0	0	0	1	0	11	0	12	0.11
1:00pm – 2:00pm	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0.07
2:00pm - 3:00pm	0	0	0	0	1	0	10	2	13	0.12
3:00pm - 4:00pm	0	0	0	0	1	0	4	0	5	0.05
4:00pm - 5:00pm	0	0	0	0	2	0	9	0	11	0.10
Sumatoria por tipo de vehiculo	0	2	0	0	6	0	103	4	-	-
<b>Tránsito diario total</b>	<b>115</b>									

**AP- 51. TRÁNSITO DIARIO MEDIDO, TRÁNSITO DIARIO EXPANDIDO Y TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Día	Tránsito medido	Porcentaje del total	Tránsito expandido	Porcentaje del total
Jueves 15 de abril	2157	21.1%	3057	21.2%
Viernes 16 de abril	2177	21.3%	3062	21.2%
Lunes 19 de abril	1788	17.5%	2516	17.4%
Martes 20 de abril	1958	19.1%	2755	19.1%
Miércoles 21 de abril	2154	21.0%	3030	21.0%
Total	10234	100.0%	14419	100%
<b>Tránsito Promedio Diario (TPD)</b>	<b>2884</b>			

**AP- 52. TRÁNSITO DIARIO MEDIDO, TRÁNSITO DIARIO EXPANDIDO Y TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) EN LA SECCIÓN DE CONTROL 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Día	Tránsito medido	Porcentaje del total	Tránsito expandido	Porcentaje del total
Jueves 22 de abril 2021	124	20.5%	142	20.4%
Viernes 23 de abril 2021	112	18.5%	128	18.3%
Sabado 24 de abril 2021	148	24.4%	169	24.2%
Lunes 26 de abril 2021	107	17.7%	128	18.3%
Martes 27 de abril 2021	115	19.0%	130	18.7%
Total	606	100.0%	697	100%
<b>Tránsito Promedio Diario (TPD)</b>	<b>139</b>			

**AP- 53. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S3 EN LA SC 60012,  
ESTACIÓN 605+650.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo T3-S3.									
Lugar: Puntarenas, Gollito, Guaycará Ruta: 2									
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	Peso eje 4(kg)	Peso eje 5(kg)	Peso eje 6(kg)	PBT (kg)	Sobrepeso
Furgón	45500	4880	7720	6690	9600	8050	7000	43940	No
Furgón	45500	4060	8750	7840	7760	7350	7500	43260	No
Plataforma	45500	4720	7780	7250	8280	3726	7790	39546	No
Furgón	45500	4720	9390	8860	7430	6730	7130	44260	No
T. bebidas	45500	4670	10080	9910	5650	5550	6030	41890	No
T. bebidas	45500	4920	9960	9480	6920	6910	7170	45360	Sí
Furgón	45500	4740	7490	7070	5420	5500	6400	36620	No
Plataforma	45500	3640	3170	2920	2070	2320	2480	16600	No
Furgón	45500	4040	2850	2640	1880	1750	1830	14990	No
Furgón	45500	4080	9830	9390	6730	6970	6680	43680	No
Plataforma	45500	4870	10040	7810	9460	6430	8280	46890	Sí
Furgón	45500	5060	7190	7000	7890	7900	6330	41370	No
Plataforma	45500	4730	9750	9670	6770	7720	6050	44690	No
T. bebidas	45500	5240	7780	7150	6040	7490	7560	41260	No
Plataforma	45500	4780	9850	9280	10710	8700	7040	50360	Sí
T. bebidas	45500	5090	9550	9130	6420	6250	6360	42800	No
Furgón	45500	5030	7400	7340	2290	3800	3690	29550	No

**AP- 54. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S2 EN LA SC 60012,  
ESTACIÓN 605+650.**

Resultados del control de peso para vehículos tipo T3-S2.								
Lugar: Puntarenas, Gollito, Guaycará Ruta: 2								
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	Peso eje 4(kg)	Peso eje 5(kg)	PBT	Sobrepeso
Furgón	39000	4580	6910	9420	10070	10180	41160	Sí
Furgón	39000	4560	4600	4130	4110	4160	21560	No
Furgón	39000	4300	7900	7200	10430	8070	37900	No
Furgón	39000	5050	7750	6430	4850	4750	28830	No
Furgón	39000	4750	3660	3400	3830	3560	19200	No
Furgón	39000	4770	3650	4730	4500	4050	21700	No
Plataforma	39000	4800	7740	7530	7930	7400	35400	No
Furgón	39000	5150	5020	4730	6290	4250	25440	No
Plataforma	39000	4700	7070	6990	6610	7080	32450	No
Furgón	39000	4340	5100	5100	4170	2380	21090	No
Furgón	39000	4030	3990	4070	2120	2130	16340	No
Furgón	39000	4520	2690	2870	2700	2680	15460	No
Furgón	39000	4140	2580	2520	2140	2060	13440	No
Furgón	39000	4360	7280	7050	5690	7440	31820	No
Furgón	39000	4370	6120	530	5560	5660	22240	No
Plataforma	39000	4450	4690	4450	4370	3510	21470	No
Furgón	39000	4690	3340	3230	3110	3070	17440	No
Plataforma	39000	4240	5700	5520	5020	545	21025	No
Furgón	39000	4950	5790	5510	6950	6280	29480	No
Furgón	39000	5150	7840	6920	7820	7750	35480	No
Furgón	39000	4350	8110	7590	7050	7160	34260	No
Furgón	39000	4350	4390	4100	2580	2570	17990	No
Furgón	39000	4690	7370	7760	10320	7740	37880	No
Furgón	39000	4540	8340	7900	9120	7820	37720	No
Furgón	39000	4600	4020	3830	4630	4450	21530	No
Furgón	39000	4030	5310	4750	7380	7630	29100	No
Furgón	39000	4790	4340	4430	3590	3460	20610	No
Furgón	39000	4320	8340	7550	8800	8640	37650	No
Furgón	39000	4150	3590	3610	4160	4370	19880	No
Furgón	39000	4990	7200	7230	9010	8170	36600	No
Furgón	39000	5060	7460	7610	7410	7540	35080	No
Furgón	39000	4680	5850	5550	5020	5030	26130	No
Furgón	39000	4280	5380	4900	5140	4320	24020	No
Furgón	39000	4690	6140	6020	6990	4850	28690	No
Furgón	39000	4910	7900	7580	9950	8190	38530	No
Furgón	39000	4900	8310	8020	7660	8010	36900	No
Furgón	39000	4400	7630	7620	7730	8960	36340	No
Furgón	39000	4910	5360	5660	5480	6080	27490	No
Furgón	39000	4970	5030	4660	4500	4150	23310	No
Furgón	39000	4670	5270	5480	2610	2610	20640	No
Plataforma	39000	4770	6940	6620	5000	4730	28060	No
Furgón	39000	6700	4370	2940	2850	2670	19530	No
Furgón	39000	4510	8100	7540	6890	6910	33950	No
Furgón	39000	4200	3290	2950	2140	2450	15030	No
Plataforma	39000	4340	7240	7420	6890	6910	32800	No
Furgón	39000	4370	2940	2850	2670	2540	15370	No
Furgón	39000	4290	2730	2670	2270	2390	14350	No
Furgón	39000	4350	3320	3220	2250	2020	15160	No
Furgón	39000	5150	3760	3630	2200	1830	16570	No
Furgón	39000	4550	7440	6710	6950	6730	32380	No

**AP- 55. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Resultados del control de peso para vehículos tipo C3						
Lugar: Puntarenas, Golfo, Guaycará			Ruta: 2			
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	PBT	Sobrepeso
Furgón	21480	5690	5750	4470	15910	No
Plataforma	20880	5820	6260	5060	17140	No
Furgón	21490	6660	8400	8800	23860	Sí
Plataforma	22170	8260	11020	11050	30330	Sí
Furgón	22020	6900	5810	5350	18060	No
Furgón	16800	5710	6430	6640	18780	Sí
Furgón	-	4240	2970	3120	10330	-
Furgón	-	4310	4190	3460	11960	-
Plataforma	20800	4960	6310	6220	17490	No
Vagón	19340	5600	6570	6250	18420	No
Ganado	6550	8630	4790	4790	18210	No

**AP- 56. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo C2					
Lugar: Puntarenas, Golfo, Guaycará			Ruta: 2		
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	PBT	Sobrepeso
Furgón	4500	1540	2100	3640	No
Adral	14870	5200	8680	13880	No
Adral	15200	4870	8040	12910	No
Furgón	15000	5710	8050	13760	No
Furgón	13720	3560	4240	7800	No
Plataforma	8500	2780	2330	5110	No
Adral	8900	3390	6960	10350	Sí
Furgón	7500	2570	2740	5310	No
Furgón	8500	2530	5770	8300	No
Plataforma	11900	2890	6580	9470	No
Furgón	8200	3080	3300	6380	No
Adral	-	3650	370	4020	-
Adral	-	1820	3310	5130	-
Furgón	-	3130	3790	6920	-
Adral	-	1810	2460	4270	-
Furgón	-	4290	7560	11850	-
Furgón	-	4660	10340	15000	-
Furgón	-	2980	3610	6590	-
Furgón	-	3850	4890	8740	-
Adral	-	1670	1820	3490	-
Furgón	-	1840	2170	4010	-
Furgón	-	3800	6480	10280	-
Furgón	-	3200	4020	7220	-
Furgón	-	1780	3160	4940	-
Furgón	14790	4990	6560	11550	No
Furgón	11770	3120	6170	9290	No
Furgón	14370	4600	5990	10590	No
Furgón	14820	3480	4450	7930	No
Furgón	13540	5750	7590	13340	No
Furgón	6490	2920	6610	9530	Sí
Furgón	13300	5890	6690	12580	No
Ganado	8160	3250	4590	7840	No
Adral	9000	3620	8010	11630	Sí
Plataforma	15070	7580	7950	15530	Sí
Furgón	14080	3940	6300	10240	No
Furgón	8840	2100	4070	6170	No
Furgón	7490	3190	7750	10940	Sí
Furgón	7000	2180	2420	4600	No
Ganado	5380	2750	4750	7500	Sí
Furgón	-	2370	4460	6830	-
Furgón	-	2280	2740	5020	-
Furgón	-	2260	3710	5970	-
Furgón	-	1860	2000	3860	-
Furgón	-	3910	4830	8740	-
Furgón	-	2770	4470	7240	-

**AP- 57. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Resultados del control de peso para vehículos tipo bus					
Lugar: Puntarenas, Golfito, Guaycará			Ruta: 2		
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	PBT	Sobrepeso
Rural	-	5010	9390	14400	-
Urbano	-	4860	9810	14670	-
Urbano	-	5540	10090	15630	-
Urbano	-	6870	11960	18830	-

**AP- 58. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPOS C2+.**

Resultados del control de peso para vehículos tipo C2+			
Lugar: Puntarenas, Golfito, Guaycará		Ruta: 2	
Clase	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	PBT (kg)
Furgón	1650	1360	3010
Furgón	1300	1310	2610

**AP- 59. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo T3-S3									
Lugar: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas					Ruta: 2				
Sentido La Guaria- Río Claro.									
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	Peso eje 4(kg)	Peso eje 5(kg)	Peso eje 6(kg)	PBT (kg)	Sobrepeso
Furgón	45500	4060	8750	7840	7760	7350	7500	43260	No
Plataforma	45500	4720	7780	7250	8280	3726	7790	39546	No
Furgón	45500	5030	7400	7340	2290	3800	3690	29550	No
Furgón	45500	5060	7190	7000	7890	7900	6330	41370	No

**AP- 60. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO T3-S2 EN 1 LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo T3-S2.									
Lugar: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas					Ruta: 2				
Sentido Paso Canoas - Río Claro									
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	Peso eje 4(kg)	Peso eje 5(kg)	PBT (kg)	Sobrepeso	
Furgón	39000	4950	3630	3520	1420	1310	14830	No	
Cisterna	39000	4320	2870	2650	1700	1930	13470	No	
Furgón	39000	4880	3340	3010	840	4040	16110	No	
Furgón	39000	4870	3670	3400	2680	2910	17530	No	
Furgón	39000	4880	2890	2830	2310	2380	15290	No	
Furgón	39000	5040	7340	7510	7400	8190	35480	No	
Furgón	39000	5300	5010	4790	5670	6000	26770	No	
Furgón	39000	5350	7070	6930	8660	8340	36350	No	
Furgón	39000	5110	5480	5180	5010	5020	25800	No	
Furgón	39000	4800	5360	5000	3730	3810	22700	No	
Furgón	39000	5310	4050	3850	2800	2870	18880	No	
Furgón	39000	5120	8530	8150	7220	8040	37060	No	
Furgón	39000	4960	3150	7710	8100	8760	32680	No	
Furgón	39000	4900	4760	4710	5200	5410	24980	No	
Furgón	39000	5080	6790	6770	9810	9110	37560	No	
Furgón	39000	4910	3430	3440	2990	3090	17860	No	
Furgón	39000	5090	3470	3420	3780	3190	18950	No	
Furgón	39000	5200	3640	3560	3200	3420	19020	No	
Furgón	39000	5350	8620	8300	7400	8310	37980	No	
Furgón	39000	5200	4770	4410	3110	3470	20960	No	

**AP- 61. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C3 EN LA SC 60001,  
ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo C3.						
Lugar: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas			Ruta: 2		Fecha: 26/05/2021.	
Sentido Canoas- Río Claro.						
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	Peso eje 3(kg)	PBT (kg)	Sobrepeso
Vagón	16060	5260	5345	5290	15895	No
Plataforma	20880	5820	6260	5060	17140	No
Furgón	21480	5690	5750	4470	15910	No
Vagón	21260	5620	7840	7530	20990	No

**AP-61. CONTROL DE PESO PARA VEHÍCULOS TIPO C2 EN AL SC 60001,  
ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo C2					
Lugar: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas			Ruta: 2		
Sentido Canoas- Río Claro.					
Clase	PMA(kg)	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	PBT (kg)	Sobrepeso
Furgón	6340	1710	3200	4910	No
Furgón	8200	3080	3300	6380	No
Adral	4700	1760	3470	5230	Sí
Furgón	8460	2980	4150	7130	No
Furgón	8200	2910	4790	7700	No

**AP- 62. CONTROL DE PESOS PARA VEHÍCULOS TIPO BUS C2 EN LA SC 60001,  
ESTACIÓN 350+080.**

Resultados del control de peso para vehículos Tipo bus C2.			
Lugar: Puntarenas, Corredores, Paso Canoas		Ruta: 2	
Clase	Peso eje 1(kg)	Peso eje 2(kg)	PBT (kg)
Bus	4260	7250	11510
Bus	5740	4610	10350

**AP- 63. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN  
605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)	Peso eje tridem(kips)
Mayor peso	10.52	42.09	58.19
Peso Promedio	10.26	34.68	41.38
Percentil 84	11.10	42.52	53.07
Peso máximo Permisible	13.44	36.96	51.52

**AP- 64. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.52	Lx2	42.09	Lx3	58.19	4.854
L2-1	1	L2-2	2	L2-3	3	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.577	Bx	0.526	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.965	Despeje	-0.401	Despeje	-0.347	
10 <sup>despeje</sup>	9.222	10 <sup>despeje</sup>	0.397	10 <sup>despeje</sup>	0.449	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.108	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	2.520	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	2.225	

**AP- 65. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.258	Lx2	34.684	Lx3	41.384	1.846
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-3	3.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.418	Bx	0.498	Bx	0.445	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	1.010	Despeje	-0.074	Despeje	0.251	
10 <sup>despeje</sup>	10.239	10 <sup>despeje</sup>	0.842	10 <sup>despeje</sup>	1.782	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.098	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.187	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.561	

**AP- 66. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	11.095	Lx2	42.522	Lx3	53.075	4.305
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-3	3.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.423	Bx	0.583	Bx	0.495	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.867	Despeje	-0.419	Despeje	-0.190	
10 <sup>despeje</sup>	7.356	10 <sup>despeje</sup>	0.381	10 <sup>despeje</sup>	0.646	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.136	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	2.621	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.548	

**AP- 67. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	13.440	Lx2	36.960	Lx3	51.520	3.204
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-3	3.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.441	Bx	0.519	Bx	0.487	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	-0.183	Despeje	-0.138	
10despeje	3.291	10despeje	0.656	10despeje	0.728	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.526	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.374	

**AP- 68. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	10.08	35.93	44.55
Peso Promedio	10.18	24.45	23.56
Percentil 84	10.90	33.70	34.32
Peso máximo Permisible	13.44	36.96	36.96

**AP- 69. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.08	Lx2	35.93	Lx3	44.55	4.602
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.509	Bx	0.593	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	1.043	Despeje	-0.135	Despeje	-0.498	
10 <sup>despeje</sup>	11.045	10 <sup>despeje</sup>	0.733	10 <sup>despeje</sup>	0.318	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.091	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.365	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	3.147	

**AP- 70. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.182	Lx2	24.447	Lx3	23.560	0.619
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-2	2.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.418	Bx	0.434	Bx	0.428	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	1.024	Despeje	0.547	Despeje	0.619	
10despeje	10.568	10despeje	3.522	10despeje	4.155	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.095	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.284	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.241	

**AP- 71. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.897	Lx2	33.702	Lx3	34.317	2.321
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-2	2.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.422	Bx	0.489	Bx	0.486	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.900	Despeje	-0.025	Despeje	-0.056	
10despeje	7.936	10despeje	0.944	10despeje	0.880	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.126	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	1.059	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	1.136	

**AP- 72. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60012, estación 605+650.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	13.440	Lx2	36.960	Lx3	36.960	3.356
L2-1	1.000	L2-2	2.000	L2-2	2.000	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.441	Bx	0.519	Bx	0.508	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	-0.183	Despeje	-0.184	
10despeje	3.291	10despeje	0.656	10despeje	0.655	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.304	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	1.526	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	1.527	

**AP- 73. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	18.17	48.55
Peso Promedio	13.36	26.74
Percentil 84	16.38	32.57
Peso máximo Permisible	13.44	36.96

**AP- 74. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C3. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	18.17	Lx2	48.55	5.393
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.50	Bx	0.652	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	-0.016	Despeje	-0.639	
10 <sup>despeje</sup>	0.963	10 <sup>despeje</sup>	0.230	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.039	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	4.354	

**AP- 75. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C3. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	13.36	Lx2	26.74	0.705
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.441	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.529	Despeje	0.388	
10 <sup>despeje</sup>	3.378	10 <sup>despeje</sup>	2.444	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.296	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.409	

**AP- 76. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C3. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	16.38	Lx2	32.57	1.606
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.47	Bx	0.474	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.165	Despeje	0.036	
10 <sup>despeje</sup>	1.461	10 <sup>despeje</sup>	1.086	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.685	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.921	

**AP- 77. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos C3. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	13.44	Lx2	36.96	1.831	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.44	Bx	0.508		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	0.517	Despeje	-0.184		
$10^{\text{despeje}}$	3.291	$10^{\text{despeje}}$	0.655		
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.304	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	1.527		

**AP- 78. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	12.96	14.72
Peso Promedio	7.40	10.99
Percentil 84	10.25	16.70
Peso máximo Permisible	13.44	22.4

**AP- 79. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C2. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	12.96	Lx2	14.72	0.294	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.44	Bx	0.407		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	0.583	Despeje	1.478		
$10^{\text{despeje}}$	3.832	$10^{\text{despeje}}$	30.047		
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.261	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.033		

**AP- 80. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C2. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	7.40	Lx2	10.99	0.035	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.41	Bx	0.403		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	1.606	Despeje	1.997		
10 <sup>despeje</sup>	40.335	10 <sup>despeje</sup>	99.357		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.025	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.010		

**AP- 81. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos C2. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	10.25	Lx2	16.70	0.154	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.42	Bx	0.410		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	1.012	Despeje	1.249		
10 <sup>despeje</sup>	10.289	10 <sup>despeje</sup>	17.740		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.097	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.056		

**AP- 82. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos C2. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	13.44	Lx2	22.40	0.498	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.44	Bx	0.424		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	0.517	Despeje	0.711		
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	5.139		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.195		

**AP- 83. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	15.11	26.31
Peso Promedio	12.25	22.69
Percentil 84	13.71	24.34
Peso máximo Permisible	13.44	22.4

**AP- 84. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo bus C2. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	15.11	Lx2	26.31	0.876
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.46	Bx	0.439	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.307	Despeje	0.417	
$10^{\text{despeje}}$	2.026	$10^{\text{despeje}}$	2.615	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.494	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.382	

**AP- 85. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo bus C2. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	12.25	Lx2	22.69	0.412
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.425	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.685	Despeje	0.688	
$10^{\text{despeje}}$	4.842	$10^{\text{despeje}}$	4.870	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.207	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.205	

**AP- 86. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo bus C2. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	13.71	Lx2	24.34	0.606
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.431	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.481	Despeje	0.559	
$10^{\text{despeje}}$	3.030	$10^{\text{despeje}}$	3.625	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.330	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.276	

**AP- 87. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos tipo bus C2. SC 60012, estación 605+650.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	13.44	Lx2	22.40	0.498
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.424	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	0.711	
$10^{\text{despeje}}$	3.291	$10^{\text{despeje}}$	5.139	
$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.304	$(wt_x/wt_{18})^{-1}$	0.195	

**AP- 88. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2+ EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	3.63	2.99
Peso Promedio	3.25	2.94
Percentil 84	3.51	2.97

**AP- 89. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ MÁS PESADO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo C2+. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	3.63	Lx2	2.99	0.002	
L2-1	1	L2-2	1		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.40	Bx	0.401		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	2.838	Despeje	3.146		
10 <sup>despeje</sup>	688.451	10 <sup>despeje</sup>	1398.961		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001		

**AP- 90. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ PROMEDIO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo C2+. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	3.25	Lx2	2.94	0.002	
L2-1	1	L2-2	1		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.40	Bx	0.401		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	3.018	Despeje	3.175		
10 <sup>despeje</sup>	1042.683	10 <sup>despeje</sup>	1494.963		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001		

**AP- 91. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2+ PERCENTIL 84 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.**

Factor camión vehículos tipo C2+. SC 60012, estación 605+650.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	3.51	Lx2	2.97	0.002	
L2-1	1	L2-2	1		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.40	Bx	0.401		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	2.894	Despeje	3.155		
10 <sup>despeje</sup>	783.191	10 <sup>despeje</sup>	1428.847		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.001		

**AP- 92. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	8.93	36.50	49.74
Peso Promedio	10.38	33.30	40.87
Percentil 84	11.10	34.95	51.44
Peso máximo Permisible	13.44	36.96	51.52

**AP- 93. FACTOR CAMIÓN VEHÍCULO TIPO T3-S3 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60001, estación 350+080						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	8.93	Lx2	36.50	Lx3	49.74	2.700
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	3	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.41	Bx	0.504	Bx	0.478	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	1.264	Despeje	-0.162	Despeje	-0.077	
10 <sup>despeje</sup>	18.361	10 <sup>despeje</sup>	0.688	10 <sup>despeje</sup>	0.838	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.054	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.453	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.193	

**AP- 94. FACTOR CAMIÓN DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60001, estación 350+080						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	10.38	Lx2	33.30	Lx3	40.87	1.645
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	3	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.486	Bx	0.443	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.989	Despeje	-0.004	Despeje	0.273	
10 <sup>despeje</sup>	9.749	10 <sup>despeje</sup>	0.991	10 <sup>despeje</sup>	1.877	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.103	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.010	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.533	

**AP- 95. FACTOR CAMIÓN DEL VEHÍCULO TIPO T3-S3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60001, estación 350+080						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	11.10	Lx2	34.95	Lx3	51.44	2.723
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	3	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.491	Bx	0.486	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.866	Despeje	-0.087	Despeje	-0.135	
10 <sup>despeje</sup>	7.341	10 <sup>despeje</sup>	0.818	10 <sup>despeje</sup>	0.733	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.136	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.222	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.365	

**AP- 96. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos T3-S3. SC 60001, estación 350+080						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	13.44	Lx2	36.96	Lx3	51.52	3.231
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	3	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.508	Bx	0.487	
B18	0.500	B18	0.509	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	-0.191	Despeje	-0.138	
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	0.644	10 <sup>despeje</sup>	0.728	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.553	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.374	

**AP- 97. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO T3-S2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	11.77	37.22	34.56
Peso Promedio	11.07	21.67	21.19
Percentil 84	11.65	32.00	34.55
Peso máximo Permisible	13.44	36.96	36.96

**AP- 98. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60001, estación 350+080.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	11.77	Lx2	37.22	Lx3	34.56	2.914
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.511	Bx	0.488	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.759	Despeje	-0.196	Despeje	-0.068	
10 <sup>despeje</sup>	5.736	10 <sup>despeje</sup>	0.637	10 <sup>despeje</sup>	0.855	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.174	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.570	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.169	

**AP- 99. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60001, estación 350+080.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	11.07	Lx2	21.67	Lx3	21.19	0.458
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.422	Bx	0.420	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.871	Despeje	0.771	Despeje	0.813	
10 <sup>despeje</sup>	7.431	10 <sup>despeje</sup>	5.909	10 <sup>despeje</sup>	6.497	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.135	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.169	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.154	

**AP- 100. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60001, estación 350+080.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	11.65	Lx2	32.00	Lx3	34.55	2.192
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.470	Bx	0.488	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.777	Despeje	0.067	Despeje	-0.067	
10 <sup>despeje</sup>	5.986	10 <sup>despeje</sup>	1.167	10 <sup>despeje</sup>	0.856	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.167	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.857	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.168	

**AP- 101. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO T3-S2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos T3-S2. SC 60001, estación 350+080.						
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		FC
Lx1	13.44	Lx2	36.96	Lx3	36.96	3.357
L2-1	1	L2-2	2	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.508	Bx	0.508	
B18	0.500	B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	-0.184	Despeje	-0.184	
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	0.655	10 <sup>despeje</sup>	0.655	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.527	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.527	

**AP- 102. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	12.36	33.81
Peso Promedio	12.31	26.15
Percentil 84	12.67	29.78
Peso máximo Permisible	13.44	36.96

**AP- 103. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C3. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	12.36	Lx2	33.81	1.285
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.483	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.669	Despeje	-0.030	
10 <sup>despeje</sup>	4.664	10 <sup>despeje</sup>	0.934	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.214	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.071	

**AP- 104. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C3. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	12.31	Lx2	26.15	0.583
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.438	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.676	Despeje	0.429	
10 <sup>despeje</sup>	4.743	10 <sup>despeje</sup>	2.684	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.211	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.373	

**AP- 105. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C3. SC 60001, estación 350+080.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	12.67	Lx2	29.78	0.876	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.43	Bx	0.456		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	0.625	Despeje	0.195		
10 <sup>despeje</sup>	4.215	10 <sup>despeje</sup>	1.566		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.237	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.639		

**AP- 106. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos tipo C3. SC 60001, estación 350+080.					
Grupo 1		Grupo 2		FC	
Lx1	13.44	Lx2	36.96	1.831	
L2-1	1	L2-2	2		
Gt	-0.201	Gt	-0.201		
Bx	0.44	Bx	0.508		
B18	0.500	B18	0.500		
Despeje	0.517	Despeje	-0.184		
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	0.655		
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	1.527		

**AP- 107. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	6.40	10.54
Peso Promedio	5.47	8.32
Percentil 84	6.64	9.64
Peso máximo Permisible	13.44	22.40

**AP- 108. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C2. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	6.40	Lx2	10.54	0.022
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.40	Bx	0.403	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	1.866	Despeje	2.071	
10 <sup>despeje</sup>	73.523	10 <sup>despeje</sup>	117.792	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.014	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.008	

**AP- 109. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C2. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	5.47	Lx2	8.32	0.011
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.40	Bx	0.401	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	2.143	Despeje	2.474	
10 <sup>despeje</sup>	139.045	10 <sup>despeje</sup>	298.131	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.007	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.003	

**AP- 110. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo C2. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	6.64	Lx2	9.64	0.022
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.41	Bx	0.402	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	1.803	Despeje	2.226	
10 <sup>despeje</sup>	63.462	10 <sup>despeje</sup>	168.086	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.016	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.006	

**AP- 111. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos tipo C2. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	13.44	Lx2	22.40	0.498
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.424	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	0.711	
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	5.139	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.195	

**AP- 112. ESTADÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO BUS C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

	Grupo 1	Grupo 2
	Peso eje delantero simple(kips)	Peso eje tandem (kips)
Mayor peso	9.37	15.95
Peso Promedio	11.00	13.05
Percentil 84	12.11	15.02
Peso máximo Permisible	13.44	22.40

**AP- 113. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 MÁS PESADO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo bus. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	9.37	Lx2	15.95	0.113
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.41	Bx	0.409	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	1.176	Despeje	1.332	
10 <sup>despeje</sup>	14.993	10 <sup>despeje</sup>	21.483	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.067	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.047	

**AP- 114. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PROMEDIO EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo bus. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	11.00	Lx2	13.05	0.151
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.42	Bx	0.405	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.882	Despeje	1.695	
10 <sup>despeje</sup>	7.627	10 <sup>despeje</sup>	49.492	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.131	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.020	

**AP- 115. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO BUS C2 PERCENTIL 84 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.**

Factor camión vehículos tipo bus. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	12.11	Lx2	15.02	0.233
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.43	Bx	0.407	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.707	Despeje	1.441	
10 <sup>despeje</sup>	5.094	10 <sup>despeje</sup>	27.605	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.196	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.036	

**AP- 116. FACTOR CAMIÓN PARA EL VEHÍCULO C2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080, SEGÚN DECRETO EJECUTIVO N°31363.**

Factor camión vehículos tipo bus. SC 60001, estación 350+080.				
Grupo 1		Grupo 2		FC
Lx1	13.44	Lx2	22.40	0.498
L2-1	1	L2-2	2	
Gt	-0.201	Gt	-0.201	
Bx	0.44	Bx	0.424	
B18	0.500	B18	0.500	
Despeje	0.517	Despeje	0.711	
10 <sup>despeje</sup>	3.291	10 <sup>despeje</sup>	5.139	
(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.304	(wt <sub>x</sub> /wt <sub>18</sub> ) <sup>-1</sup>	0.195	

## AP- 117. CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.

Ejes equivalente diarios y anuales SC 60012, estación 605+650.				
Tipo de vehículo	TPD	Mayor factor camión	EEQ diario	EEQ anual
T3-S3	49	4.85	237.87	86823.86
T3-S2	229	4.60	1054.42	384862.45
C3	47	5.39	250.81	91545.44
C2	204	0.29	59.94	21877.14
Bus C2	66	0.88	57.74	21075.38
C2+	76	0.002	0.16	60.15

% Crecimiento	4.43%
Periodo de diseño (años)	8
Fc	9.36

Tipo de Vehículo	EEQ Aaunales	Factor crecimiento	EEQ diseño
C2+	86823.86	9.36	812376.6177
C2	384862.4551	9.36	3601006.198
C3	91545.43752	9.36	856554.5567
T3-S2	21877.14131	9.36	204695.7837
T3-S3	21075.37851	9.36	197194.0053
Total			5671827.161

EEQ diseño total	Factor direccional	Factor carril	EEQ carril diseño
5671827.161	50%	100%	2835913.581

## AP- 118. CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

Ejes equivalente diarios y anuales SC 60012, estación 605+650.				
Tipo de vehículo	TPD	Mayor factor camión	EEQ diario	EEQ anual
T3-S3	5	2.72	13.24	4833.34
T3-S2	123	2.91	358.38	130808.98
C3	1	1.29	1.78	649.39
C2	6	0.02	0.13	46.26
Bus C2	0.23	0.23	0.05	19.50
C2+	1	No reportado	No reportado	No reportado

% Crecimiento	4.43%
Periodo de diseño (años)	8
Fc	9.36

Tipo de Vehículo	EEQ Aaunales	Factor crecimiento	EEQ diseño
C2+	4833.342733	9.36	45223.68185
C2	130808.9808	9.36	1223928.047
C3	649.3914286	9.36	6076.099501
T3-S2	46.25860552	9.36	432.8235291
T3-S3	19.49672235	9.36	182.4231422
Total			1275843.075

EEQ diseño total	Factor direccional	Factor carril	EEQ carril diseño
1275843.075	100%	100%	1275843.075

# AP- 119. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60012.

## 1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	
TPD: 2884	
TPD mayor a 2000	
Nivel de confianza R (%):	90

## 2. Desviación estándar según AASHTO93

Rehabilitación pav. flexible	
So:	0.49

## 3. EEQ de diseño

EEQ :	2835913.58
-------	------------

## 4. Módulo de Rígidez efectivo de la subrasante

CBR	8.2
MRSubrasante (psi)	11644

## 5. ΔPSI

PSI Inicial	4.2
PSI Final	2.5
ΔPSI	1.7

## 6. MRBase

CBR Base	82
MR Base (psi)	28000
a <sub>2</sub>	0.137

Valor de CBR obtenido de ensayos de laboratorio

	W <sub>18</sub>	SN	P <sub>t</sub>	M <sub>R</sub> (psi)	R (%)	Z <sub>r</sub>	So	log (W <sub>18</sub> )	Z <sub>r</sub> *So	2.32logMR	log(W <sub>18</sub> )	SN requerido	Diferencia
s/subrasante (SN3)	2.84E+06	3.550	2.50	11644	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.433	6.450	3.55	3.13E-03
s/subbase (SN2)	2.84E+06	2.880	2.50	20000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.978	6.444	2.88	8.36E-03
s/base (SN1)	2.84E+06	2.540	2.50	28000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	10.317	6.455	2.54	-2.3E-03

EEQ	SN Requerido
2.84E+06	3.55

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	SN por capa	SN acum.
Carpeta asfáltica actual	0.39	1	16.5	17	2.61	2.61
Base	0.137	1	5.0	25	1.35	3.96
Subbase	0.138	1	-7.5	27	1.47	5.43

SN Requerido	3.55
SN existente	5.43
ΔSN	-1.88

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	SN por capa	SN acum.
Sobrecapa asfáltica	0.54	1	-8.82	6.00	1.28	1.28
Carpeta	0.39	1	16.5	12	1.84	3.12
Base	0.137	1	5.0	25	1.35	4.47
Subbase	0.138	1	-7.5	27	1.47	5.93

EEQ	SN Propuesto
2.84E+06	5.93

## 7. MRSubbase

CBR Sub-base	90
MR Sub-base	20000
a <sub>3</sub>	0.138

## 8. MR carpeta asfáltica

M <sub>R</sub> mezcla asfáltica actual (psi)	36158
a <sub>1</sub>	0.39
M <sub>R</sub> Mezcla con polímeros (psi)	750000
a <sub>5</sub>	0.54

Obtenido del retrocalculo

## 9. Coeficiente de drenajem<sub>i</sub>

Calidad de drenaje	Bueno
Exposicion	25%
m <sub>i</sub>	1

más

## 10. propiedades de los materiales existentes

Material	M <sub>R</sub> (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Carpeta Asfáltica	363158	0.390	1
Base	28000	0.137	1
Subbase	20000	0.138	1
Subrasante	11644	-	-

## Parámetros de diseño

EEQ	2.84.E+06
pt	2.5
R(%)	90
So	0.49
Z <sub>r</sub>	-1.282

## AP- 120. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60012.

1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	
TPD: 2884	
TPD mayor a 2000	
Nivel de confianza R (%):	90

2. Desviación estándar según AASHTO93

Rehabilitación Pav. Flexible	
So:	0.49

3. EEQ de diseño

EEQ :	2.84.E+06
-------	-----------

4. Módulo de Rigidez efectivo de la subrasante

CBR	8.2
M <sub>R</sub> Subrasante (psi)	11644

5. ΔPSI

Psi Inicial	4.2
PSI Final	2.5
ΔPSI	1.7

6. MRBase

CBR Base	82
MR Base (psi)	28000
a <sub>2</sub>	0.137

Valor de CBR obtenido de ensayos de laboratorio

7. MRSubbase

CBR Sub-base	90
MR Sub-base	20000
a <sub>3</sub>	0.138

8. MR carpeta asfáltica Existente

M <sub>R</sub> carpeta Asfáltica	366158
a <sub>1</sub>	0.39

9. Coeficiente de drenaje mi

Calidad de drenaje	Bueno
Exposicion	25%
mi	1

más

10. Propiedades y factores de los materiales existentes

Material	MR (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Carpeta asfáltica	353158	0.390	1
Base	28000	0.137	1
Sub-base	20000	0.138	1
Sub-rasante	11644	x	x

Datos de diseño	
EEq.	2.84E+06
Pt	2.50
R (%)	90
So	0.49
Zr	-1.282

	W18	pt	MR (psi)	R (%)	Zr	So	log (W18)	Zr*So	2.32logMR	log(W18)	SN requerido	diferencia
s/subrasante (SN3)	2.84E+06	2.50	11644	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.433	6.450	3.55	3.13E-03
s/subbase (SN2)	2.84E+06	2.50	20000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.978	6.444	2.88	8.36E-03
s/base (SN1)	2.84E+06	2.50	28000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	10.317	6.455	2.54	-2.3.E-03

EEQ	SN Requerido
2.84E+06	3.55

Capa	ai	mi	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	SN por capa	SN acum.
Carpeta asfáltica	0.39	1	16.5	17	2.61	2.61
Base	0.137	1	5.0	25	1.35	3.96
Subbase	0.138	1	-7.5	27	1.47	<b>5.43</b>

SN Requerido	3.55
SN existente	5.43
$\Delta$ SN	-1.88

Capa	ai	mi	Cálculo	Diseño	SN por capa	SN acum.
sobrecapa con polímeros	0.54	1	-8.82	6.00	1.28	1.28
Carpeta Asfáltica actual	0.39	1	16.5	17	2.61	3.89
Base	0.137	1	5.0	25	1.35	5.23
Subbase	0.138	1	-7.5	27	1.47	<b>6.70</b>

EEQ	SN Propuesto
2.84E+06	6.70

## AP- 121. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO 1993 PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60012

1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	
TPD: 2884	
TPD mayor a 2000	
Nivel de confianza R (%):	90

2. Desviación estándar según AASHTO93

Pav. Flexible	
So:	0.49

3. EEQ de diseño

EEQ :	2.84.E+06
-------	-----------

Módulo de Rígidez efectivo de la subrasante

CBR	8.2
$M_R$ Subrasante (psi)	11644

5.  $\Delta$ PSI

Psi Inicial	4.2
PSI Final	2.5
$\Delta$ PSI	1.7

6. MRBase

CBR Base	82
$M_R$ Base (psi)	28000
$a_2$	0.137

Valor de CBR obtenido de ensayos de laboratorio

Ecuación de diseño

	$W_{18}$	SN	$P_t$	$M_R$ (psi)	R (%)	Zr	So	$\log(W_{18})$	Zr*So	2.32logMR	$\log(W_{18})$	SN requerido	Diferencia
s/subrasante (SN3)	2.84.E+06	3.55	2.5	11644	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.433	6.449	<b>3.55</b>	3.35.E-03
s/subbase (SN2)	2.84.E+06	2.88	2.5	20000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	9.978	6.444	2.88	8.58.E-03
s/base(SN1)	2.84.E+06	2.54	2.5	28000	90	1.282	0.49	6.453	-0.628	10.317	6.455	2.54	-2.05.E-03

7. MRSubbase

CBR Sub-base	90
MR Sub-base	20000
$a_3$	0.138

8. MR carpeta asfáltica

$M_R$ Mezcla asfáltica con polímeros (psi)	750000
$a_1$	0.54

Valores obtenidos del oficio LM-PI-055-2017 UCR

9. Coeficiente de drenaje  $m_i$

Calidad de drenaje	Bueno	más
Exposición	25%	
$m_i$	1	

10. Propiedades y factores de los materiales

Material	MR (psi)	ai	mi
Carpeta Asfáltica	750000	0.540	1
Base	28000	0.137	1
Subbase	20000	0.138	1
Subrasante	11644	-	-

Parámetros de diseño	
EEQ	2.84.E+06
pt	2.5
R(%)	90
So	0.49
Zr	-1.282

EEQ	SN requerido
2.84.E+06	3.55

Capa	$a_i$	$m_i$	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Carpeta asfáltica con polímero	0.540	1	11.9	13	2.76	2.76
Base	0.137	1	2.2	25	1.35	4.11
Subbase	0.138	1	-10.3	27	1.47	5.58

EEQ	SN propuesto
2.84.E+06	5.58

## AP- 122. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO 1993 PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012.

Parámetros de diseño	
MR sub-base(psi)	28000
Espesor sub-base (in)	10.5
Perdida de soporte Ls	1.5
Corrección por estrato estrato rígido	No
Espesor losa propuesto(in)	8.5

### 1. EEQ de diseño

EEQ	2.8.E+06
-----	----------

### 2. Modulo efectivo K

Mes	MR subrasante (psi)	MR subbase (psi)	Valor k	Daño relativo uf
Enero-Diciembre	11644	28000	600	0.44

Uf	0.44
k	600
K efectivo (pci)	95

### 3. Nivel de confianza

Zona:	Ruta primaria
TPD:	Mayor a 2000
Nivel de confianza (R):	90

### 4. Desviación estándar

Pav rígido	
So	0.35

### 5. ΔPSI

Psi Inicial	4.5
PSI Final	2.5
ΔPSI	2

### 6. Coeficiente de transferencia carga

J	3.2
---	-----

Espaldones asfáltico  
Con dovelas para transferencia de cargas transversales

### 7. Coeficiente de drenaje

Cd	1
Exposición a la lluvia	más del 25%
Calidad de drenaje	Bueno

### 8. Módulo de concreto hidráulico f'c

f'c (psi)	3982.54	Resistencia a la compresión a los 28 días CR-2010 501
Módulo de rigidez Ec	3597120.02	

### 9. Módulo de ruptura

Sc (psi)	644.97
----------	--------

10. Ecuación de diseño

**A**

MONOGRAFIA SOLVIB:

$$\log_{10} W_{18} = \frac{F_{R_{SO}} + 7.35 \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{0.45}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log_{10} \left[ \frac{S_c + C_d \left[ D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 \cdot J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]}{1}$$

Parámetros importantes	
Zr	-1.282
So	0.350
ΔPSI	2.000
pt	2.500
Sc (psi)	644.97
Cd	1
Ec (psi)	3597120
k(pci)	95
J	3.2
D (in)	8.400

LOG10(W <sub>18</sub> )	A	Diferencia	Cumple.
6.45269299	6.458236732	-6.E-03	

# AP- 123. DISEÑO DE ACERO TRANSVERSAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.

## 1. Dovela Crítica

Propiedades importantes	
Módulo de rigidez del concreto $E_{cp(9)}$	3597120.02
Coefficiente Poisson del concreto ( $\mu$ )	0.15
Módulo efectivo de la subrasante k (pci)	95

Datos de diseño	
Espesor de losa D (in)	12
Recubrimiento (in)	6
Ancho de carril (in)	147.64
Separación de dovelas propuesta(in)	11.81
Número de dovela propuesta	8

Condiciones de carga.	
Eje simple (lb)	22064
Carga P (lb)	5516.0
Separación entre llantas (in)	72

Razón de rigidez relativa l (in):	48.60
Longitud efectiva (in)	87.48
# dovelas activas por carga izquierda	8
# dovelas activas por carga derecha	12

Factores de contribución de carga $R_{ci}$ Carga izquierda		
Dovela	Distancia x (m)	$R_{ci}$
1	0	1
2	11.81	0.86
3	23.62	0.73
4	35.43	0.59
5	47.24	0.46
6	59.05	0.32
7	70.86	0.19
8	82.67	0.05
	ND	4.22

Factores de carga vehicular $P_{di}$ carga izquierda	
$P_{d1}$ (lb)	1307.17
$P_{d2}$ (lb)	1130.69
$P_{d3}$	954.21
$P_{d4}$	777.73
$P_{d5}$ (lb)	601.26
$P_{d6}$ (lb)	424.78
$P_{d7}$ (lb)	248.30
$P_{d8}$ (lb)	71.82
$\Sigma$	5516

Factores de contribución de carga $R_{ci}$ Derecha		
Dovela	Distancia x (m)	$R_{ci}$
1	0	0.19
2	11.81	0.32
3	23.62	0.46
4	35.43	0.59
5	47.24	0.73
6	59.05	0.86
7	70.86	1.00
8	82.67	0.86
9	94.48	0.73
10	106.29	0.59
11	118.1	0.46
12	129.91	0.32
	ND	6.95

Factores de carga vehicular $P_{d}$ derecha	
$P_{d1}$ (lb)	150.765
$P_{d2}$ (lb)	257.919
$P_{d3}$ (lb)	365.073
$P_{d4}$ (lb)	472.228
$P_{d5}$ (lb)	579.382
$P_{d6}$ (lb)	686.536
$P_{d7}$ (lb)	793.690
$P_{d8}$ (lb)	686.536
$P_{d9}$ (lb)	579.382
$P_{d10}$ (lb)	472.228
$P_{d11}$ (lb)	365.073
$P_{d12}$ (lb)	257.919
$\Sigma$	0

### Superposición de fuerzas para encontrar dovela crítica

Dovela	Carga izquierda (lb)	Carga derecha(lb)	Superposición
1	1307.17	150.77	1457.93
2	1130.69	257.92	1388.61
3	954.21	365.07	1319.29
4	777.73	472.23	1249.96
5	601.26	579.38	1180.64
6	424.78	686.54	1111.32
7	248.30	793.69	1041.99
8	71.82	686.54	758.36
9	-	579.38	579.38
10	-	472.23	472.23
11	-	365.07	365.07
12	-	257.92	257.92
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-

Dovela Crítica

## 2. Esfuerzo en dovela Crítica

Parámetros de diseño	
Módulo de interacción concreto/dovela $k_d$ (pci)	1000000
Carga Crítica en dovela crítica (lb)	1457.93
Módulo de rigidez del acero E (psi)	29000000
$f'c$ (psi)	3982.54
ancho de junta z (in)	0.15
Diametro dovel prop $A_{s,req}$ (bulg)	1.000
Momento de inercia de la dovela I (in <sup>4</sup> )	0.049
$\beta$	0.647

Esfuerzo en dovela crítica	
$\sigma_b$	1979.25

## 3. Resistencia de la dovela

Resistencia de la dovela	
F.S	2
Fb	3982.54
$f_b > \sigma_b$	Cumple

Solución: Colocar Varillas #8@30 refuerzo transversal.

## AP- 124. DISEÑO DE ACERO LONGITUDINAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.

### 1. Acero de refuerzo Longitudinal

Parámetros de diseño.	
$\gamma_c$ (psi)	0.09
Espesor de losa h (in)	8.4
Distancia borde libre $L'x$ (in)	147.6
Factor de fricción losa/capa soporte fa	1.5
Resistencia del acero f's acero G40 (psi)	27000

Nota: Se supone espaldon asfáltico

### 2. Acero en sección transversal $A_{s\ req}$

$$A_{s\ req} \text{ (in}^2\text{/ft)} = 0.0061992$$

### 3. Acero propuesto $A_{s\ prop}$

Se proponen acero #4 @ 60 cm

$$A_{\#4} \text{ (in}^2\text{)} = 0.197$$

$$\text{Separación (cm)} = 60$$

$$A_{s\ prop} \text{ (in}^2\text{/ft)} = 0.0985$$

$$A_{s\ prop} > A_{s\ req} \quad \text{Cumple}$$

Solución: Colocar Varillas #4@60 para refuerzo longitudinal

## AP- 125. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 1 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	TPD: 139
TPD menor a 500	
Nivel de confianza % (R)	75

2. Desviación estándar según AASHTO93

Pav. Semi-rígido	
So	0.49

3. EEQ de diseño

EEQ Carril de diseño	1.28.E+06
----------------------	-----------

4. Módulo de Rigidez efectivo de la subrasante

CBR prestamo	84.7	Según correlación con CBR
MRprestamo (psi)	43776.02	

5. ΔPSI

Psi Inicial	4.3
Psi Final	2
ΔPSI	2.3

6. M<sub>R</sub>Base BE-25 CR-2010(sección 302)

CBR Base estabilizada	76.5	Según resultados de laboratorio 30 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días
f'c (psi)	426.7	
MR Inicial (psi)	610000	Según Nomograma AASHTO
a <sub>2</sub>	0.158	

7. MR Sub-base

CBR Sub-base	96.7	Según resultado de laboratorio
M <sub>R</sub> Sub-base	21000	
a <sub>3</sub>	0.139	Según Nomograma AASHTO

8. MR Mezcla Asfáltica

MR carpeta asfáltica actual(psi)	239226.9	Según módulo retrocalculado
a <sub>1</sub>	0.39	
MR Mezcla asfáltica con polímeros(psi)	7500000	Según Nomograma AASHTO
a <sub>5</sub>	0.54	

Valor obtenido del oficio LM-PI-055-2017 UCR

9. Coeficiente de drenajem<sub>1</sub>

Calidad de drenaje	Justo	más
Exposicion	25%	
m <sub>1</sub>	0.8	

10. Módulo de rigidez y factores de diseño para materiales existentes

Material	M <sub>R</sub> (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Carpeta Asfáltica	239226.9	0.390	1
Base estabilizada	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Prestamo	43776	-	-

Parámetros de diseño	
EEQ	1.28.E+06
pt	2
R(%)	75
So	0.49
Z <sub>r</sub>	-0.674

Ecuación de diseño

	W <sub>18</sub>	SN	P <sub>1</sub>	M <sub>R</sub> (psi)	R (%)	Z <sub>r</sub>	So	log (W <sub>18</sub> )	Z <sub>r</sub> *So	2.32logMR	log(W <sub>18</sub> )	SN requerido	Diferencia
s/subrasante (SN3)	1.28E+06	1.640	2.00	43776	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	10.768	6.104	1.64	1.71E-03
s/subbase (SN2)	1.28E+06	2.180	2.00	21000	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	10.028	6.107	2.18	-1.51E-03
s/base (SN1)	1.28E+06	0.370	2.00	610000	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	13.422	6.101	0.37	4.95E-03

EEQ	SN Requerido
1.28E+06	<b>1.640</b>

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Carpeta asfáltica actual	0.32	1	2.9	11	1.39	1.39
Base estabilizada con cemento	0.158	0.8	16.0	23	1.14	2.53
Subbase	0.139	0.8	-20.3	20	0.88	<b>3.41</b>

SN Requerido	1.64
SN existente	3.41
ΔSN	-1.77

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Sobrecapa asfáltica con polímeros	0.54	1	-8.31	6.00	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	0.32	1	2.9	6	0.76	2.03
Base estabilizada	0.158	0.8	16.0	23	1.14	3.18
Subbase	0.139	0.8	-20.3	20	0.88	4.05

SN propuesto	<b>4.05</b>
--------------	-------------

## AP- 126. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 2 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	TPD: 139
	TPD menor a 500
Nivel de confianza % (R)	75

2. Desviación estándar según AASHTO93

Pav. Semi-rígido	
So	0.49

3. EEQ de diseño

EEQ Carril de diseño	1.28.E+06
----------------------	-----------

4. Módulo de Rigidez efectivo de la subrasante

CBR prestamo	84.7
MRprestamo (psi)	43776.02

Según correlación con CBR

5. ΔPSI

Psi Inicial	4.3
PSI Final	2
ΔPSI	2.3

6. M<sub>R</sub>Base BE-25 CR-2010(sección 302)

CBR Base estabilizada	76.5
f'c (psi)	426.7
MR Inicial (psi)	610000
a <sub>2</sub>	0.158

Según resultados de laboratorio  
30 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días  
Según Nomograma AASHTO

7. MR Sub-base

CBR Sub-base	96.7
M <sub>R</sub> Sub-base	21000
a <sub>3</sub>	0.139

Según resultado de laboratorio

Según Nomograma AASHTO

8. MR Mezcla Asfáltica

MR carpeta asfáltica actual(psi)	239226.9
a <sub>1</sub>	0.39
MR Mezcla asfáltica con polímeros(psi)	7500000
a <sub>5</sub>	0.54

Según módulo retrocalculado  
Según Nomograma AASHTO

Valor obtenido del oficio LM-PI-055-2017 UCR

9. Coeficiente de drenaje m<sub>1</sub>

Calidad de drenaje	Justo
Exposicion	25%
m <sub>1</sub>	0.8

más

10. Módulo de rigidez y factores de diseño para materiales existentes

Material	M <sub>R</sub> (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Carpeta Asfáltica	239226.9	0.390	1
Base estabilizada	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Prestamo	43776	-	-

Parámetros de diseño	
EEQ	1.28.E+06
pt	2
R(%)	75
So	0.49
Zr	-0.674

Ecuación de diseño

	W <sub>18</sub>	SN	P <sub>t</sub>	M <sub>R</sub> (psi)	R (%)	Zr	So	log (W <sub>18</sub> )	Zr*So	2.32logMR	log(W <sub>18</sub> )	SN requerido	Diferencia
s/subrasante (SN3)	1.28E+06	1.640	2.00	43776	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	10.768	6.104	1.64	1.71E-03
s/subbase (SN2)	1.28E+06	2.180	2.00	21000	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	10.028	6.107	2.18	-1.51E-03
s/base (SN1)	1.28E+06	0.370	2.00	610000	75	0.674	0.49	6.106	-0.330	13.422	6.101	0.37	4.95E-03

EEQ	SN Requerido
1.28E+06	1.640

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Carpeta asfáltica actual	0.32	1	2.9	11	1.39	1.39
Base estabilizada con cemento	0.158	0.8	16.0	23	1.14	2.53
Subbase	0.139	0.8	-20.3	20	0.88	3.41

SN Requerido	1.64
SN existente	3.41
ΔSN	-1.77

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Sobrecapa asfáltica con polímeros	0.54	1	-8.31	6.00	1.28	1.28
Carpeta asfáltica actual	0.32	1	2.9	11	1.39	2.66
Base estabilizada	0.158	0.8	16.0	23	1.14	3.81
Subbase	0.139	0.8	-20.3	20	0.88	4.68

SN propuesto	4.68
--------------	------

## AP- 127. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 3 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

1. Nivel de confianza según DVOP 5170

Ruta Primaria	TPD: 139
TPD menor a 500	
Nivel de confianza % (R)	75

2. Desviación estándar según AASHTO93

Pav. Semi-rígido	
So	0.49

3. EEQ de diseño

EEQ Carril de diseño	1.28.E+06
----------------------	-----------

4. Módulo de Rigidez efectivo de la subrasante

CBR prestamo	84.7	Según correlación con CBR
MRprestamo (psi)	43776.02	

5. ΔPSI

Psi Inicial	4.3
PSI Final	2
ΔPSI	2.3

6. MRBase BE-25 CR-2010(sección 302)

CBR Base estabilizada	76.5	Según resultados de laboratorio 30 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días
f'c (psi)	426.7	
MR Inicial (psi)	610000	Según Nomograma AASHTO
a <sub>2</sub>	0.158	

7. MRSubbase

CBR Sub-base	96.7	Según resultado de laboratorio
MR Sub-base	21000	
a <sub>3</sub>	0.139	

8. MR asfalto Modificado

M <sub>R</sub> Mezcla asfáltica con polímero	750000	Valor obtenido del oficio LM-PI-055-2017 UCR
a <sub>1</sub>	0.54	

9. Coeficiente de drenajem mi

Calidad de drenaje	Justo	más
Exposicion	25%	
mi	0.8	

10. Módulo de rigidez y factores de diseño para materiales

Material	MR (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Carpeta Asfáltica con polímero	750000	0.540	1
Base estabilizada	610000	0.158	0.8
Sub-base	21000	0.139	0.8
Prestamo	43776	-	-

Parámetros de diseño

EEQ	1.28.E+06
pt	2
R(%)	75
So	0.49
Z <sub>r</sub>	-0.674

	W <sub>18</sub>	P <sub>t</sub>	M <sub>R</sub> (psi)	R (%)	Z <sub>r</sub>	So	log(W <sub>18</sub> )	Z <sub>r</sub> *So	2.32logMR	log(W <sub>18</sub> )	SN requerido	Diferencia
s/subrasante (SN3)	1.28.E+06	2	43776	75	0.674	0.49	6.10580	-0.330	10.76767	6.10433	1.64	1.47.E-03
s/subbase (SN2)	1.28.E+06	2	21000	75	0.674	0.49	6.10580	-0.330	10.02755	6.10755	2.18	-1.75.E-03
s/base (SN1)	1.28.E+06	2	610000	75	0.674	0.49	6.10580	-0.330	13.42197	6.10108	0.37	4.71.E-03

EEQ	SN requerido
1.28.E+06	1.64

Capa	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	Espesor teórico (cm)	Espesor propuesto (cm)	Sn por capa	SN acumulado
Carpeta afáltica con polímeros	0.540	1	1.7	10	2.13	2.13
Base estabilizada con cemento	0.158	0.8	1.1	23	1.14	3.27
Sub-base	0.139	0.8	-37.2	20	0.88	4.15

EEQ	SN propuesto
1.28.E+06	4.15

## AP- 128. DISEÑO AASHTO DE LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

Parámetros de diseño	
MR sub-base (psi)	21000
Espesor (in)	8
Perdida de soporte LS	0.5
Estrato Rígido	No
Espesor losa propuesto (in)	5.5

1. EEQ de diseño

EEQ                    1.28.E+06

2. Modulo de reacción K

Mes	MR subrasante (psi)	MR sub-base (psi)	Valor k	Daño relativo $u_f$
Enero-Diciembre	43776	21000	1500	0.035

$U_f$	0.035
k	1500
K efectivo	600

3. Nivel de confianza

Ruta Primaria	TPD: 139
TPD menor a 500	
Nivel de confianza % (R)	75

4. Desviación estándar

Pav rígido	
So	0.35

5.  $\Delta$ PSI

Psi Inicial	4.5
PSI Final	2
$\Delta$ PSI	2.5

6. Coeficiente de transferencia carga

J	3.2
---	-----

Espaldones asfáltico

Con dovelas para transferencia de cargas transversales

7. Coeficiente de drenaje

Exposición a la lluvia	más del 25%
Calidad de drenaje	Justo
Cd	0.9

8. Módulo de concreto hidraulico f'c

Resistencia a la compresión a los 28 días

f'c (psi)	3982.54
Módulo de rigidez Ec (psi)	3597120.02

9. Módulo de ruptura

Sc (psi)	644.974721
----------	------------

$$\log_{10} W_{18} = 5.8 \log_{10} S_o + 7.35 \log_{10} (D+1) - 0.06 + \frac{10 \log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{ PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{0.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t)^2 \cdot 10 \log_{10} \left[ \frac{S_c^2 + C_d \left[ D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 \cdot \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/A)^{0.25}} \right]} \right]$$

Parámetros importantes	
Zr	-0.674
So	0.35
$\Delta$ PSI	2.5
pt	2
Sc (psi)	644.97
Cd	0.9
Ec (psi)	3597120.02
k (pci)	500
J	3.2
D (in)	5.5

LOG10( $W_{18}$ )	A	Diferencia	Cumple.
6.10579726	6.102573616	3.E-03	

# AP- 129. DESARROLLO DEL DISEÑO DE DOVELAS PROPUESTO PARA LA ESTRATEGIA INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

## 1. Dovela Crítica

Propiedades importantes	
Módulo de rigidez del concreto $E_c$ (psi):	3597120.02
Coefficiente Poisson del concreto ( $\mu$ )	0.15
Módulo efectivo de la subrasante k (pci)	600

Datos de diseño	
Espesor de losa D (in)	12
Recubrimiento (in)	6
Ancho de carril (in)	165.35
Separación de dovelas propuesta(in)	11.81
Número de dovela propuesta	10

Condiciones de carga.	
Eje simple (lb)	18958.88
Carga P (lb)	4739.72
Separación entre llantas (in)	72

Razón de rigidez relativa I (in):	30.66
Longitud efectiva (in)	55.18
# dovelas activas por carga izquierda	5
# dovelas activas por carga derecha	10

Factores de contribución de carga Rci. Carga izquierda		
Dovela	Distancia x (in)	Rci
1	0	1
2	11.81	0.79
3	23.62	0.57
4	35.43	0.36
5	47.24	0.14
	ND	2.86

Factores de carga vehicular Pdi carga izquierda	
Pd1 (lb)	1657.39
Pd2 (lb)	1302.67
Pd3 (lb)	947.94
Pd4 (lb)	593.22
Pd5 (lb)	238.50
$\Sigma$	4740

Factores de contribución de carga Rci. Derecha		
Dovela	Distancia x (in)	Rci
3	23.62	0.14
4	35.43	0.36
5	47.24	0.57
6	59.05	0.79
7	70.86	1.00
8	82.67	0.79
9	94.48	0.57
10	106.29	0.36
11	118.1	0.14
	ND	4.72

Factores de carga vehicular Pdi derecha	
Pd <sub>3</sub> (lb)	144.52
Pd <sub>4</sub> (lb)	359.46
Pd <sub>5</sub> (lb)	574.40
Pd <sub>6</sub> (lb)	789.34
Pd <sub>7</sub> (lb)	1004.29
Pd <sub>8</sub> (lb)	789.34
Pd <sub>9</sub> (lb)	574.40
Pd <sub>10</sub> (lb)	359.46
Pd <sub>11</sub> (lb)	144.52
$\Sigma$	4739.72

## Superposición de fuerzas para encontrar dovela crítica

Dovela	Carga izquierda (lb)	Carga derecha(lb)	Superposición
1	1657.39	-	1657.39
2	1302.67	-	1302.67
3	947.94	144.52	1092.46
4	593.22	359.46	952.68
5	238.50	574.40	812.90
6	-	789.34	789.34
7	-	1004.29	1004.29
8	-	789.34	789.34
9	-	574.40	574.40
10	-	359.46	359.46
11	-	144.52	144.52
12	-	-	-
13	-	-	-

Dovela Crítica

## 2. Esfuerzo en dovela Crítica

Parámetros de diseño	
Módulo de interacción concreto/dovela kd (pci)	1000000
Carga Crítica en dovela crítica (lb)	1657.39
Módulo de rigidez del acero E (psi)	29000000
f'c (psi)	3982.54
ancho de junta z (in)	0.15
Diametro dovel prop As#12 (in)	1.250
Momento de inercia de la dovela (in <sup>4</sup> )	0.120
$\beta$	0.548

Esfuerzo en dovela crítica	
ob	1511.77

Resistencia de la dovela	
F.S	2
Fb	3650.66
fb>ob	Cumple

Solución: Colocar Varillas #10@30 para refuerzo transversal.

## AP- 130. DISEÑO DE AMARRE LONGITUDINAL PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

### 1. Acero de refuerzo Longitudinal

Parámetros de diseño.	
$\gamma_c$ (psi)	0.09
Espesor de losa h (in)	6
Distancia borde libre L'x (in)	165.35
Factor de fricción losa/capa soporte fa	1.5
Resistencia del acero f' s acero G40 (psi)	27000

Nota: Se supone espaldon asfáltico

Acero en sección transversal  $A_{s\ req}$

$$A_{s\ req} \text{ (in}^2\text{/ft)} \quad 0.0049605$$

Acero propuesto  $A_{s\ prop}$

Se proponen acero #3 @ 60 cm

$$A_{s\#3} \text{ (in}^2\text{)} \quad 0.11$$

$$\text{Separación (cm)} \quad 60$$

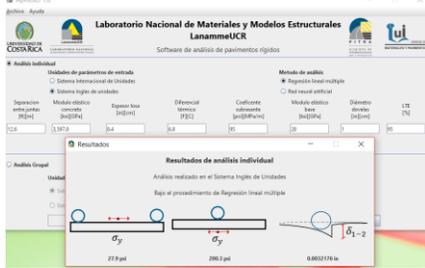
$$A_{s\ prop} \text{ (in}^2\text{/ft)} \quad 0.055$$

$$A_{s\ prop} > A_{s\ req} \quad \text{Cumple}$$

Solución: Colocar Varillas #3@60 para refuerzo longitudinal

# AP- 131. REVISIÓN DE LOS MODELOS DE DESEMPEÑO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60012, ESTACIÓN 605+650.

Primer iteración esfuerzos en losa H=8.4 in



$\sigma$  máximo 203.3  
 $N_{18}$  2.8.E+06

### 1. Modelo de escalonamiento

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)	203.3	
Espaciamiento entre juntas JS (ft)	12.6	
Módulo reacción efectivo subrasante K (pci)	95	
Resultado obtenido para el modelo.		
F	-0.05	<b>Cumple</b>

### 2. Modelo de bombeo

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7.)	0	
Precipitación anual (cm)	570.4	
Espesor de losa (in)	8.4	
Índice de congelamiento	0	
Resultado obtenido para el modelo		
PI	2	<b>No cumple</b>

### 2. Modelo de bombeo

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3. 1: suelo A-4 hasta A-7.)	0	
Precipitación anual (cm)	570.4	
Espesor de losa (in)	12	
Índice de congelamiento	0	
Resultado obtenido para el modelo		
PI	1	<b>Cumple</b>

### 3. Modelo de fatiga

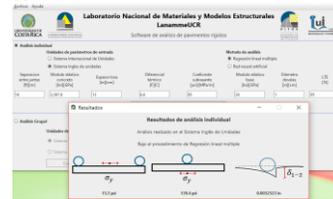
Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97	
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	139.4	
Relación de esfuerzos SR	0.22	
N	1.3E+17	
$N > N_{18}$		<b>Cumple</b>

### 3. Modelo de fatiga

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97	
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	203.3	
Relación de esfuerzos SR	0.315	
N	1.2E+13	
$N > N_{18}$		<b>Cumple</b>

Nota: El modelo No cumple por bombeo, por lo tanto se cambia el espesor de losa a 12 in y se revisan los modelos de desempeño.

### Segunda iteración esfuerzos en la losa H=12 in



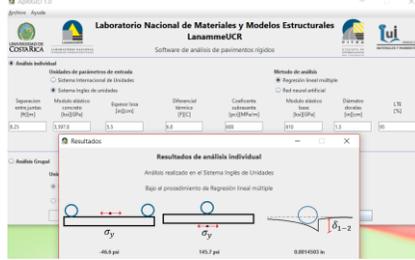
$\sigma$  máximo 139.4  
 $N_{18}$  2.8.E+06

### 1. Modelo de escalonamiento

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	2.8	
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)	139.4	
Espaciamiento entre juntas JS (ft)	18.00	
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)	95	
Resultados obtenidos del modelo.		
F	-0.05	<b>Cumple</b>

# AP- 132. REVISIÓN DE LOS MODELOS DESEMPÑO PARA LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 4 EN LA SC 60001, ESTACIÓN 350+080.

Primer iteración esfuerzos en losa H=5.5 in



$\sigma$  máximo 145.7  
 $N_{18}$  1.3.E+06

### 1. Modelo de escalonamiento

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3	
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)	145.7	
Espaciamiento entre juntas JS (ft)	8.25	
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)	600	
Resultado obtenido para el modelo		
F	-0.10	<b>Cumple</b>

### 2. Modelo de bombeo

Parámetros de diseño.		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3	
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3, 1: suelo A-4 hasta A-7)	0	
Precipitación anual (cm)	542.1	
Espesor de losa (in)	5.5	
Índice de congelamiento	0	
Resultados obtenidos par el modelo.		
PI	3	<b>No cumple</b>

### 2. Modelo de bombeo

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3	
Tipo de suelo S, según AASHTO (0: suelo A-1 hasta A-3, 1: suelo A-4 hasta A-7)	0	
Precipitación anual (cm)	542.1	
Espesor de losa (in)	12	
Índice de congelamiento	0	
Resultados del modelo		
PI	1	<b>Cumple</b>

### 3. Modelo de fatiga

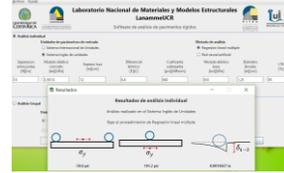
Parámetros de diseño	
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	101.2
Relación de esfuerzos SR	0.157
N	3.34E+20
$N > N_{18}$	<b>Cumple</b>

### 3. Modelo de fatiga

Parámetros de diseño.	
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3
Módulo de ruptura Concreto (psi)	644.97
Esfuerzo máximo en la losa (psi)	145.7
Relación de esfuerzos SR	0.226
N	4.27E+16
$N > N_{18}$	<b>Cumple</b>

Nota: El modelo No cumple por bombeo, por lo tanto se cambia el espesor de losa a 12 in y se revisan los modelos de fatiga

### Segunda iteración esfuerzos en la losa H=12 in



$\sigma$  máximo 101.2  
 $N_{18}$  1.3.E+06

### 1. Modelo de escalonamiento

Parámetros de diseño		
Ejes equivalentes $N_{18}$ en millones	1.3	
Esfuerzo máximo en la losa S (psi)	101.2	
Espaciamiento entre juntas JS (ft)	18.00	
Módulo reac efectivo subrasante K (pci)	600	
Resultados obtenidos del modelo		
F	-0.10	<b>Cumple</b>

# Anexos

A-1. Rodera presente en la sección de control 60012, estación 305+650. ....	208
A- 2. Desplazamiento de mezcla presente en la sección de control 60012, estación 305+650...	208
A- 3. Exudación presente en la sección de control 60012, estación 305+650.....	209
A- 4. Pulimiento de agregados presente en la sección de control 60012, estación 305+650. ....	209
A- 5. Tramo de la sección de control 60012, estación 305+650 bajo condiciones de lluvia. ....	210
A- 6. Tramo auscultado en la sección de control 60001, estación 350+080.....	210
A- 7. Paso de vehículo articulado por la estación de desinfección sanitaria en el tramo de la sección de control 60001, estación 350+080.....	211
A- 8. Exudación presente en la sección de control 60001, estación 350+080.....	211
A- 9. Desplazamiento de mezcla presente en la sección de control 60001, estación 350+080...	212
A- 10. Desprendimiento de agregados presente en la sección de control 60001, sección 350+080. .....	212
A- 11. Desplazamiento de mezcla asfáltica en la sección de control 60001, estación 350+080..	213
A- 12. Rodera en la sección de control 60001, estación 350+080. ....	213
A- 13. Condición del sistema de drenaje en la SC 60012, estación 605+650. ....	214
A- 14. Condición del sistema de drenaje en la SC 60001, estación 350+080. ....	215
A- 15. Condición de los núcleos de MAC recuperados en la SC 60012, estación 605+650.....	216
A- 16. Condición de los núcleos de MAC recuperados en la SC 60001, estación 350+080.....	216
A- 17. Gráfico para obtener el valor deducido en Roderas/Ahuellamiento. ....	217
A- 18. Gráfico para obtener el valor deducido de Corrimiento/desplazamiento.....	217
A- 19. Gráfico para obtener el valor deducido de exudación.....	218
A- 20. Gráfico para obtener el valor deducido de pulimiento de agregados. ....	218
A- 21. Gráfico para obtener el valor deducido en desprendimiento de agregados. ....	219
A- 22. Gráfico para obtener el valor deducido en baches. ....	219
A- 23. Gráfico para el cálculo del Valor Deducido Corregido (VDC). ....	220
A- 24. Niveles de comodidad de la humedad en el cantón de Golfito. ....	220
A- 25. Datos históricos del tiempo en el cantón de Golfito.....	221
A- 26. Precipitación de lluvia mensual promedio en el cantón de Corredores.....	221
A- 27. Niveles de comodidad de la humedad en el cantón de Corredores.....	222
A- 28. Datos históricos del tiempo en el cantón de Corredores. ....	222
A- 29. Clasificación de materiales según el sistema AASHTO.....	223
A- 30. Clasificación y uso de materiales según CBR. ....	223
A- 31. Correlaciones CBR-Módulo resiliente en suelos. ....	224
A- 32. Requisitos para préstamo seleccionado para acabado. ....	224
A- 33. Especificaciones de graduación para mezcla asfáltica en caliente por utilizar en superficies de ruedo y capas bases. ....	225

A- 34. Nomograma de la AAHSTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica actual en la SC 60012.....	226
A- 35. Nomograma de la AAHSTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica actual en la SC 60001.....	226
A- 36. Nomograma de la AAHSTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la base granular en la SC 60012. ....	226
A- 37. Nomograma de la AAHSTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la base estabilizada con cemento en la SC 60001. ....	227
A- 38. Nomogramas de la AASHTO 1993 para la determinación del módulo de rigidez y coeficiente estructural de la sub-base. ....	227
A- 39. Coeficientes de drenaje (mi) AASHTO 1993. ....	227
A- 40. Desviación normal estándar AASHTO 1993. ....	228
A- 41. Módulo de reacción compuesto de la subrasante. ....	228
A- 42. Daño relativo.....	229
A- 43. Factor de corrección por pérdida de soporte (LS). ....	229
A- 44. Módulo de reacción corregido por pérdida de soporte.....	230
A- 45. Coeficiente de transferencia de carga (J).....	230
A- 46. Coeficientes de drenaje Cd para pavimentos rígidos. ....	230
A- 47. Características de la SC 60012 para el software Grado de Desempeño.....	231
A- 48. Tabla de información de la SC 60012, estación 605+650 en el software Grado de Desempeño.....	231
A- 49. Grado por desempeño recomendado para la SC 60012, estación 605+650. ....	231
A- 50. Características de la SC 60001 para el software Grado de Desempeño.A-50. ....	232
A- 51. Tabla de información de la SC 60001, estación 350+080 en el software Grado de Desempeño.....	232
A- 52. Grado PG recomendado para la SC 60001, estación 350+080.....	232
A- 53. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido La Guaria-Río Claro. ....	233
A- 54. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido La Guaria-Río Claro. ....	234
A- 55. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido Río Claro- La Guaria. ....	235
A- 56. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido Río Claro- La Guaria. ....	236
A- 57. Reporte de deflexiones en la SC 60001, estación 350+080. ....	237
A- 58. Hoja para el conteo Vehicular en la SC 60012, estación 605+650. ....	238
A- 59. Hoja para el conteo vehicular en la SC 60001, estación 350+080.....	239
A- 60. Datos de tránsito de las estaciones temporales en rutas primarias. ....	239
A- 61. Factores camión promedio presentes en el oficio DVOP 5170.....	240
A- 62. Nivel de confianza e índice de servicio terminal. ....	240
A- 63. Índice de servicio inicial P <sub>o</sub> e índice de servicio terminal. ....	240
A- 64. Resumen de especificaciones para la colocación de dovelas. ....	241
A- 65. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos generados en la estructura de pavimento flexible. Intervención 1, SC 60012. ....	241

A- 66. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos generados en la estructura de pavimento flexible. Intervención 2, SC 60012. ....	242
A- 67. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimento flexible. Intervención 3, SC 60012. ....	242
A- 68. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimentos semi-rígidos. Intervención 1 SC 60001. ....	243
A- 69. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimentos semi-rígido. Intervención 2 SC 60001 ....	243
A- 70. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimento semi-rígido. Intervención 3 SC 60001. ....	244
A- 71. Estimación de costos licitación pública 2014LN-000018-0CV00. ....	245
A- 72. Identificación del proyecto para uno de los tramos estudiados en el software 3D Move...	246
A- 73. Configuración de carga en el software 3D-Move.....	246



**A-1.** Rodera presente en la sección de control 60012, estación 305+650.



**A- 2.** Desplazamiento de mezcla presente en la sección de control 60012, estación 305+650.



**A- 3.** *Exudación presente en la sección de control 60012, estación 305+650.*



**A- 4.** *Pulimiento de agregados presente en la sección de control 60012, estación 305+650.*



**A- 5.** Tramo de la sección de control 60012, estación 305+650 bajo condiciones de lluvia.



**A- 6.** Tramo auscultado en la sección de control 60001, estación 350+080.



**A- 7.** Paso de vehículo articulado por la estación de desinfección sanitaria en el tramo de la sección de control 60001, estación 350+080.



**A- 8.** Exudación presente en la sección de control 60001, estación 350+080.



**A- 9.** Desplazamiento de mezcla presente en la sección de control 60001, estación 350+080



**A- 10.** Desprendimiento de agregados presente en la sección de control 60001, sección 350+080.



**A- 11.** Desplazamiento de mezcla asfáltica en la sección de control 60001, estación 350+080.



**A- 12.** Rodera en la sección de control 60001, estación 350+080.



**A- 13.** *Condición del sistema de drenaje en la SC 60012, estación 605+650.*



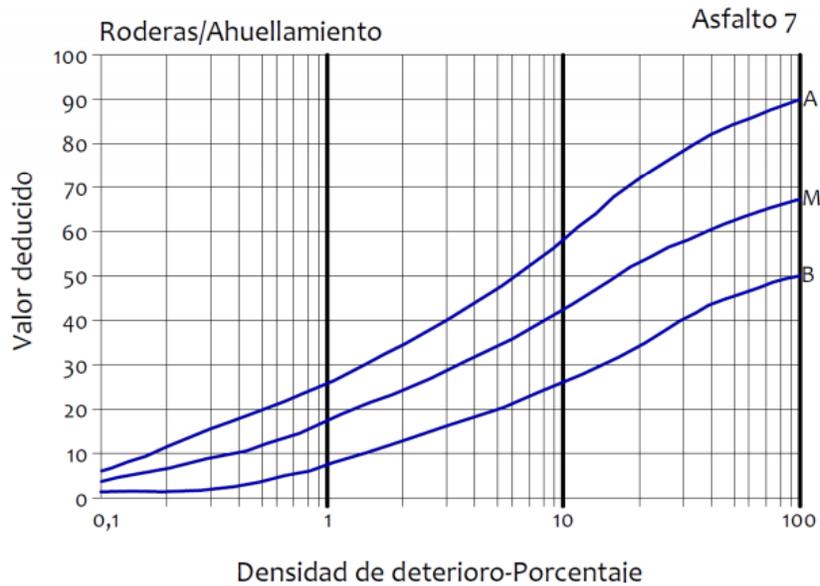
A- 14. Condición del sistema de drenaje en la SC 60001, estación 350+080.



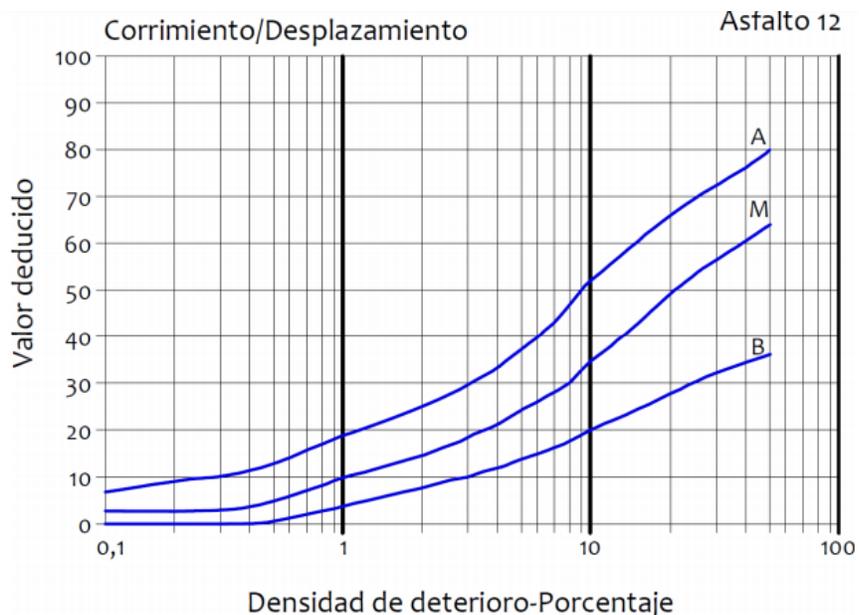
A- 15. Condición de los núcleos de MAC recuperados en la SC 60012, estación 605+650.



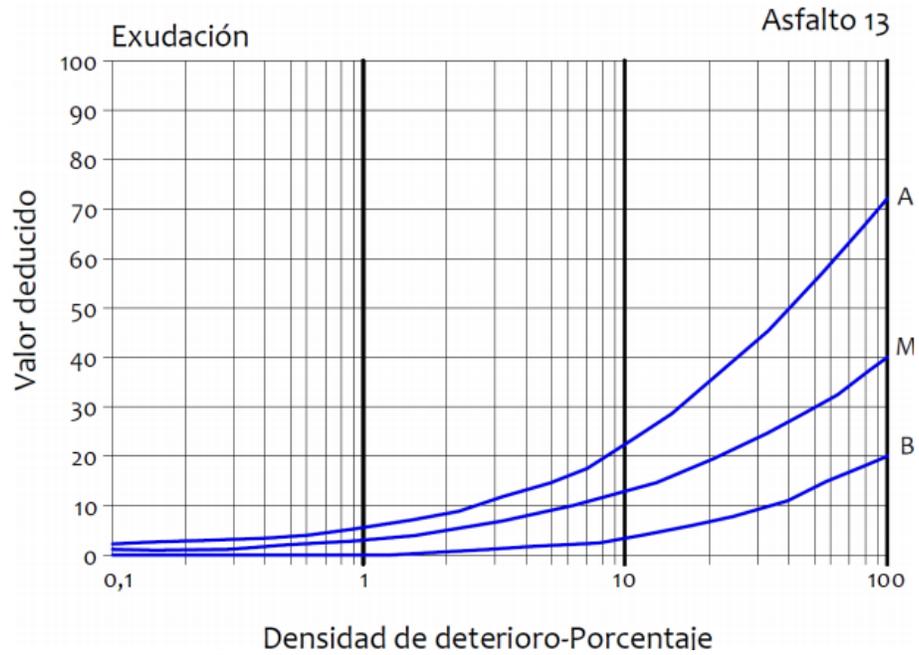
A- 16. Condición de los núcleos de MAC recuperados en la SC 60001, estación 350+080



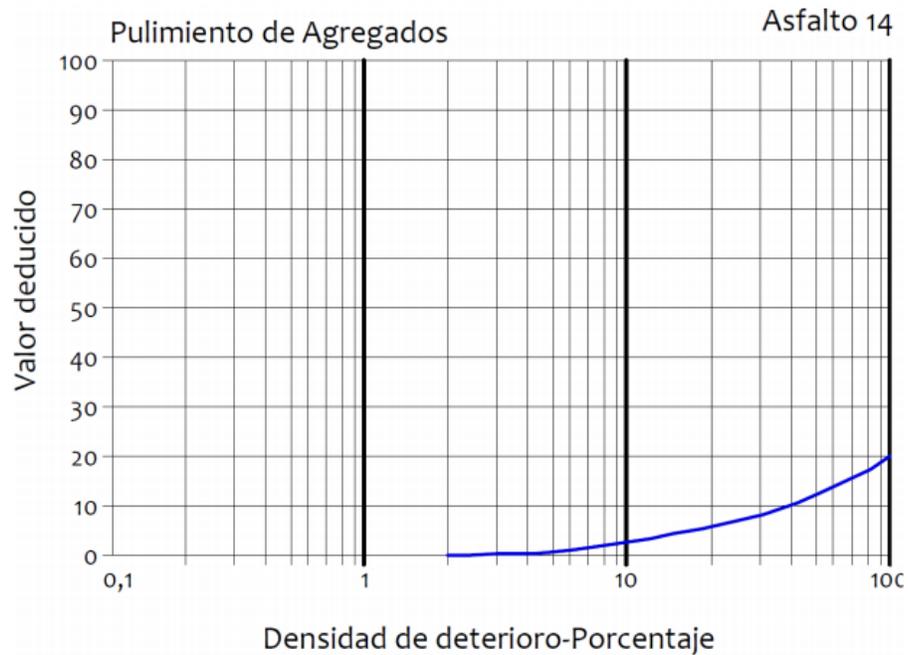
**A- 17.** Gráfico para obtener el valor deducido en Roderas/Ahuellamiento.



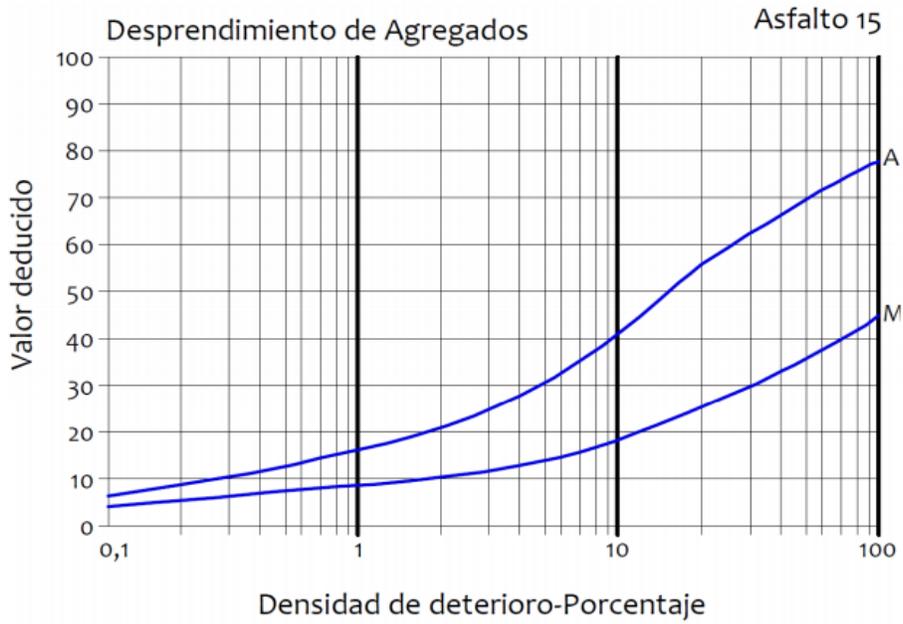
**A- 18.** Gráfico para obtener el valor deducido de Corrimiento/desplazamiento.



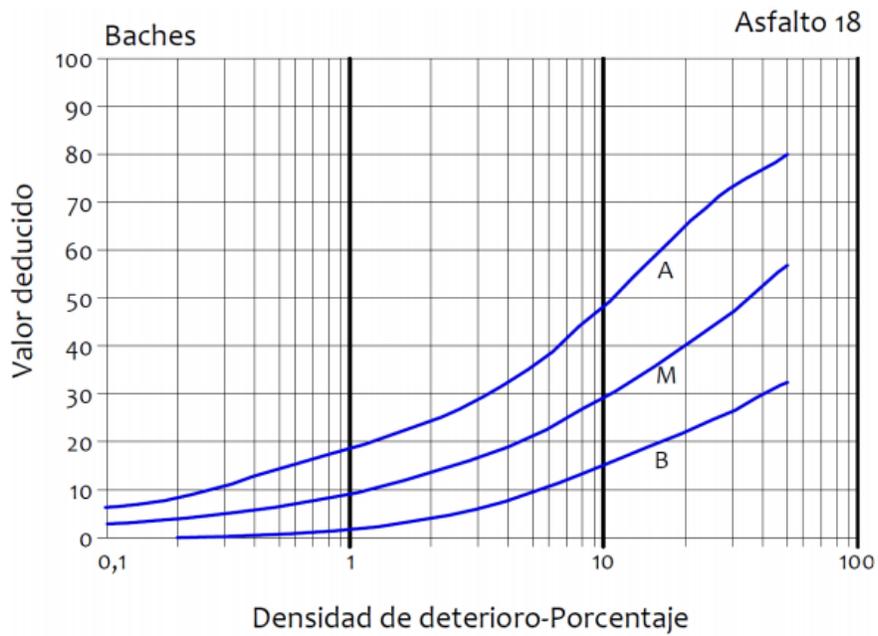
A- 19. Gráfico para obtener el valor deducido de exudación.



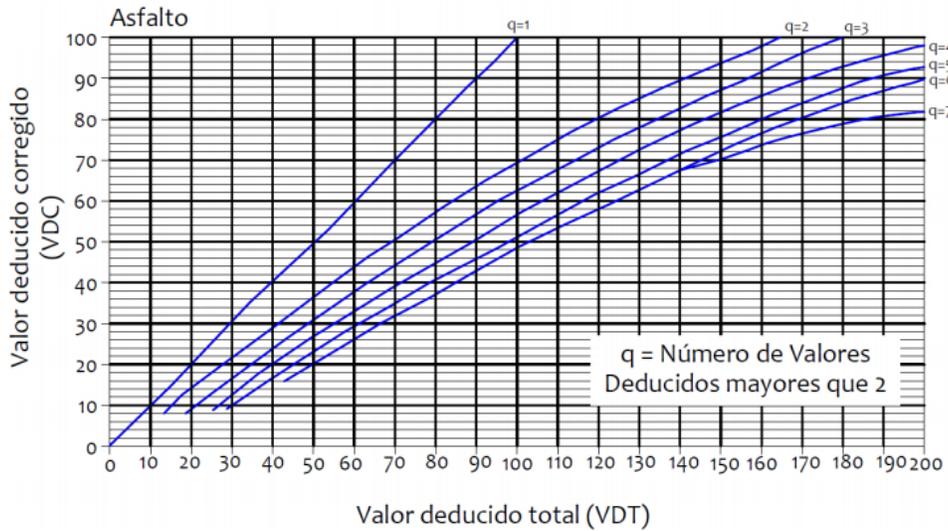
A- 20. Gráfico para obtener el valor deducido de pulimiento de agregados.



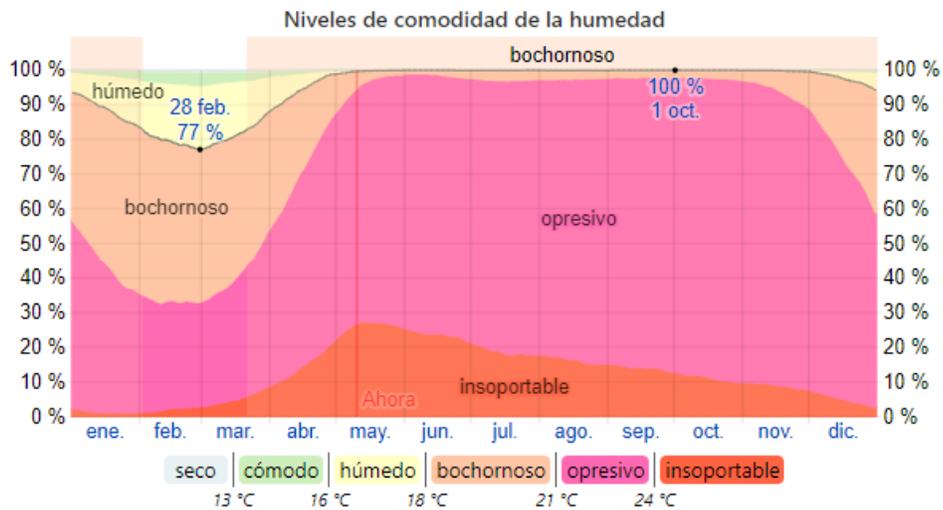
A- 21. Gráfico para obtener el valor deducido en desprendimiento de agregados.



A- 22. Gráfico para obtener el valor deducido en baches.



A- 23. Gráfico para el cálculo del Valor Deducido Corregido (VDC).



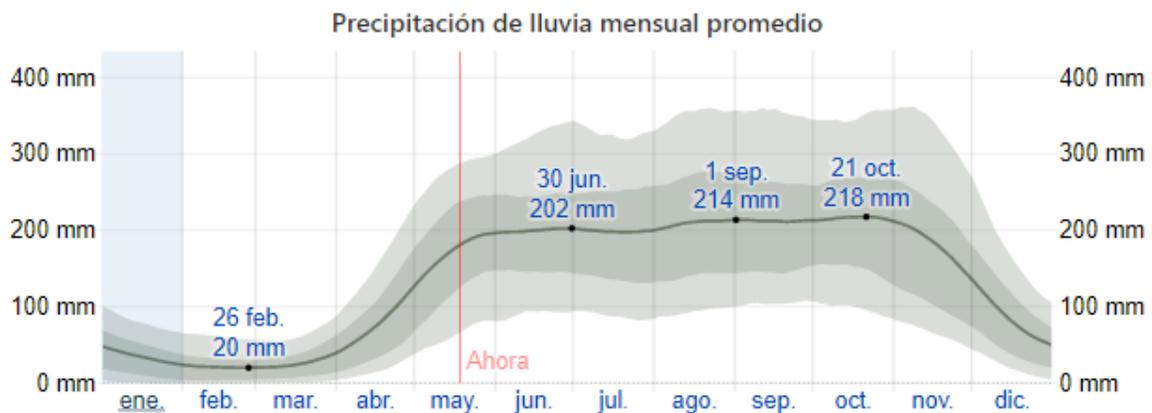
El porcentaje de tiempo pasado en varios niveles de comodidad de humedad, categorizado por el punto de rocío.

A- 24. Niveles de comodidad de la humedad en el cantón de Golfito.

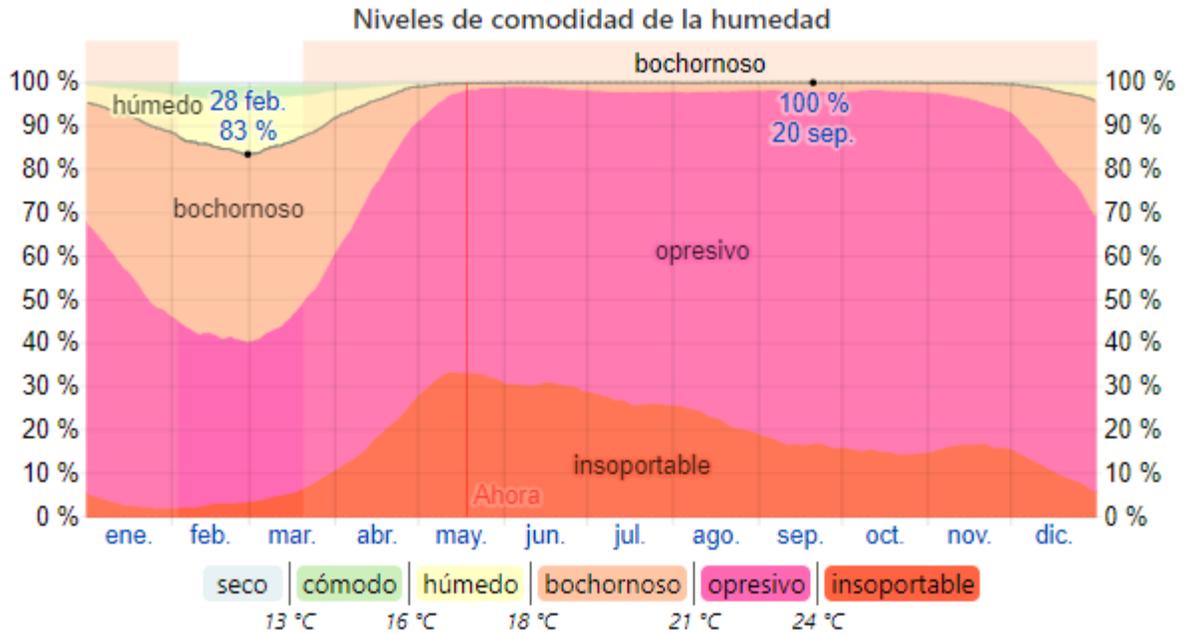
## TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO GOLFITO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	24	24.6	25	24.7	24.2	24.1	23.8	23.8	23.7	23.4	23.3	23.6
Temperatura mín. (°C)	20.6	21.2	21.8	21.8	21.8	21.7	21.3	21.4	21.4	21.4	21	20.5
Temperatura máx. (°C)	27.4	28	28.4	27.9	27.2	27	28.8	28.8	26.8	26.1	26.3	26.9
Precipitación (mm)	165	98	114	248	562	585	653	718	619	804	771	369
Humedad(%)	85%	82%	82%	88%	90%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	88%
Días lluviosos (días)	19	15	17	20	22	21	22	22	21	22	21	21
Horas de sol (horas)	7.8	8.7	8.7	7.5	6.0	5.6	5.3	5.0	5.0	4.3	4.2	6.0

A- 25. Datos históricos del tiempo en el cantón de Golfito.



A- 26. Precipitación de lluvia mensual promedio en el cantón de Corredores.



A- 27. Niveles de comodidad de la humedad en el cantón de Corredores.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	24.1	24.8	25.4	25	24.5	24.4	24.2	24.1	24.1	23.7	23.6	23.7
Temperatura min. (°C)	20.4	20.7	21.3	21.7	22.1	22.1	21.8	21.8	21.8	21.7	21.4	20.7
Temperatura máx. (°C)	28.1	29.2	29.6	28.6	27.5	27.2	27	27	27	26.4	26.3	27.1
Precipitación (mm)	126	77	106	295	593	585	627	639	568	717	748	340
Humedad(%)	84%	80%	80%	85%	90%	90%	90%	91%	90%	91%	91%	88%
Días lluviosos (días)	16	11	11	18	22	21	22	22	21	22	21	20
Horas de sol (horas)	8.6	9.3	9.3	8.2	6.7	6.4	6.3	5.9	5.9	5.2	5.1	7.0

A- 28. Datos históricos del tiempo en el cantón de Corredores.

Clasificación General	Materiales Granulares (35 % o menos del total pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5" A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10	50 max										
No. 40	30 max	50 max	51 min								
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40 Límite líquido, $w_L$ Índice Plástico, $I_p$				40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Índice de Grupo <sup>b</sup>	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max

<sup>a</sup>Ver Fig. 8-1b

A- 29. Clasificación de materiales según el sistema AASHTO.

CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH-CH-MH-OL	A5-A6-A7
3-7	Pobre regular	Subrasante	OH-CH-MH-OL	A4-A5-A6-A7
7-20	Regular	Sub base	OL-CL-ML-SC-S M-SP	A2- A4-A6-A7
20-50	Bueno	Base-Sub base	GM-GC-SW-SM- SP-GP	A1b-A2-5-A3-A2-6
>50	Excelente	Base	GW-GM	A1a-A2-4-A3

A- 30. Clasificación y uso de materiales según CBR.

Relación	Referencia
$M_r(ksi) = 1.42CBR$ Para suelos con CBR menores a 10 (1.2)	Heukelon y Klomp (1962)
$M_r(psi) = 5409CBR^{0.71}$ (1.3)	Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (Green y Hall, 1975)
$M_r(psi) = 3000CBR^{0.65}$ (1.4)	South African Council on Scientific and Industrial Research (CSIR)
$CBR = 0.62s_u(psi)$ (1.5)	Black (1961) y Duncan y Buchignani (1976)
$M_r = 100 - 500s_u$ (1.6)	
$M_r = 500 - 1500s_u$ (1.7)	
$M_r(psi) = 160 a 2420CBR$ (1.8) PI > 30 PI < 30 Donde $s_u$ = resistencia al corte no drenada y PI = índice plástico	
$M_r(psi) = 2555CBR^{0.64}$ (1.9)	Powell et al. (1984) y NCHRP (2004) Transport and Road Research Laboratory (TRRL) y M-E Pavement Design Guide-Level 2 (USA)
$M_r(psi) = 3116CBR^{0.67797}$ (1.10)	Webb y Campbell (1986) Departamento de Transporte de Georgia
$M_r(psi) = 10^{(0.85\log(CBR)+2.97)}$ (1.11)	Newcomb y Birgisson (1999) Departamento de Transporte de Alabama
$\log M_r(ksi) = 1.0016 + 0.043(CBR) - 1.9557\left(\frac{\log \sigma_d}{CBR}\right) - 0.1705 \log \sigma_d$ (1.12)	Lofti (1984) y Lofti et al (1988)

A- 31. Correlaciones CBR-Módulo resiliente en suelos.

Tabla 204-1.

**Requisitos para préstamo seleccionado para acabado**

Descripción	Especificación
Pasando la malla de 76,2 mm	100 %
Valor de soporte CBR	De acuerdo con Cartel de Licitación, pero no menor de 10 %
Límite líquido	Máximo 35 %
Índice plástico	Máximo 10 %
Grado de compactación	95 % mínimo del AASHTO T-99

A- 32. Requisitos para préstamo seleccionado para acabado.

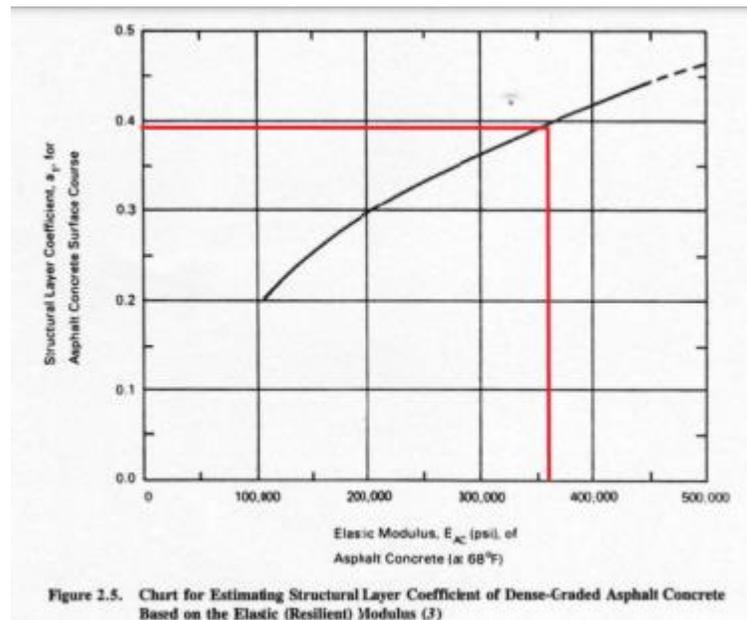
Especificaciones de graduación para mezcla asfáltica en caliente a utilizar en superficies de ruedo y capas de bases

Porcentaje pasando por peso. Tamaño máximo nominal										
Malla	37,5 mm		25 mm		19 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Rango especificado	Tolerancia								
50,0 mm	100	---	x	x	x	x	x	x	x	x
37,5 mm	90 - 100	± 5	100	x	x	x	x	x	x	x
25,4 mm	75 - 90	± 5	90 - 100	± 5	100	x	x	x	x	x
19,0 mm	---	---	77 - 92	± 5	90 - 100	± 5	100	x	x	x
12,7 mm	42 - 65	± 5	60 - 80	± 5	68 - 90	± 5	90 - 100	± 5	100	x
9,5 mm	x	x	50 - 70	± 5	56 - 80	± 5	70 - 90	± 5	90 - 100	± 5
Nº 4	22 - 35	± 4	30 - 39	± 4	35 - 57	± 4	45 - 65	± 4	55 - 75	± 4
Nº 8	15 - 23	± 4	19 - 27	± 4	23 - 35	± 4	28 - 39	± 4	32 - 47	± 4
Nº 16	8 - 15	± 4	11 - 18	± 4	14 - 22	± 4	16 - 26	± 4	19 - 31	± 4
Nº 30	5 - 12	± 4	7 - 14	± 4	9 - 17	± 4	9 - 19	± 4	11 - 23	± 4
Nº 50	3 - 10	± 4	4 - 11	± 4	6 - 14	± 4	5 - 16	± 4	7 - 19	± 4
Nº 200	0 - 6	± 2	1 - 7	± 2	2 - 8	± 2	2 - 8	± 2	2 - 10	± 2

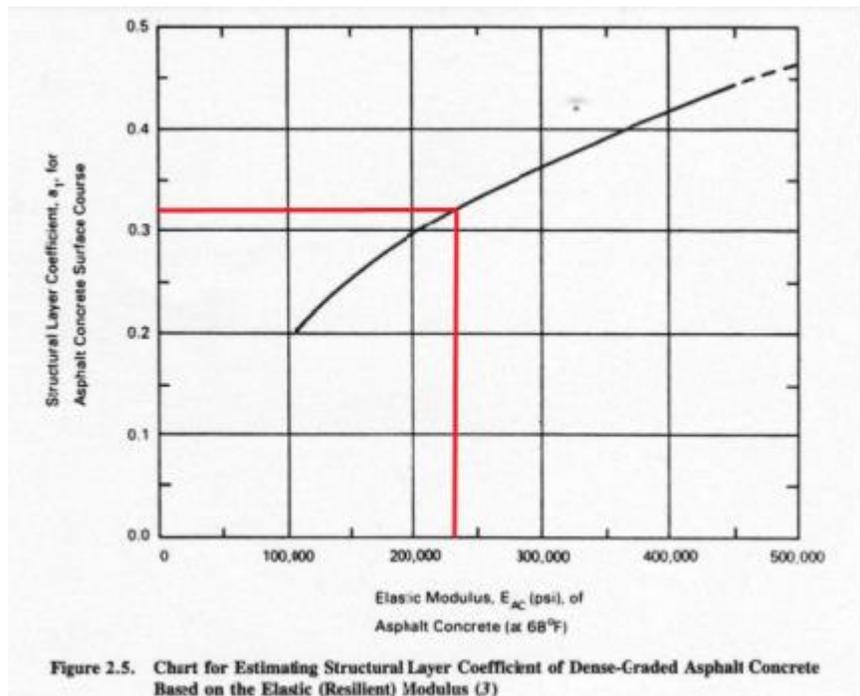
**NOTAS:**

1. La tolerancia es la desviación permisible al valor propuesto en la fórmula de mezcla para trabajo, sin salirse del rango especificado. La tolerancia es absoluta.
2. La verificación de la granulometría de la mezcla producida, se efectuará de acuerdo con la norma de ensayo AASHTO T 30.
3. Alternativamente, para la verificación de la granulometría de la fórmula de la mezcla para trabajo, se podrá utilizar agregado proveniente de la banda transportadora en plantas mezcladoras de tambor, de las tolvas calientes en plantas de dosificación. El agregado será utilizado de acuerdo con las normas de ensayo AASHTO T 11 y AASHTO T 27

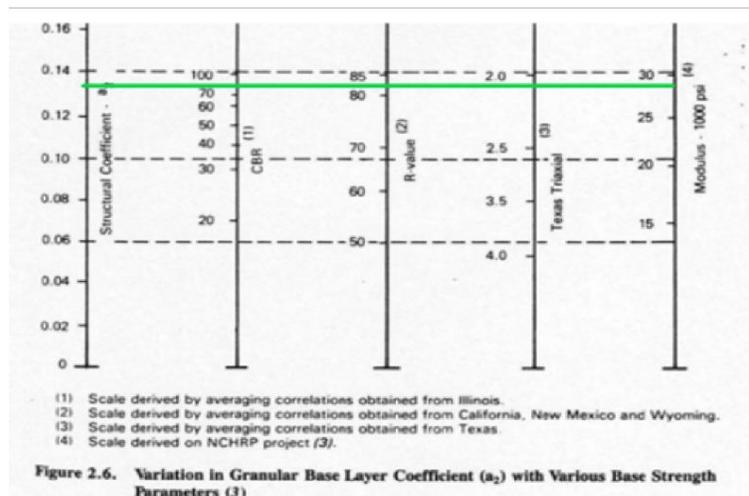
**A- 33. Especificaciones de graduación para mezcla asfáltica en caliente por utilizar en superficies de ruedo y capas bases.**



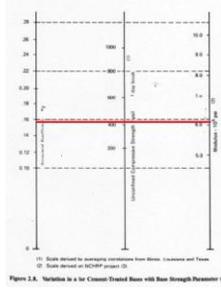
A- 34. Nomograma de la AASTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica actual en la SC 60012.



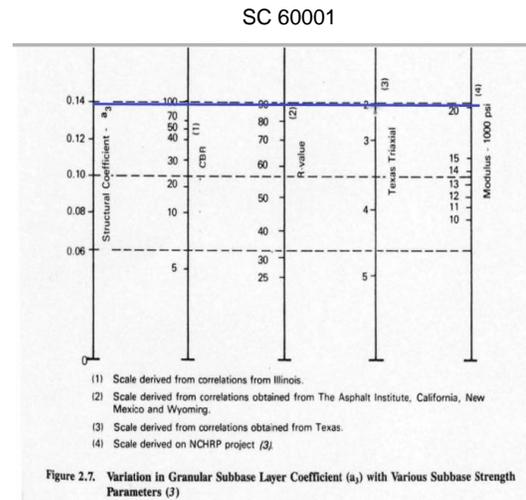
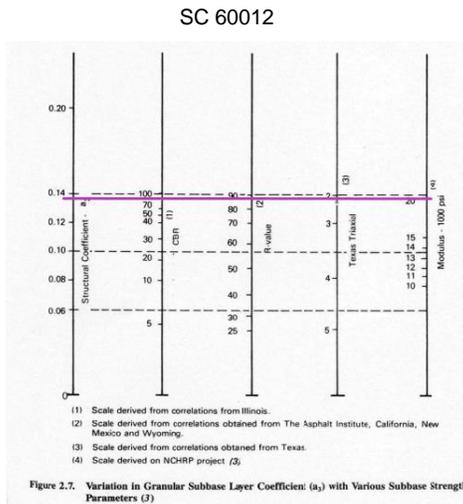
A- 35. Nomograma de la AASTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica actual en la SC 60001.



A- 36. Nomograma de la AASTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la base granular en la SC 60012.



A- 37. Nomograma de la AAHSTO1993 para la determinación del módulo de rigidez y el coeficiente estructural de la base estabilizada con cemento en la SC 60001.



A- 38. Nomogramas de la AASHTO 1993 para la determinación del módulo de rigidez y coeficiente estructural de la sub-base.

SC 60012

Table 2.4. Recommended  $m_1$  Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

SC 60001

Table 2.4. Recommended  $m_1$  Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

A- 39. Coeficientes de drenaje ( $m_1$ ) AASHTO 1993.

**TABLE 11.15 STANDARD NORMAL DEVIATES FOR VARIOUS LEVELS OF RELIABILITY**

Reliability (%)	Standard normal deviate ( $Z_R$ )	Reliability (%)	Standard normal deviate ( $Z_R$ )
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Flexible Pavement Design **Chart**

A- 40. Desviación normal estándar AASHTO 1993.

SC 60012.

SC 60001

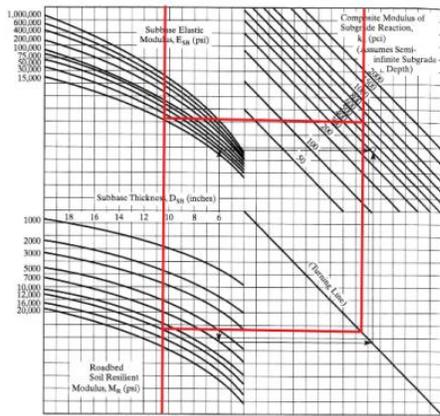
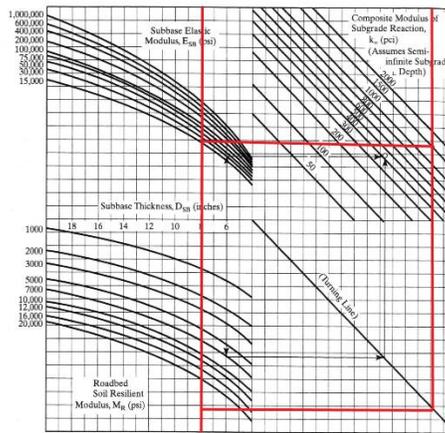
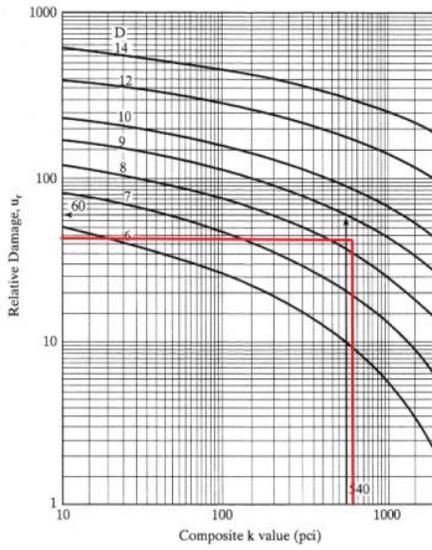


FIGURE 12.18  
Chart for estimating modulus of subgrade reaction (1 in. = 25.4 mm, 1 psi = 6.9 kPa, 1 pci = 271.3 kN/m<sup>2</sup>). (From the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Copyright 1986, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission.)

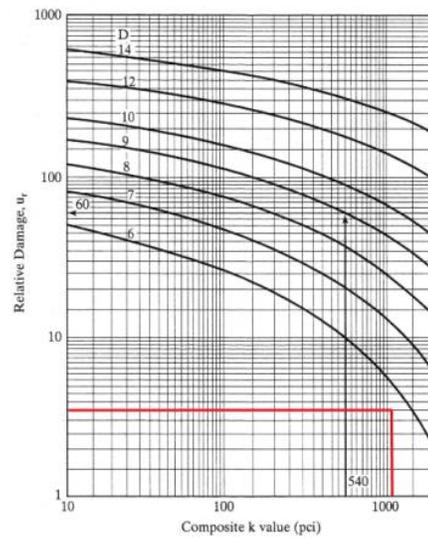


A- 41. Módulo de reacción compuesto de la subrasante.

SC 60012.



SC 60001



A- 42. Daño relativo

TABLE 12.18 Typical Ranges of LS Factors for Various Types of Materials

Type of material	Loss of support (LS)
Cement-treated granular base ( $E = 1 \times 10^6$ to $2 \times 10^6$ psi)	0.0 to 1.0
Cement aggregate mixtures ( $E = 500,000$ to $1 \times 10^6$ psi)	0.0 to 1.0
Asphalt-treated bases ( $E = 350,000$ to $1 \times 10^6$ psi)	0.0 to 1.0
Bituminous-stabilized mixture ( $E = 40,000$ to $300,000$ psi)	0.0 to 1.0
Lime-stabilized materials ( $E = 20,000$ to $70,000$ psi)	1.0 to 3.0
Unbound granular materials ( $E = 15,000$ to $45,000$ psi)	1.0 to 3.0
Fine-grained or natural subgrade materials ( $E = 3000$ to $40,000$ psi)	2.0 to 3.0

Note.  $E$  in this table refers to the general symbol of the resilient modulus.  
Source. After AASHTO (1986).

A- 43. Factor de corrección por pérdida de soporte (LS).

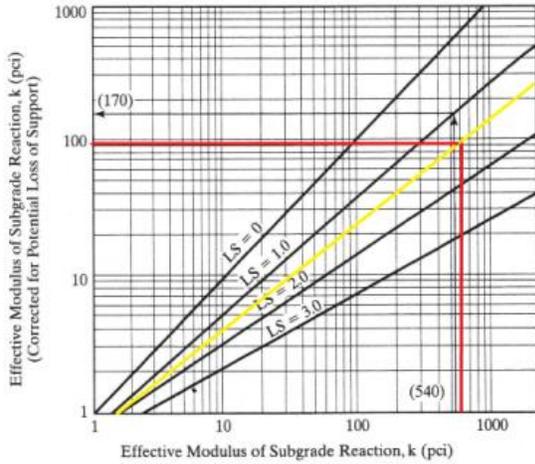


FIGURE 12.21 Correction of effective modulus of subgrade reaction due to loss of foundation contact (1 pci = 271.3 kN/m<sup>3</sup>). (After McCullough and Elkins (1979).)

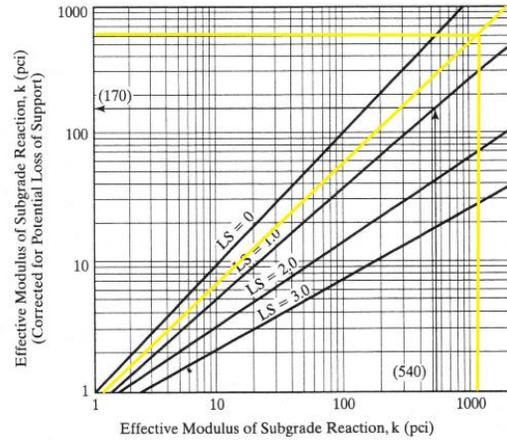


FIGURE 12.21 Correction of effective modulus of subgrade reaction due to loss of foundation contact (1 pci = 271.3 kN/m<sup>3</sup>). (After McCullough and Elkins (1979).)

A- 44. Módulo de reacción corregido por pérdida de soporte.

**Table 2.6. Recommended Load Transfer Coefficient for Various Pavement Types and Design Conditions**

Shoulder	Asphalt		Tied P.C.C.	
	Yes	No	Yes	No
<b>Load Transfer Devices</b>				
<b>Pavement Type</b>				
1. Plain jointed and jointed reinforced	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
2. CRCP	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

A- 45. Coeficiente de transferencia de carga (J).

**Table 2.5. Recommended Values of Drainage Coefficient, C<sub>d</sub>, for Rigid Pavement Design**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Good	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

**Table 2.5. Recommended Values of Drainage Coefficient, C<sub>d</sub>, for Rigid Pavement Design**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Good	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

A- 46. Coeficientes de drenaje Cd para pavimentos rígidos.

Datos Iniciales

Provincia: PUNTARENAS

Cantón: GOLFITO

Distrito: PUNTARENAS

Porcentaje de confianza (%): 95%

Cantidad de ejes equivalentes de diseño (ESAL's): Menor a 0.3 millones

Velocidad del tránsito: Detenido

Obtener información

A- 47. Características de la SC 60012 para el software Grado de Desempeño.

Tabla de información

Provincia	Cantón	Distrito	% de confianza
PUNTARENAS	GOLFITO	GUAYCARA	95

Temperatura máxima	Grados centígrados (C°)	Desviación estándar
Alta	35	0,5
Baja	30,5	

Restaurar datos    Calcular PG

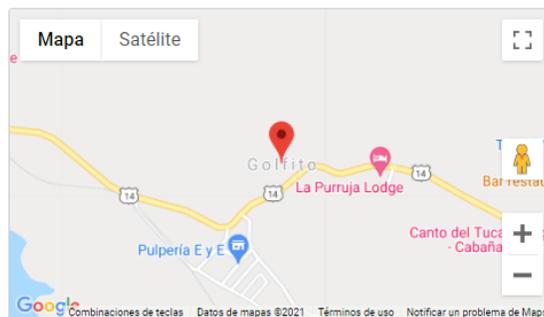
A- 48. Tabla de información de la SC 60012, estación 605+650 en el software Grado de Desempeño.

Resultado

Temperatura de diseño: 35 C°

Porcentaje de confianza usado: 95 %

Grado de PG(alto): 76



Volver al inicio    Imprimir

A- 49. Grado por desempeño recomendado para la SC 60012, estación 605+650.

Datos Iniciales

Provincia: PUNTARENAS  
 Cantón: CORREDORES  
 Distrito: CANOAS  
 Porcentaje de confianza (%): 95%  
 Cantidad de ejes equivalentes de diseño (ESAL's): Entre 0.3 millones y 30 millones  
 Velocidad del tránsito: Detenido

[Obtener información](#)

A- 50. Características de la SC 60001 para el software Grado de Desempeño.A-50.

Tabla de información

Provincia	Cantón	Distrito	% de confianza
PUNTARENAS	CORREDORES	CANOAS	95

Temperatura máxima	Grados centígrados (C°)	Desviación estándar
Alta	35	0,5
Baja	32,5	

[Restaurar datos](#) [Calcular PG](#)

A- 51. Tabla de información de la SC 60001, estación 350+080 en el software Grado de Desempeño.

Resultado

Temperatura de diseño: 35 C°  
 Porcentaje de confianza usado: 95 %  
 Grado de PG(alto): 76

[Volver al inicio](#) [Imprimir](#)

A- 52. Grado PG recomendado para la SC 60001, estación 350+080.

	<b>INGENIERÍA TÉCNICA DE PAVIMENTOS ITP S.A.</b> Registro de reporte de deflexiones Deflectómetro de impacto		ITP-RL-147								
			Versión: 01								
<b>Descripción del proyecto:</b>											
<b>PROYECTO:</b>	_____										
<b>RUTA No:</b>	2	<b>Sección de control:</b>	60012								
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Tramo en puesto de control aduanal (Km 35)										
<b>SENTIDO DE MEDICIÓN:</b>	Palmar Norte - Ciudad Neilly										
<b>FECHA:</b>	martes, 22 de junio de 2021	<b>OPERADOR:</b>	JCC								
<b>Condición Climática:</b>	Despejado										
<b>MEDICIONES CADA 25 METROS</b>											
<b>Equipo utilizado:</b>											
PAVEFW - 150 (serie 026BT0214)											
<b>Celda de carga:</b>	FW-001	<b>Geófono 4:</b>	FW-005	<b>Sensor Temp Aire:</b>	FW-009						
<b>Geófono 1:</b>	FW-002	<b>Geófono 5:</b>	FW-006	<b>Sensor Temp Superf:</b>	FW-010						
<b>Geófono 2:</b>	FW-003	<b>Geófono 6:</b>	FW-007	<b>DMI:</b>	FW-011						
<b>Geófono 3:</b>	FW-004	<b>Geófono 7:</b>	FW-008								
<b>Diám. plato de carga:</b>	300 mm										
<b>Magnitud de la carga:</b>	Simulación de medio eje estándar de 4.1 toneladas										
<b>Tabla Nº.1 Configuración de los geófonos</b>											
	No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7			
<b>X (mm):</b>	0	304.8	609.6	914.4	1219.2	1524.0	1828.8				
<b>X (in):</b>	0	12	24	36	48	60	72				
<b>Tabla Nº.2 Deflexiones medidas</b>											
Estacionamiento	Ensayo	Presión (kpa)	Temp. Aire (°C)	Temp. Pav. (°C)	DEFLEXION $\mu\text{m} = (\text{m} \cdot 10^{-6})$						
					D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
305+481	1	573.2	35.5	54.1	357.6	174.2	86.7	55.4	42.5	34.3	30.8
305+481	2	575.9	35.5	54.3	356.7	173.7	87.2	55.7	42.4	34.3	30.7
305+481	3	578.3	35.4	54.8	357.6	173.1	86.9	56.0	42.0	33.9	30.6
<b>305+481</b>		<b>575.8</b>	<b>35.5</b>	<b>54.4</b>	<b>357.3</b>	<b>173.7</b>	<b>86.9</b>	<b>55.7</b>	<b>42.3</b>	<b>34.2</b>	<b>30.7</b>
305+506	1	558.0	34.2	68.8	408.4	190.2	105.7	65.2	49.8	38.0	27.2
305+506	2	554.4	34.1	68.9	409.3	189.9	105.5	64.9	49.6	37.2	26.8
305+506	3	556.4	34.1	68.3	408.6	190.0	106.4	64.8	49.6	37.3	27.0
<b>305+506</b>		<b>556.3</b>	<b>34.1</b>	<b>68.7</b>	<b>408.8</b>	<b>190.0</b>	<b>105.9</b>	<b>65.0</b>	<b>49.7</b>	<b>37.5</b>	<b>27.0</b>
305+531	1	569.0	34.2	70.4	388.8	161.9	95.7	62.7	44.0	35.8	31.7
305+531	2	566.0	34.2	71.2	388.6	161.8	96.1	62.0	43.8	35.8	31.8
305+531	3	568.7	34.2	69.9	389.1	161.7	96.1	63.0	44.5	35.2	31.8
<b>305+531</b>		<b>567.9</b>	<b>34.2</b>	<b>70.5</b>	<b>388.8</b>	<b>161.8</b>	<b>96.0</b>	<b>62.6</b>	<b>44.1</b>	<b>35.6</b>	<b>31.8</b>
305+557	1	554.5	34.2	69.0	409.6	181.3	104.9	66.3	39.4	37.9	26.1
305+557	2	560.8	34.1	68.7	408.5	180.1	104.2	66.9	39.5	37.6	26.3
305+557	3	555.2	34.2	69.2	408.2	181.5	105.4	66.5	40.0	37.6	25.9
<b>305+557</b>		<b>556.8</b>	<b>34.2</b>	<b>69.0</b>	<b>408.8</b>	<b>181.0</b>	<b>104.8</b>	<b>66.6</b>	<b>39.6</b>	<b>37.7</b>	<b>26.1</b>
305+581	1	586.7	35.5	67.1	286.3	130.4	79.2	50.2	37.6	30.7	26.4
305+581	2	588.8	35.6	67.1	285.3	131.0	78.2	50.3	38.2	30.9	26.3
305+581	3	596.6	35.5	66.9	279.2	130.5	79.3	51.0	37.9	31.5	26.3
<b>305+581</b>		<b>590.7</b>	<b>35.5</b>	<b>67.0</b>	<b>283.6</b>	<b>130.6</b>	<b>78.9</b>	<b>50.5</b>	<b>37.9</b>	<b>31.0</b>	<b>26.3</b>
305+607	1	567.2	36.1	71.1	432.5	202.4	114.8	69.0	48.5	42.3	36.9
305+607	2	577.2	36.1	71.1	430.5	205.1	116.6	68.9	49.6	41.8	37.1
305+607	3	573.1	36.1	71.0	432.4	204.6	117.0	69.9	49.7	42.5	37.9
<b>305+607</b>		<b>572.5</b>	<b>36.1</b>	<b>71.1</b>	<b>431.8</b>	<b>204.0</b>	<b>116.1</b>	<b>69.3</b>	<b>49.3</b>	<b>42.2</b>	<b>37.3</b>
305+631	1	597.0	36.5	71.2	457.4	181.8	102.1	82.2	70.1	57.7	42.8
305+631	2	593.8	36.6	71.1	455.6	184.1	101.6	80.5	69.0	57.4	43.0
305+631	3	589.7	36.6	71.1	457.7	183.1	101.2	80.1	69.2	58.3	42.3
<b>305+631</b>		<b>593.5</b>	<b>36.6</b>	<b>71.1</b>	<b>456.9</b>	<b>183.0</b>	<b>101.6</b>	<b>80.9</b>	<b>69.4</b>	<b>57.8</b>	<b>42.7</b>
305+656	1	557.8	36.9	72.0	387.4	220.9	57.8	27.8	20.9	13.2	11.2
305+656	2	550.7	36.9	71.9	392.2	217.9	56.4	27.3	20.5	13.5	10.9
305+656	3	557.5	37.0	71.9	390.8	221.5	57.3	27.7	20.3	13.4	11.0
<b>305+656</b>		<b>555.3</b>	<b>36.9</b>	<b>71.9</b>	<b>390.1</b>	<b>220.1</b>	<b>57.2</b>	<b>27.6</b>	<b>20.6</b>	<b>13.4</b>	<b>11.0</b>

A- 53. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido La Guaria-Río Claro.

305+681	1	569.2	37.2	71.4	487.5	126.0	60.2	33.3	22.6	20.8	16.1
305+681	2	561.4	37.2	71.5	483.2	128.4	61.0	33.0	22.0	21.0	15.7
305+681	3	558.7	37.2	71.3	487.1	127.0	59.9	32.7	22.6	20.9	16.1
<b>305+681</b>		<b>563.1</b>	<b>37.2</b>	<b>71.4</b>	<b>485.9</b>	<b>127.1</b>	<b>60.4</b>	<b>33.0</b>	<b>22.4</b>	<b>20.9</b>	<b>16.0</b>
305+706	1	577.1	36.5	70.6	303.3	122.5	60.3	32.7	23.5	16.7	10.8
305+706	2	572.3	36.5	70.2	301.1	120.7	60.5	32.5	23.1	16.4	10.9
305+706	3	576.5	36.5	70.1	298.9	122.7	60.1	33.0	23.4	16.5	10.7
<b>305+706</b>		<b>575.3</b>	<b>36.5</b>	<b>70.3</b>	<b>301.1</b>	<b>122.0</b>	<b>60.3</b>	<b>32.7</b>	<b>23.3</b>	<b>16.5</b>	<b>10.8</b>
305+732	1	570.5	35.2	69.2	538.7	176.0	81.1	39.9	26.1	19.3	15.0
305+732	2	565.0	35.1	69.0	540.0	175.4	80.7	39.6	25.4	19.0	14.6
305+732	3	552.4	35.0	69.0	540.4	173.4	79.8	38.7	25.4	19.1	14.6
<b>305+732</b>		<b>562.6</b>	<b>35.1</b>	<b>69.1</b>	<b>539.7</b>	<b>174.9</b>	<b>80.5</b>	<b>39.4</b>	<b>25.6</b>	<b>19.1</b>	<b>14.7</b>
305+757	1	572.0	34.4	64.0	415.1	218.3	118.2	75.6	57.3	46.2	37.5
305+757	2	576.1	34.2	63.6	418.2	220.6	117.6	73.6	56.8	46.1	38.0
305+757	3	587.1	34.3	63.6	420.5	219.6	115.8	75.2	57.4	46.5	37.7
<b>305+757</b>		<b>578.4</b>	<b>34.3</b>	<b>63.7</b>	<b>417.9</b>	<b>219.5</b>	<b>117.2</b>	<b>74.8</b>	<b>57.2</b>	<b>46.3</b>	<b>37.7</b>
305+781	1	578.8	34.2	68.2	481.8	249.0	152.6	86.5	48.3	29.9	28.6
305+781	2	572.4	34.3	68.3	476.4	243.9	150.8	84.7	48.9	30.3	29.0
305+781	3	562.2	34.3	68.2	466.7	242.9	147.9	86.7	48.4	30.3	29.0
<b>305+781</b>		<b>571.1</b>	<b>34.3</b>	<b>68.2</b>	<b>475.0</b>	<b>245.3</b>	<b>150.4</b>	<b>86.0</b>	<b>48.5</b>	<b>30.2</b>	<b>28.9</b>
305+807	1	569.0	34.3	69.2	326.7	191.8	141.7	90.7	76.9	67.1	45.9
305+807	2	565.8	34.3	69.3	328.1	190.4	143.6	90.5	76.3	66.5	46.0
305+807	3	564.6	34.3	69.1	325.1	189.4	142.1	91.5	75.0	66.3	45.7
<b>305+807</b>		<b>566.5</b>	<b>34.3</b>	<b>69.2</b>	<b>326.6</b>	<b>190.5</b>	<b>142.5</b>	<b>90.9</b>	<b>76.1</b>	<b>66.6</b>	<b>45.9</b>
305+831	1	586.4	33.8	68.7	376.4	207.4	140.1	93.4	74.6	57.7	37.5
305+831	2	584.3	33.8	68.7	373.5	203.1	142.7	93.3	74.9	56.1	37.6
305+831	3	588.4	33.7	68.7	375.1	208.6	139.5	92.3	73.9	56.7	37.8
<b>305+831</b>		<b>586.4</b>	<b>33.8</b>	<b>68.7</b>	<b>375.0</b>	<b>206.4</b>	<b>140.8</b>	<b>93.0</b>	<b>74.5</b>	<b>56.8</b>	<b>37.6</b>
305+857	1	573.4	34.3	69.5	274.7	202.8	146.6	102.8	70.7	60.2	48.6
305+857	2	567.0	34.2	69.5	273.6	202.1	145.2	102.7	72.6	61.1	47.3
305+857	3	574.3	34.3	69.3	278.8	201.0	145.1	101.8	70.6	60.4	47.5
<b>305+857</b>		<b>571.6</b>	<b>34.3</b>	<b>69.4</b>	<b>275.7</b>	<b>202.0</b>	<b>145.6</b>	<b>102.4</b>	<b>71.3</b>	<b>60.6</b>	<b>47.8</b>
305+881	1	572.7	35.0	70.1	298.4	222.1	159.3	116.1	92.8	73.2	64.6
305+881	2	573.8	35.1	70.4	297.5	222.0	156.8	117.9	90.6	73.2	65.5
305+881	3	578.4	35.3	70.2	298.8	223.4	157.5	117.9	92.4	73.3	65.9
<b>305+881</b>		<b>575.0</b>	<b>35.1</b>	<b>70.2</b>	<b>298.2</b>	<b>222.5</b>	<b>157.9</b>	<b>117.3</b>	<b>91.9</b>	<b>73.2</b>	<b>65.3</b>
305+907	1	592.9	36.0	69.9	403.0	164.2	80.0	42.6	24.1	23.3	20.5
305+907	2	588.5	35.9	69.8	396.0	162.4	81.6	41.3	24.1	23.7	21.0
305+907	3	596.4	35.9	69.7	396.7	165.3	79.9	42.4	23.6	23.9	20.8
<b>305+907</b>		<b>592.6</b>	<b>35.9</b>	<b>69.8</b>	<b>398.6</b>	<b>164.0</b>	<b>80.5</b>	<b>42.1</b>	<b>23.9</b>	<b>23.6</b>	<b>20.8</b>
305+932	1	565.8	35.7	69.3	406.3	197.9	105.0	60.7	38.9	27.7	24.2
305+932	2	573.5	35.7	69.3	412.5	195.6	105.4	60.1	38.9	28.5	24.3
305+932	3	574.1	35.7	69.2	419.3	199.2	103.7	61.3	38.6	28.4	23.9
<b>305+932</b>		<b>571.1</b>	<b>35.7</b>	<b>69.3</b>	<b>412.7</b>	<b>197.6</b>	<b>104.7</b>	<b>60.7</b>	<b>38.8</b>	<b>28.2</b>	<b>24.1</b>
305+957	1	565.0	35.9	69.1	392.8	228.1	145.2	89.5	64.6	54.0	34.5
305+957	2	560.1	35.8	68.9	396.3	232.4	144.5	89.7	63.4	53.8	34.2
305+957	3	561.6	35.7	68.9	398.0	231.9	145.7	89.2	64.4	54.2	34.1
<b>305+957</b>		<b>562.2</b>	<b>35.8</b>	<b>69.0</b>	<b>395.7</b>	<b>230.8</b>	<b>145.1</b>	<b>89.5</b>	<b>64.1</b>	<b>54.0</b>	<b>34.3</b>
305+981	1	569.7	36.0	68.8	468.9	282.4	163.6	113.4	75.0	59.2	45.1
305+981	2	583.3	35.9	68.7	473.6	282.4	164.8	114.2	76.4	60.0	45.0
305+981	3	579.5	35.9	68.6	464.3	282.9	165.7	111.9	75.7	59.3	44.1
<b>305+981</b>		<b>577.5</b>	<b>35.9</b>	<b>68.7</b>	<b>468.9</b>	<b>282.6</b>	<b>164.7</b>	<b>113.2</b>	<b>75.7</b>	<b>59.5</b>	<b>44.7</b>
306+007	1	578.7	35.9	69.4	469.7	247.8	163.6	118.6	89.5	72.3	59.0
306+007	2	577.7	35.9	69.3	458.0	248.4	168.5	119.0	88.8	72.4	59.0
306+007	3	564.3	35.8	69.2	461.1	253.9	166.8	117.4	90.9	71.8	57.3
<b>306+007</b>		<b>573.6</b>	<b>35.9</b>	<b>69.3</b>	<b>462.9</b>	<b>250.0</b>	<b>166.3</b>	<b>118.3</b>	<b>89.7</b>	<b>72.2</b>	<b>58.4</b>
306+041	1	573.2	35.0	68.6	483.2	235.3	141.9	95.0	70.4	53.6	40.9
306+041	2	590.5	34.9	68.6	483.8	241.6	142.0	97.5	72.5	53.6	40.3
306+041	3	578.3	34.8	68.6	469.7	237.0	141.8	95.9	71.1	53.5	40.0
<b>306+041</b>		<b>580.7</b>	<b>34.9</b>	<b>68.6</b>	<b>478.9</b>	<b>238.0</b>	<b>141.9</b>	<b>96.1</b>	<b>71.3</b>	<b>53.6</b>	<b>40.4</b>

A- 54. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido La Guaria-Río Claro.

 <b>INGENIERÍA TÉCNICA DE PAVIMENTOS ITP S.A.</b> Registro de reporte de deflexiones Deflectómetro de impacto		ITP-RL-147									
		Versión: 01									
<b>Descripción del proyecto:</b>											
<b>PROYECTO:</b>											
<b>RUTA No:</b>	2	<b>Sección de control:</b> 60012									
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Tramo en puesto de control aduanal (Km 35)										
<b>SENTIDO DE MEDICIÓN:</b>	Ciudad Neilly - Palmar Norte										
<b>FECHA:</b>	martes, 22 de junio de 2021	<b>OPERADOR:</b> JCC									
<b>Condición Climática:</b>	Despejado										
<b>MEDICIONES CADA 25 METROS</b>											
<b>Equipo utilizado:</b>											
PAVEFWD - 150 (serie 026BT0214)											
<b>Celda de carga:</b> FW-001	<b>Geófono 4:</b> FW-005	<b>Sensor Temp Aire:</b> FW-009									
<b>Geófono 1:</b> FW-002	<b>Geófono 5:</b> FW-006	<b>Sensor Temp Superf:</b> FW-010									
<b>Geófono 2:</b> FW-003	<b>Geófono 6:</b> FW-007	<b>DMI:</b> FW-011									
<b>Geófono 3:</b> FW-004	<b>Geófono 7:</b> FW-008										
<b>Diám. plato de carga:</b> 300 mm											
<b>Magnitud de la carga:</b> Simulación de medio eje estándar de 4.1 toneladas											
<b>Tabla Nº.1 Configuración de los geófonos</b>											
	No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7			
<b>X (mm):</b>	0	304.8	609.6	914.4	1219.2	1524.0	1828.8				
<b>X (m):</b>	0	12	24	36	48	60	72				
<b>Tabla Nº.2 Deflexiones medidas</b>											
Estacionamiento	Ensayo	Presión (kpa)	Temp. Aire		DEFLEXION $\mu\text{m} = (\text{m} \cdot 10^{-4})$						
			(°C)	(°C)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
306+041	1	590.7	34.8	67.9	413.2	174.3	102.0	69.5	54.9	43.0	39.8
306+041	2	588.1	34.7	67.9	404.9	175.7	103.4	69.3	56.1	43.0	39.4
306+041	3	591.6	34.9	67.9	411.5	178.4	101.1	68.5	54.7	43.5	40.5
<b>306+041</b>		<b>590.1</b>	<b>34.8</b>	<b>67.9</b>	<b>409.9</b>	<b>176.1</b>	<b>102.2</b>	<b>69.1</b>	<b>55.2</b>	<b>43.2</b>	<b>39.9</b>
306+006	1	592.7	34.5	68.2	351.9	204.8	139.4	104.2	85.0	57.4	52.4
306+006	2	595.7	34.5	68.3	356.3	205.1	137.8	103.4	85.6	57.1	52.1
306+006	3	597.2	34.5	68.4	354.3	208.5	139.5	103.6	86.1	57.7	53.5
<b>306+006</b>		<b>595.2</b>	<b>34.5</b>	<b>68.3</b>	<b>354.2</b>	<b>206.1</b>	<b>138.9</b>	<b>103.7</b>	<b>85.6</b>	<b>57.4</b>	<b>52.7</b>
305+982	1	562.6	35.4	68.7	474.0	250.5	160.1	108.3	86.5	60.5	44.9
305+982	2	564.8	35.5	68.6	470.3	243.4	159.1	107.5	86.5	62.3	45.1
305+982	3	559.1	35.4	68.6	464.7	246.0	157.8	109.4	84.2	61.0	45.4
<b>305+982</b>		<b>562.2</b>	<b>35.4</b>	<b>68.6</b>	<b>469.7</b>	<b>246.6</b>	<b>159.0</b>	<b>108.4</b>	<b>85.7</b>	<b>61.3</b>	<b>45.1</b>
305+956	1	580.6	35.7	69.1	454.6	210.9	129.5	81.1	66.5	44.9	37.9
305+956	2	572.7	35.5	68.9	454.5	206.8	129.0	81.3	67.7	44.5	38.3
305+956	3	587.8	35.4	68.8	458.5	210.4	131.9	82.4	66.9	45.5	37.9
<b>305+956</b>		<b>580.4</b>	<b>35.5</b>	<b>68.9</b>	<b>455.9</b>	<b>209.4</b>	<b>130.1</b>	<b>81.6</b>	<b>67.0</b>	<b>45.0</b>	<b>38.0</b>
305+931	1	576.4	35.5	69.6	383.2	185.3	109.5	74.5	65.0	45.2	35.4
305+931	2	572.5	35.5	70.0	386.9	185.2	108.2	74.0	65.1	44.4	35.6
305+931	3	568.9	35.5	69.6	382.9	182.2	106.7	74.3	66.1	43.9	35.9
<b>305+931</b>		<b>572.6</b>	<b>35.5</b>	<b>69.7</b>	<b>384.3</b>	<b>184.2</b>	<b>108.1</b>	<b>74.3</b>	<b>65.4</b>	<b>44.5</b>	<b>35.6</b>
305+906	1	568.5	35.9	71.3	382.9	152.1	85.9	61.2	45.6	40.1	29.5
305+906	2	570.8	35.9	71.3	386.9	149.8	84.9	63.0	45.8	40.6	29.6
305+906	3	566.3	35.9	71.1	386.0	149.5	85.2	62.7	45.3	40.4	30.1
<b>305+906</b>		<b>568.5</b>	<b>35.9</b>	<b>71.2</b>	<b>385.3</b>	<b>150.5</b>	<b>85.3</b>	<b>62.3</b>	<b>45.6</b>	<b>40.4</b>	<b>29.7</b>
305+881	1	550.9	36.2	72.4	590.7	196.7	118.7	93.8	73.1	68.1	50.2
305+881	2	556.7	36.4	72.5	588.2	197.5	118.4	94.9	74.5	67.9	48.9
305+881	3	556.8	36.6	72.6	593.4	193.3	120.8	93.4	73.1	68.5	49.9
<b>305+881</b>		<b>554.8</b>	<b>36.4</b>	<b>72.5</b>	<b>590.8</b>	<b>195.8</b>	<b>119.3</b>	<b>94.0</b>	<b>73.6</b>	<b>68.2</b>	<b>49.7</b>
305+856	1	554.8	36.7	72.6	417.9	184.5	119.9	85.0	69.2	50.6	44.3
305+856	2	565.3	36.6	72.6	427.8	186.2	119.7	85.0	69.6	51.5	44.3
305+856	3	560.2	36.7	72.5	421.6	180.7	123.0	83.7	68.6	51.4	43.7
<b>305+856</b>		<b>560.1</b>	<b>36.7</b>	<b>72.6</b>	<b>422.4</b>	<b>183.8</b>	<b>120.9</b>	<b>84.6</b>	<b>69.1</b>	<b>51.2</b>	<b>44.1</b>
305+831	1	558.6	36.0	71.7	241.4	152.7	121.7	95.1	71.6	60.5	50.3
305+831	2	559.6	36.1	71.7	240.0	150.4	121.6	95.5	71.8	61.3	50.2
305+831	3	552.8	36.2	71.8	243.1	149.9	123.4	96.3	71.6	60.8	51.1
<b>305+831</b>		<b>557.0</b>	<b>36.1</b>	<b>71.7</b>	<b>241.5</b>	<b>151.0</b>	<b>122.2</b>	<b>95.6</b>	<b>71.7</b>	<b>60.9</b>	<b>50.5</b>
305+806	1	580.2	36.6	71.9	484.4	213.9	139.8	99.1	84.4	59.4	49.2
305+806	2	578.8	36.5	72.0	481.0	215.6	136.9	100.2	83.1	58.9	49.8
305+806	3	572.3	36.4	72.1	479.6	214.5	138.6	97.9	83.8	58.6	49.5
<b>305+806</b>		<b>577.1</b>	<b>36.5</b>	<b>72.0</b>	<b>481.7</b>	<b>214.7</b>	<b>138.4</b>	<b>99.1</b>	<b>83.8</b>	<b>59.0</b>	<b>49.5</b>
305+781	1	568.7	36.5	70.5	579.6	227.1	144.4	95.1	68.3	50.2	37.6
305+781	2	580.1	36.4	70.4	577.1	231.0	146.5	96.2	68.7	49.8	36.7
305+781	3	579.9	36.3	70.4	576.1	230.7	144.4	95.0	67.7	50.2	37.3
<b>305+781</b>		<b>576.2</b>	<b>36.4</b>	<b>70.4</b>	<b>577.6</b>	<b>229.6</b>	<b>145.1</b>	<b>95.4</b>	<b>68.2</b>	<b>50.1</b>	<b>37.2</b>

A- 55. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido Río Claro- La Guaria.

305+756	1	579.2	35.6	69.2	270.4	118.6	63.4	35.6	30.8	19.8	15.8
305+756	2	579.2	35.6	68.9	270.4	116.5	64.8	35.9	30.9	19.6	15.9
305+756	3	581.9	35.6	69.2	273.7	117.5	64.5	35.4	30.5	19.4	15.6
<b>305+756</b>		<b>580.1</b>	<b>35.6</b>	<b>69.1</b>	<b>271.5</b>	<b>117.5</b>	<b>64.2</b>	<b>35.6</b>	<b>30.7</b>	<b>19.6</b>	<b>15.8</b>
305+731	1	573.9	36.5	71.6	358.9	145.5	91.2	60.5	42.6	37.0	34.1
305+731	2	564.5	36.3	70.9	355.9	144.3	92.3	61.0	41.7	38.0	33.4
305+731	3	579.2	36.0	70.7	359.0	146.4	93.3	60.3	41.5	37.4	34.4
<b>305+731</b>		<b>572.5</b>	<b>36.3</b>	<b>71.1</b>	<b>357.9</b>	<b>145.4</b>	<b>92.3</b>	<b>60.6</b>	<b>41.9</b>	<b>37.5</b>	<b>34.0</b>
305+706	1	578.8	34.6	68.5	312.2	116.0	51.2	27.8	17.1	13.9	12.7
305+706	2	584.6	34.6	68.6	313.7	114.8	51.4	28.2	17.1	13.7	12.9
305+706	3	572.9	34.7	68.7	309.5	112.9	52.6	27.4	17.0	13.8	12.7
<b>305+706</b>		<b>578.8</b>	<b>34.6</b>	<b>68.6</b>	<b>311.8</b>	<b>114.6</b>	<b>51.7</b>	<b>27.8</b>	<b>17.1</b>	<b>13.8</b>	<b>12.8</b>
305+681	1	570.1	35.8	71.1	338.9	152.3	77.1	38.9	29.4	17.1	15.4
305+681	2	569.2	35.8	71.3	338.5	152.2	75.4	38.4	29.0	17.1	15.7
305+681	3	562.7	35.9	71.3	331.5	152.8	77.5	39.5	28.8	17.0	15.3
<b>305+681</b>		<b>567.3</b>	<b>35.8</b>	<b>71.2</b>	<b>336.3</b>	<b>152.4</b>	<b>76.7</b>	<b>38.9</b>	<b>29.1</b>	<b>17.1</b>	<b>15.5</b>
305+656	1	583.3	35.4	71.0	285.8	115.7	68.2	31.3	23.3	15.5	12.1
305+656	2	585.1	35.3	71.2	290.4	114.2	69.0	31.3	23.4	15.8	12.4
305+656	3	584.0	35.4	71.1	288.6	115.2	68.6	32.2	23.6	15.7	12.3
<b>305+656</b>		<b>584.1</b>	<b>35.4</b>	<b>71.1</b>	<b>288.3</b>	<b>115.0</b>	<b>68.6</b>	<b>31.6</b>	<b>23.4</b>	<b>15.7</b>	<b>12.3</b>
305+631	1	569.9	36.6	71.8	409.4	210.1	124.3	83.2	68.1	55.2	43.1
305+631	2	570.4	36.6	71.4	406.4	204.2	121.5	82.8	69.5	53.9	42.8
305+631	3	567.6	36.5	71.4	405.1	206.1	122.4	83.4	68.2	54.0	42.1
<b>305+631</b>		<b>569.3</b>	<b>36.6</b>	<b>71.5</b>	<b>407.0</b>	<b>206.8</b>	<b>122.7</b>	<b>83.1</b>	<b>68.6</b>	<b>54.4</b>	<b>42.7</b>
305+606	1	576.6	37.1	72.1	321.7	152.5	99.2	66.1	55.4	37.4	34.1
305+606	2	571.4	37.1	72.0	320.7	152.4	97.0	64.5	56.2	37.4	33.7
305+606	3	569.9	37.2	72.2	325.2	152.4	99.3	64.3	55.6	38.0	34.2
<b>305+606</b>		<b>572.6</b>	<b>37.1</b>	<b>72.1</b>	<b>322.5</b>	<b>152.4</b>	<b>98.5</b>	<b>65.0</b>	<b>55.7</b>	<b>37.6</b>	<b>34.0</b>
305+581	1	566.3	35.7	69.4	258.3	97.4	55.1	33.5	25.9	18.3	14.8
305+581	2	566.7	35.5	69.3	255.7	99.3	53.7	34.5	25.9	18.0	15.1
305+581	3	568.5	35.3	69.2	257.7	97.2	54.5	34.1	25.9	18.0	15.1
<b>305+581</b>		<b>567.2</b>	<b>35.5</b>	<b>69.3</b>	<b>257.2</b>	<b>98.0</b>	<b>54.4</b>	<b>34.0</b>	<b>25.9</b>	<b>18.1</b>	<b>15.0</b>
305+556	1	560.6	34.8	71.1	185.0	83.2	64.0	49.0	36.0	35.1	22.6
305+556	2	560.9	34.8	70.7	182.4	81.9	62.7	49.5	35.6	35.4	22.9
305+556	3	559.2	34.7	70.5	183.9	82.5	63.0	49.7	35.6	35.4	23.0
<b>305+556</b>		<b>560.2</b>	<b>34.8</b>	<b>70.8</b>	<b>183.8</b>	<b>82.5</b>	<b>63.2</b>	<b>49.4</b>	<b>35.7</b>	<b>35.3</b>	<b>22.8</b>
305+531	1	576.9	35.0	71.7	242.4	97.1	67.3	51.9	44.3	35.8	33.3
305+531	2	575.5	35.1	71.7	239.9	99.1	69.3	52.1	43.3	35.5	33.3
305+531	3	576.9	35.1	71.8	241.4	99.6	67.6	51.4	44.1	35.4	33.3
<b>305+531</b>		<b>576.4</b>	<b>35.1</b>	<b>71.7</b>	<b>241.2</b>	<b>98.6</b>	<b>68.1</b>	<b>51.8</b>	<b>43.9</b>	<b>35.6</b>	<b>33.3</b>
305+506	1	584.9	34.2	70.2	360.7	142.3	86.8	56.1	39.1	29.9	24.7
305+506	2	581.0	34.2	70.3	363.7	138.9	86.8	55.4	38.7	29.4	25.3
305+506	3	585.6	34.3	70.5	364.5	141.9	87.8	56.9	39.0	29.8	24.9
<b>305+506</b>		<b>583.8</b>	<b>34.2</b>	<b>70.3</b>	<b>363.0</b>	<b>141.0</b>	<b>87.1</b>	<b>56.1</b>	<b>38.9</b>	<b>29.7</b>	<b>25.0</b>
305+481	1	571.1	34.6	69.0	390.3	166.9	82.6	65.1	51.7	37.3	26.7
305+481	2	568.8	34.4	68.8	389.7	168.0	80.5	63.9	52.6	38.0	26.6
305+481	3	573.0	34.4	69.0	388.2	166.7	81.1	65.2	51.2	37.4	26.8
<b>305+481</b>		<b>571.0</b>	<b>34.5</b>	<b>68.9</b>	<b>389.4</b>	<b>167.2</b>	<b>81.4</b>	<b>64.7</b>	<b>51.8</b>	<b>37.6</b>	<b>26.7</b>

A- 56. Reporte de deflexiones en la SC 60012, estación 350+080. Sentido Río Claro- La Guaria.

**Descripción del proyecto:**

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_  
**RUTA No:** 2 **Sección de control:** 60001  
**DESCRIPCIÓN:** Tramo de ingreso a puesto de fumigación, puesto aduanal, Frontera  
 \_\_\_\_\_  
**SENTIDO DE MEDICIÓN:** Frontera - Ciudad Neilly  
**FECHA:** martes, 22 de junio de 2021 **OPERADOR:** JCC  
**Condición Climática:** Despejado

**MEDICIONES CADA 25 METROS**

**Equipo utilizado:**

PAVEFWD - 150 (serie 026BT0214)

**Celda de carga:** FW-001 **Geófono 4:** FW-005 **Sensor Temp Aire:** FW-009  
**Geófono 1:** FW-002 **Geófono 5:** FW-006 **Sensor Temp Superf:** FW-010  
**Geófono 2:** FW-003 **Geófono 6:** FW-007 **DMI:** FW-011  
**Geófono 3:** FW-004 **Geófono 7:** FW-008

**Diám. plato de carga:** 300 mm

**Magnitud de la carga:** Simulación de medio eje estándar de 4.1 toneladas

**Tabla Nº.1 Configuración de los geófonos**

No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
<b>X (mm):</b>	0	304.8	609.6	914.4	1219.2	1524.0	1828.8
<b>X (in):</b>	0	12	24	36	48	60	72

**Tabla Nº.2 Deflexiones medidas**

Estacionamiento	Ensayo	Presión (kpa)	Temp. Aire (°C)	Temp. Pav. (°C)	DEFLEXION $\mu\text{m} = (\text{m} \cdot 10^{-6})$						
					D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
344+192	1	577.6	34.6	51.0	788.3	338.0	109.1	43.8	30.1	25.5	19.4
344+192	2	577.3	34.8	50.9	787.6	338.4	109.1	43.4	30.6	25.6	19.6
344+192	3	578.3	34.7	51.0	788.1	338.0	110.6	43.5	30.1	25.5	19.7
<b>344+192</b>		<b>577.7</b>	<b>34.7</b>	<b>51.0</b>	<b>788.0</b>	<b>338.1</b>	<b>109.6</b>	<b>43.6</b>	<b>30.3</b>	<b>25.5</b>	<b>19.6</b>
344+167	1	580.8	35.2	55.2	410.7	154.5	66.8	43.3	32.6	24.8	21.8
344+167	2	580.5	35.2	55.1	410.9	154.8	66.0	42.9	32.8	24.4	21.8
344+167	3	581.3	35.1	55.2	411.3	154.1	67.1	43.3	32.7	24.4	21.8
<b>344+167</b>		<b>580.9</b>	<b>35.2</b>	<b>55.2</b>	<b>411.0</b>	<b>154.5</b>	<b>66.6</b>	<b>43.2</b>	<b>32.7</b>	<b>24.5</b>	<b>21.8</b>
344+154	1	572.3	35.2	55.7	444.1	208.4	100.9	43.5	20.6	15.8	11.9
344+154	2	571.9	35.2	55.6	445.7	209.7	100.3	43.5	20.4	15.6	11.7
344+154	3	571.8	35.2	55.6	444.7	208.5	99.8	43.9	20.2	15.7	11.8
<b>344+154</b>		<b>572.0</b>	<b>35.2</b>	<b>55.6</b>	<b>444.8</b>	<b>208.9</b>	<b>100.3</b>	<b>43.6</b>	<b>20.4</b>	<b>15.7</b>	<b>11.8</b>
344+117	1	571.4	32.7	58.0	398.0	182.7	100.4	47.6	29.6	22.1	9.9
344+117	2	571.2	32.7	57.8	399.3	182.0	100.4	47.2	29.6	22.1	9.8
344+117	3	570.1	32.4	57.5	398.8	182.9	101.0	47.8	29.9	22.0	9.9
<b>344+117</b>		<b>570.9</b>	<b>32.6</b>	<b>57.8</b>	<b>398.7</b>	<b>182.5</b>	<b>100.6</b>	<b>47.5</b>	<b>29.7</b>	<b>22.1</b>	<b>9.9</b>

**A- 57. Reporte de deflexiones en la SC 60001, estación 350+080.**

Día 1. Sección 60012, estación 605+650										
Fecha:										
Hora/Sentido	La Guaria – Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Tránsito horario	Procentaje(%)
6:00am - 7:00am										
7:00am - 8:00am										
8:00am - 9:00am										
9:00am – 10:00am										
10:00am – 11:00 am										
11:00am – 12:00md										
1:00pm – 2:00pm										
2:00pm – 3:00pm										
3:00pm-4:00pm										
4:00pm-5:00pm										
Sumatoria por tipos de vehículos										
<b>Tránsito diario por sentido</b>										
Hora/Sentido	Río Claro-La Guaria.									
6:00am - 7:00am										
7:00am - 8:00am										
8:00am - 9:00am										
9:00am – 10:00am										
10:am – 11:00 am										
11:00am – 12:00md										
1:00pm - 2:00pm										
2:00pm – 3:00pm										
3:00pm - 4:00pm										
4:00pm – 5:00pm										
Sumatoria por tipos de vehículos										
<b>Tránsito diario por sentido</b>										
<b>Tránsito diario total</b>										

A- 58. Hoja para el conteo Vehicular en la SC 60012, estación 605+650.

Día 1. Sección 60001, estación 350+080										
Fecha:										
Hora /Sentido	Paso Canoas- Río Claro.									
	Liviano	CL	Bus	C2+	C2	C3	T2-S3	T3-S3	Tránsito horario	Porcentaje(%)
6:00am - 7:00am										
7:00am - 8:00am										
8:00am-9:00am										
9:00am-10:00am										
10:00am - 11:00am										
11:00am - 12:00am										
1:00pm – 2:00pm										
2:00pm - 3:00pm										
3:00pm - 4:00pm										
4:00pm - 5:00pm										
Sumatoria por tipo de vehiculo										
<b>Tránsito diario total</b>										

A- 59. Hoja para el conteo vehicular en la SC 60001, estación 350+080.

RUTA	SECCIÓN	ESTACIÓN	AÑO	TPD	LIVIANO	CARGA_LIV	BUS	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
2	30690	0	2010	2643	50,54	20,61	6,51	9,11	1,95	0	11,28	0
2	30680	0	2017	2945	58,46	23,39	5,79	8,13	1,11	0	3,12	0
2	10020	741	2015	2500	59,83	17,68	4,38	7,31	2,59	0	8,2	0
2	10010	709	2016	6730	66,1	20,81	3,02	6,04	0	0	3,36	0,67
2	10002	706	2016	14325	52,77	30,9	2,51	7,54	3,27	0,5	2,01	0,5
2	60052	228	2015	2155	49,38	29,86	4,97	10	2,65	0,14	2,59	0,41
2	60040	710	2016	1632	42,39	23,91	4,35	8,7	11,96	2,17	5,43	1,09
2	60030	0	2015	3080	53,57	24	2,72	8	2,42	1,98	4,4	2,91
2	60020	223	2015	2657	57,69	17,63	3,21	14,02	1,09	0,4	4,24	1,72
2	60012	711	2015	5179	58,09	15,56	2,76	8,68	3,38	0,18	8,71	2,64
2	60011	712	2015	9368	69,13	13,56	3,28	5,78	1,01	1,28	3,43	2,53
2	60001	4	2015	6176	48,34	16,21	2,68	5,74	4,63	2,49	8,33	11,58
3	40000	2	2015	36480	79,19	9,52	4,01	4,65	0,92	0,32	1,16	0,23
3	40000	124	2015	28323	78,1	11,6	4,4	4,27	0,62	0,14	0,77	0,1
3	40000	0	2017	32138	76,73	13,07	4,14	4,92	0,69	0,03	0,43	0
3	40000	125	2015	26047	76,94	10,5	7,73	3,52	0,74	0,1	0,37	0,1
3	40000	0	2015	24251	79,38	10,59	5,79	3,34	0,56	0,11	0,18	0,05
3	40010	206	2015	30452	77,84	12,62	3,65	4,61	0,59	0,28	0,25	0,16
3	40750	529	2015	25161	75,7	14,63	1,41	6,3	0,97	0,32	0,53	0,14
3	20132	528	2015	24503	78,86	10,96	6,47	3,02	0,52	0,02	0,12	0,03
3	20141	0	2015	15520	73,18	12,09	10,65	3,33	0,65	0,03	0,06	0,01
3	20142	527	2017	13546	67,02	16,65	9,06	6,43	0,53	0	0,32	0
3	20070	542	2017	8143	61,32	24,78	2,32	8,2	1,78	0	1,25	0,36
3	20070	0	2017	8935	61,35	23,93	2,45	8,18	3,68	0	0,41	0
3	20081	543	2015	10742	65,84	17,71	1,96	9,97	2,7	0,07	1,6	0,15
3	20082	0	2015	7247	59,56	19,73	3,16	10,56	4,17	0,14	2,39	0,29
3	20090	545	2015	3965	68,27	19,11	4,37	7,41	0,47	0,22	0,09	0,06

A- 60. Datos de tránsito de las estaciones temporales en rutas primarias.

Vehículo	Factor camión		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Pick-up	0.01	0.02 ✓	0.01
C2 -eje simple trasero	0.01	0.07	0.26
C2 -eje tandem trasero (*)	0.26	0.63 ✓	0.47
C3	0.99	1.28 ✓	1.10
Bus	1.25	2.29 ✓	1.71 ✓
T3-S2	1.51	2.38 ✓	1.71

(\*) De no contarse con elementos para separar entre camiones C2 con eje simple trasero y C2 con eje tandem trasero, se considerarán todos como camiones C2 de eje tandem trasero.

**A- 61. Factores camión promedio presentes en el oficio DVOP 5170.**

Zona	TPD	Nivel de confianza	Índice de servicio terminal PSI
Rutas primarias	Menor a 500	75	2.0
	Entre 500 y 2000	85	2.5
	Mayor a 2000	90	2.5 ✓
Rutas secundarias	Menor a 500	70	2.0
	Entre 500 y 2000	80	2.0
	Mayor a 2000	85	2.5
Rutas terciarias	Menor a 500	70	2.0
	Entre 500 y 2000	75	2.0
	Mayor a 2000	80	2.0

**A- 62. Nivel de confianza e índice de servicio terminal.**

Tipo de pavimento	Índice de servicio inicial	Índice de servicio terminal (final del periodo de diseño)		
		Inter-estatales o autopistas mayores	Arterias principales y colectores	Calles y arterias menores
Flexible	4.2	3.0	2.5	2.0
Semi-rígido	4.3 - 4.4			
Rígido	4.5			

**A- 63. Índice de servicio inicial  $P_o$  e índice de servicio terminal.**

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4	5
	Diámetro de Dovelas cm (plg)	Largo de Dovelas (cm)	Diámetro comercial de dovela (plg)	Profundidad de dovelas (cm)	Separación entre dovelas (cm)
15	1.88 (0.74)	28	3/4	7.50	30.00
16	2.01 (0.79)	29	3/4	8.00	30.00
17	2.13 (0.84)	31	7/8	8.50	30.00
18	2.26 (0.89)	32	7/8	9.00	30.00
19	2.39 (0.94)	34	1	9.50	30.00
20	2.49 (0.98)	35	1	10.00	30.00
21	2.62 (1.03)	37	1	10.50	30.00
22	2.74(1.08)	38	1 1/8	11.00	30.00
23	2.87 (1.13)	40	1 1/8	11.50	30.00
24	3.00 (1.18)	41	1 1/8	12.00	30.00
25	3.12 (1.23)	43	1 1/4	12.50	30.00
26	3.25 (1.28)	44	1 1/4	13.00	30.00
27	3.38 (1.33)	46	1 3/8	13.50	30.00
28	3.51(1.38)	47	1 3/8	14.00	30.00
29	3.63 (1.43)	49	1 3/8	14.50	30.00
30	3.76 (1.48)	50	1 1/2	15.00	30.00
31	3.89 (1.53)	52	1 1/2	15.50	30.00
32	3.99 (1.57)	53	1 1/2	16.00	30.00
33	4.11 (1.62)	55	1 5/8	16.50	30.00
34	4.24 (1.67)	56	1 5/8	17.00	30.00
35	4.37 (1.72)	58	1 3/4	17.50	30.00

Columna 1: El diámetro de la dovela, es de 1/8 del espesor de la losa, en pulgadas  
Columna 2: Largo de dovelas es igual a 12 veces su diámetro más 5 centímetros  
Columna 3: Diámetro de la dovela convertido a Diámetro comercial, en pulgadas  
Columna 4: La profundidad de instalación de la dovela es 1/2 del espesor de la losa, en centímetros  
Columna 5: La separación recomendable entre dovelas, en centímetros

**A- 64. Resumen de especificaciones para la colocación de dovelas.**

NOTE :  
DISPLACEMENTS : X-DISP, Y-DISP, Z-DISP  
NORMAL STRAINS : EXX, EYY, EZZ  
NORMAL STRESSES : SXX, SYX, SZZ  
ms : micro-strain  
SHEAR STRAINS : GXY, GXZ, GYZ  
SHEAR STRESSES : TXY, TXZ, TYZ

POINT	X-DISP(m) Exx(ms) Sxx(kPa)	Y-DISP(m) Eyy(ms) Syy(kPa)	Z-DISP(m) Ezz(ms) Szz(kPa)	Gxy(ms) Txy(kPa)	Gxz(ms) Txz(kPa)	Gyz(ms) Tyz(kPa)
1	-.65859E-08 .15193E+03 .15808E+04	.10118E-04 .11648E+03 .14451E+04	.49068E-03 -.44877E+02 .82700E+03	.11271E-01 .21587E-01	-.85309E-16 -.16338E-15	-.57304E-14 -.10975E-13
2	.18174E-08 -.41969E+02 -.23390E+02	.19749E-05 -.40211E+02 -.16656E+02	.48670E-03 .11292E+03 .56990E+03	-.42083E-03 -.80598E-03	.72253E-01 .13838E+00	-.20367E+02 -.39008E+02
3	.49150E-09 -.11492E+02 .11526E+03	.98789E-07 .68616E+02 .42210E+03	.48618E-03 -.21483E+02 .76988E+02	.14230E-02 .27253E-02	.37726E-01 .72253E-01	.20648E+01 .39544E+01
4	.63919E-08 -.14595E+03 -.44881E+03	-.11241E-04 -.97650E+02 -.36168E+03	.46962E-03 .15542E+03 .94773E+02	-.15845E-01 -.14290E-01	.19345E-01 .17446E-01	-.18971E+02 -.17109E+02
5	.66108E-08 -.14736E+03 -.41203E+03	-.71234E-07 -.49583E+02 -.23567E+03	.48089E-03 .12745E+03 .83625E+02	-.19567E-02 -.17646E-02	.16806E-01 .15156E-01	.10368E+00 .93505E-01
6	.45381E-08 -.99240E+02 .43627E+00	-.13900E-04 -.87253E+02 .78964E+00	.38146E-03 .21184E+03 .96068E+01	-.89869E-02 -.13247E-02	.26223E-01 .38653E-03	-.78458E+02 -.11565E+01
7	.50910E-08 -.10226E+03 .41317E+00	-.13643E-06 -.94899E+02 .63005E+00	.38549E-03 .22299E+03 .10001E+02	-.56765E-02 -.83672E-04	.28869E-01 .42554E-03	-.77839E+00 -.11473E-01

END DATE : 7-30-2021  
END TIME : 20:50:37  
END OF TEXT OUTPUT FTI F

**A- 65. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos generados en la estructura de pavimento flexible. Intervención 1, SC 60012.**

POINT	X-DISP(m)	Y-DISP(m)	Z-DISP(m)	Gxy(ms)	Gxz(ms)	Gyz(ms)
	Exx(ms) Sxx(kPa)	Eyy(ms) Syy(kPa)	Ezz(ms) Szz(kPa)	Txy(kPa)	Txz(kPa)	Tyz(kPa)
1	.56406E-08 .13006E+03 .14266E+04	.85086E-05 .10415E+03 .13273E+04	.44804E-03 -.26467E+02 .82700E+03	.84522E-02 .16188E-01	.32704E-15 .62636E-15	-.14820E-14 -.28384E-14
2	.16325E-08 -.37813E+02 .19174E+02	.25613E-05 -.37303E+02 .21129E+02	.44353E-03 .11182E+03 .59233E+03	.71965E-04 .13783E-03	.65122E-01 .12472E+00	-.17314E+02 -.33159E+02
3	.27187E-09 -.67726E+01 .15663E+03	.10544E-06 .73236E+02 .46310E+03	.44014E-03 -.25609E+02 .84481E+02	.15733E-02 .30133E-02	.31293E-01 .59933E-01	.19723E+01 .37774E+01
4	.47891E-08 -.10860E+03 -.33753E+03	-.98968E-05 -.72964E+02 -.27327E+03	.42210E-03 .11424E+03 .64385E+02	-.12322E-01 -.11112E-01	.11750E-01 .10597E-01	-.15030E+02 -.13555E+02
5	.51701E-08 -.11361E+03 -.33612E+03	-.80496E-07 -.56017E+02 -.23224E+03	.43100E-03 .10728E+03 .62292E+02	-.21971E-02 -.19814E-02	.11411E-01 .10290E-01	-.25142E-01 -.22674E-01
6	.36181E-08 -.78478E+02 .53121E+00	-.11164E-04 -.70145E+02 .77685E+00	.35503E-03 .17007E+03 .78583E+01	-.73359E-02 .17007E+03 -.10813E-03	.19328E-01 .28490E-03	-.58560E+02 -.86318E+00
7	.40847E-08 -.80552E+02 .51281E+00	-.10859E-06 -.75545E+02 .66042E+00	.35799E-03 .17786E+03 .81309E+01	-.50543E-02 -.74501E-04	.21313E-01 .31415E-03	-.57862E+00 -.85289E-02

END DATE : 7-31-2021  
END TIME : 10:33:49  
END OF TEXT OUTPUT FILE

A- 66. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos generados en la estructura de pavimento flexible. Intervención 2, SC 60012.

NOTE :  
DISPLACEMENTS : X-DISP, Y-DISP, Z-DISP  
NORMAL STRAINS : EXX, EYY, EZZ  
NORMAL STRESSES : SXX, SYY, SZZ  
ms : micro-strain  
SHEAR STRAINS : GXY, GXZ, GYZ  
SHEAR STRESSES : TXY, TXZ, TYZ

POINT	X-DISP(m)	Y-DISP(m)	Z-DISP(m)	Gxy(ms)	Gxz(ms)	Gyz(ms)
	Exx(ms) Sxx(kPa)	Eyy(ms) Syy(kPa)	Ezz(ms) Szz(kPa)	Txy(kPa)	Txz(kPa)	Tyz(kPa)
1	.65522E-08 -.15056E+03 -.10340E+04	-.96667E-05 -.10332E+03 -.85303E+03	.45298E-03 .15156E+03 .12328E+03	-.14938E-01 -.28610E-01	.13421E-01 .25705E-01	-.97349E+01 -.18644E+02
2	.63268E-08 -.14272E+03 -.83550E+03	-.33791E-07 -.23534E+02 -.37898E+03	.46806E-03 .10162E+03 .10040E+03	-.10515E-02 -.20138E-02	.97135E-02 .18603E-01	.17604E+00 .33715E+00
3	.55068E-08 -.12161E+03 .44325E+00	-.16967E-04 -.10521E+03 .92666E+00	.35102E-03 .25719E+03 .11610E+02	-.10596E-01 -.15618E-03	.34226E-01 .50449E-03	-.10118E+03 -.14914E+01
4	.61352E-08 -.12576E+03 .42157E+00	-.16614E-06 -.11553E+03 .72339E+00	.35637E-03 .27241E+03 .12160E+02	-.60426E-02 -.89068E-04	.37654E-01 .55502E-03	-.10076E+01 -.14852E-01

A- 67. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimento flexible. Intervención 3, SC 60012.

```

NOTE :
DISPLACEMENTS : X-DISP, Y-DISP, Z-DISP
NORMAL STRAINS : Exx, Eyy, Ezz          SHEAR STRAINS : Gxy, Gxz, Gyz
NORMAL STRESSES : Sxx, Syy, Szz        SHEAR STRESSES : Txy, Txz, Tyz
ms : micro-strain

```

POINT	X-DISP(m) Exx(ms) Sxx(kPa)	Y-DISP(m) Eyy(ms) Syy(kPa)	Z-DISP(m) Ezz(ms) Szz(kPa)	Gxy(ms) Txy(kPa)	Gxz(ms) Txz(kPa)	Gyz(ms) Tyz(kPa)
1	-.84075E-08 .19444E+03 .18827E+04	.88025E-05 .14134E+03 .16793E+04	.25616E-03 -.81168E+02 .82700E+03	.15735E-01 .30135E-01	.22181E-15 .42480E-15	-.20061E-14 -.38421E-14
2	.46842E-08 -.10869E+03 -.57131E+03	-.18551E-05 -.87849E+02 -.49147E+03	.25078E-03 .16187E+03 .46506E+03	-.62183E-02 -.11909E-01	.78629E-01 .15059E+00	-.14276E+02 -.27341E+02
3	.31281E-08 -.72247E+02 -.23207E+03	.94784E-07 .65875E+02 .29700E+03	.24937E-03 .16368E+02 .10737E+03	.13704E-02 .26247E-02	.41234E-01 .78972E-01	.23243E+01 .44516E+01
4	.96738E-08 -.22382E+03 -.41798E+03	-.10592E-04 -.15091E+03 -.32891E+03	.23793E-03 .27334E+03 .18944E+03	-.21797E-01 -.13316E-01	.64945E-01 .39674E-01	-.35334E+02 -.21585E+02
5	.89388E-08 -.20497E+03 -.30502E+03	.13836E-07 .95907E+01 -.42866E+02	.24359E-03 .15709E+03 .13735E+03	-.15267E-03 -.93265E-04	.47338E-01 .28918E-01	.10216E+01 .62407E+00
6	.43707E-08 -.10007E+03 -.19532E+02	-.11151E-04 -.66365E+02 -.11020E+02	.16002E-03 .21188E+03 .59238E+02	-.11032E-01 -.13928E-02	.38317E-01 .48377E-02	-.79473E+02 -.10034E+02
7	.48305E-08 -.10841E+03 -.21315E+02	-.11021E-06 -.76619E+02 -.13288E+02	.16698E-03 .23301E+03 .64895E+02	-.15448E-02 -.19503E-03	.42454E-01 .53599E-02	-.73450E+00 -.92732E-01
8	.21975E-08 -.49778E+02 -.14727E+00	-.64590E-05 -.38475E+02 .25839E+01	.12446E-03 .11348E+03 .35345E+02	-.44429E-02 -.47892E-03	.20197E-01 .21771E-02	-.54640E+02 -.58898E+01
9	.24154E-08 -.52689E+02 .13505E+00	-.64398E-07 -.44774E+02 .18415E+01	.12773E-03 .12412E+03 -.38253E+02	-.12677E-02 -.13666E-03	.22320E-01 .24060E-02	-.55148E+00 -.59446E-01

END DATE : 7-30-2021  
END TIME : 23:43:54  
END OF TEXT OUTPUT FILE

A- 68. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimentos semi-rígidos. Intervención 1 SC 60001.

```

*****
** 3D-Node Analysis (V 2.0) Updated on February 2013 **
** Developed by University of Nevada, Reno **
** Text Output - Static Analysis **
*****
NOTE :
DISPLACEMENTS : X-DISP, Y-DISP, Z-DISP
NORMAL STRAINS : Exx, Eyy, Ezz          SHEAR STRAINS : Gxy, Gxz, Gyz
NORMAL STRESSES : Sxx, Syy, Szz        SHEAR STRESSES : Txy, Txz, Tyz
ms : micro-strain

```

POINT	X-DISP(m) Exx(ms) Sxx(kPa)	Y-DISP(m) Eyy(ms) Syy(kPa)	Z-DISP(m) Ezz(ms) Szz(kPa)	Gxy(ms) Txy(kPa)	Gxz(ms) Txz(kPa)	Gyz(ms) Tyz(kPa)
1	-.69228E-08 .15998E+03 .10372E+04	.77429E-05 .12081E+03 .14072E+04	.22608E-03 -.51508E+02 .82700E+03	.11716E-01 .20438E-01	.36091E-16 .69807E-16	.20595E-14 .51632E-14
2	.35805E-08 -.83347E+02 -.35973E+03	-.15157E-06 -.73471E+02 -.32398E+03	.22117E-03 .14770E+03 .52553E+03	-.29417E-02 -.56340E-02	.67915E-01 .13007E+00	-.16290E+02 -.31899E+02
3	.19276E-08 -.44782E+02 -.57760E+02	.10055E-06 .74053E+02 .39700E+03	.21754E-03 .18170E+03 .99124E+02	.15408E-02 -.29624E-02	.35052E-01 .08050E-01	.19560E+01 -.37470E-01
4	.96306E-08 -.15993E+03 -.10009E+03	-.10484E-04 -.10302E+03 -.23135E+03	.18080E-03 .20899E+03 .12549E+03	-.17280E-01 -.10562E-01	.37307E-01 .22795E-01	-.30095E+02 -.18388E+02
5	.69993E-08 -.15965E+03 -.20528E+03	-.50260E-07 .34959E+02 -.11231E+03	.20808E-03 .14537E+03 .10745E+03	-.86028E-03 -.52503E-03	.31819E-01 .19441E-01	.30822E+00 .18832E+00
6	.33723E-08 -.70045E+02 -.14751E+02	-.90974E-05 -.54030E+02 -.89661E+01	.14558E-03 .16080E+03 .47108E+02	-.78835E-02 -.99531E-03	.28547E-01 .36041E-02	-.63336E+02 -.79963E+01
7	.32338E-08 -.82600E+02 -.10793E+03	-.89970E-07 -.62555E+02 -.10932E+02	.15076E-03 .18376E+03 .51264E+02	-.14390E-02 -.18108E-03	.31630E-01 .39933E-02	-.60033E+00 -.75793E-01
8	.17365E-08 -.10126E+02 .21262E+00	-.52330E-05 -.16125E+02 .18298E+01	.11484E-03 .90007E+02 .28225E+02	-.32981E-02 -.35551E-03	.14313E-01 .15428E-02	-.40400E+02 -.43540E+01
9	.10072E-08 -.41054E+02 .19300E+00	-.51848E-07 -.36040E+02 .12729E+01	.11722E-03 .10799E+02 -.00109E+02	-.11922E-02 -.12891E-03	.15740E-01 .10960E-02	-.40580E+00 -.43752E-01

END DATE : 7-30-2021  
END TIME : 23:24:41  
END OF TEXT OUTPUT FILE

A- 69. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimentos semi-rígido. Intervención 2 SC 60001

POINT	X-DISP(m)			Y-DISP(m)			Z-DISP(m)		
	E <sub>xx</sub> (ms)	E <sub>yy</sub> (ms)	E <sub>zz</sub> (ms)	S <sub>xx</sub> (kPa)	S <sub>yy</sub> (kPa)	S <sub>zz</sub> (kPa)	G <sub>xy</sub> (ms)	G <sub>xz</sub> (ms)	G <sub>yz</sub> (ms)
1	-.77767E-08	.96665E-05	.23375E-03	.17979E+03	.12133E+03	-.62495E+02	.17184E-01	.45578E-15	-.34623E-14
2	.17550E+04	.15311E+04	-.82700E+03	.32912E-01	.87291E-15	-.66311E-14			
3	.63898E-08	-.68853E-05	.22397E-03	-.14786E+03	-.10117E+03	.15986E+03	-.13976E-01	.56382E-01	-.11631E+02
4	-.96486E+03	-.78601E+03	.21386E+03	-.26766E-01	.10798E+00	-.22275E+02			
5	.57674E-08	.14653E-07	.23376E-03	-.13227E+03	.10169E+02	.81843E+02	.51279E-04	.28775E-01	.15956E+01
6	-.68652E+03	-.14094E+03	.13360E+03	.98209E-04	.55110E-01	.30560E+01			
7	.80460E-08	-.92567E-05	.22164E-03	-.18612E+03	-.12606E+03	.46483E+03	-.18023E-01	.22663E+00	-.13768E+03
8	-.26872E+02	.40413E+02	.17363E+03	-.20316E-02	.25547E-01	-.15520E+02			
9	.73996E-08	.54306E-08	.22606E-03	-.16954E+03	.37543E+01	.31176E+03	-.12035E-03	.16768E+00	.32572E+01
10	-.27599E+02	.66668E+02	.13611E+03	-.13567E-04	.18902E-01	.36717E+00			
11	.48306E-08	-.12217E-04	.15334E-03	-.11073E+03	-.72669E+02	.22134E+03	-.12325E-01	.48533E-01	-.99637E+02
12	-.78534E+01	.72646E+00	.67011E+02	-.13893E-02	.54709E-02	-.11232E+02			
13	.53470E-08	-.12067E-06	.16117E-03	-.12009E+03	-.83889E+02	.24482E+03	-.16126E-02	.53706E-01	-.91488E+00
14	-.12009E+03	-.49790E+00	.73609E+02	-.86592E+01	-.18178E-03	.60540E-02	-.18178E-03	.60540E-02	-.10313E+00
15	.24674E-08	-.72125E-05	.11558E-03	-.56019E+02	-.42773E+02	.12721E+03	-.50469E-02	.23392E-01	-.62764E+02
16	-.17758E+00	.30332E+01	.39680E+02	-.54403E-03	.25215E-02	-.67656E+01			
17	.27108E-08	-.72054E-07	.11939E-03	-.59432E+02	-.50093E+02	.13971E+03	-.13254E-02	.25872E-01	-.63437E+00
18	-.20116E+00	.22146E+01	.43134E+02	-.14287E-03	.27889E-02	-.68382E-01			

A- 70. Desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en la estructura de pavimento semi-rígido. Intervención 3 SC 60001.

**CUADRO GENERAL DE ESTIMACIÓN**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES  
CONSEJO DE NACIONALIDAD VIAL  
GERENCIA DE CONSERVACIÓN DE VÍAS Y PUENTES**

**LINEA 8 ZONA 4-3, REGIÓN IV BRUNCA**

ITEM			
N° ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
M403(1) A	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	1,079,991.82
M41(A2)	Bacheo a profundidad parcial con mezcla asfáltica en caliente	t	75,572.56
M42(B)	Perfilado de pavimento	m2	1,156.10
M45(A)	Pavimento bituminoso en caliente	t	57,683.03
M45(E)	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	t	79,936.04
M40(A)	Levantamiento de tapas de pozos	u	50,839.57
M43(C)	Ruteo y sellado de grietas	m	2,298.92
M47(B)	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	m2	4,034.35
CR.301.03	Suministro, colocación y compactación de base granular	m3	22,181.21
CR.301.06	Suministro, colocación y compactación sub base granular	m3	18,399.01
MCR.408(5)	Material de secado	m3	29,772.00
M30(A)	Reacondicionamiento de la calzada	m2	1,300.65
CR.302.03	Cemento Pórtland	t	198,537.32
MCR.702.03	Emulsión asfáltica para imprimación	l	395.87
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Línea continua negra)	m2	5,789.45
CR.634.04	Señalamiento tipo A (Línea Intermitente amarilla)	km	385,603.48
CR.634.04	Señalamiento tipo A (Línea Continua amarilla)	km	616,670.70
CR.634.04	Señalamiento tipo A (Línea continua blanca)	km	631,655.61
CR.634.04	Señalamiento tipo A (Línea Intermitente blanca)	km	391,839.28
CR.634.04	Señalamiento tipo A (Línea Intermitente blanca corta)	km	382,873.00
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Letreros de Alto)	m2	14,650.96
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Letreros de Ceda)	m2	14,056.19
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Letreros de Velocidad de KPH)	m2	13,122.02
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Letreros de Escuela)	m2	11,167.47
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Letreros de Solo)	m2	17,329.06
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Sendas peatonales)	m2	12,648.39
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Cruce de ferrocarril)	m2	10,291.14
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Flechas)	m2	12,721.51
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Isla de Canalización Amarilla)	m2	13,600.02
CR.634.02	Señalamiento tipo A (Isla de Canalización Blanca)	m2	13,687.33
CR.634.042	Señalamiento tipo I (Línea Intermitente amarilla)	km	769,692.22
CR.634.04	Señalamiento tipo I (Línea Continua amarilla)	km	1,651,577.52
CR.634.04	Señalamiento tipo I (Línea continua blanca)	km	1,657,661.62
CR.634.04	Señalamiento tipo I (Línea Intermitente blanca)	km	767,701.65
CR.634.04	Señalamiento tipo I (Línea Intermitente blanca corta)	km	807,721.42
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de Alto)	m2	33,654.10
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de Ceda)	m2	32,113.16
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de Velocidad de KPH)	m2	27,152.02
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de Escuela)	m2	27,242.60
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Letreros de Solo)	m2	32,383.81
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Sendas peatonales)	m2	18,159.55
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Cruce de ferrocarril)	m2	20,665.22
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Flechas)	m2	20,285.44
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Isla de Canalización Amarilla)	m2	18,447.66
CR.634.02	Señalamiento tipo I (Isla de Canalización Blanca)	m2	18,447.66
CR.634.05	Señales rígidas sobre pavimento (Captaluces 2 Cara Roja)	u	3,426.74
CR.634.05	Señales rígidas sobre pavimento (Captaluces 2 Caras Amarillas)	u	3,426.74
CR.634.05	Señales rígidas sobre pavimento (Captaluces 1 Cara blanca)	u	3,197.57
CR.634.05	Señales rígidas sobre pavimento (Captaluces 1 Cara blanca 1 Cara roja)	u	3,426.74
MDV-01	Perfilado de pavimento para borrado de demarcación horizontal	m2	16,345.78
CR.502.01	Bacheo del pavimento de concreto	m2	26,461.93
CR.502.02	Sellado de juntas y grietas	m	3,739.54
CR.502.03	Lechada	m3	414,431.04
CR.502.04	Orificios para el sello	und	12,504.30
CR.502.05	Fresado de la Superficie (diamante)	m2	1,045.77
CR.502.06	Quebrado y asiento del pavimento de concreto	m2	4,895.93
CR.502.07	Fracturación y asiento del Pavimento de Concreto	m2	4,895.93
CR.502.08	Encasotado y compactado del pavimento de concreto	m2	17,015.99
CR.503.01	Sobrecapa de concreto hidráulico	m2	54,239.82
CR.501.01	Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo	m2	56,801.67
CR.501.02	Pavimento de concreto hidráulico sin refuerzo	m2	54,600.66
CR.719.02.ARS.7	Geogrilla tejida MANGRID AR 5.7	m2	3,250.16

**A- 71. Estimación de costos licitación pública 2014LN-000018-0CV00.**

Site/ Project Identification

Location: Puntarenas, Golfito, Guaycara.

Project ID: Estrategias de intervencion a problemas de

Section ID: 60012, estacion 605+650

Date of Construction: martes , 21 de septiembre de 2021

---

Station / Milepost Format: km : 0.00

Station / Milepost Begin: 305+481

Station / Milepost End: 306+027

Traffic Direction: SouthBound

Project Description: Sitio conocido como "km 35 puesto de control fronterizo"

Cancel OK

A- 72. Identificación del proyecto para uno de los tramos estudiados en el software 3D Move.

Option B : User-Selected Pre-Defined Axle/Tire Configuration (Uniform Pressure)

Reference Title for Axle: Medio Eje dual

Tire Pressure: 827 kPa      Tire Load: 20.1 kN

Geometry of Loaded Area

Circle       Ellipse       Rectangle

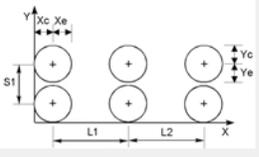


Note :  $R = \sqrt{\frac{Tire Load}{\pi \times Tire Pressure}}$

Calculated R: 0.088 m

Axle Spacing

L1: 0 m      L2: 0 m      S1: 0.3 m



Xc = 0.088 m      Yc = 0.088 m  
Xe = 0.088 m      Ye = 0.088 m

Friction Coefficient

Rolling Friction Coefficient

Bracking Friction Coefficient

Note : Default for Friction Coefficient is zero.

Note :

1. As many as , six Single Loaded Areas can be specified
2. A Single Tire can be represented by using S1 = L1 = L2 = 0
3. A Single Axle Dual Tire can be represented by L1 = L2 = 0 and S1 ≠ 0
4. A Tandem Axle Dual Tire can be represented by L2 = 0 and S1 ≠ 0 , L1 ≠ 0
5. L1 > Xc+Xe, L2> Xc+Xe, and S1 > Yc+Ye.

Cancel Previous Next OK

A- 73. Configuración de carga en el software 3D-Move

# Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2016). Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity ( $G_{mb}$ ) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens AASHTO T 166-16.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2018). Standard Method of Test for Determining the Asphalt Binder Content of Asphalt Mixtures by the Ignition Method AASHTO T 308-18.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2019). Standard Method of Test for Mechanical Analysis of Extracted Aggregate AASHTO T30-19.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2017). Standard Practice for Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes AASHTO M145-91.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2015). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures AASHTO T 245-15.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2019). Theoretical Maximum Specific Gravity ( $G_{mm}$ ) and Density of Asphalt Mixtures AASHTO T 209-19
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2017). Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials ASTM D3665-12
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2020). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys ASTM D6433-20.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2016). Standard Practice for Sampling Compacted Asphalt Mixtures for Laboratory Testing ASTM D5361/D6361M-16.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2016). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils ASTM D1883-16.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort(12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)) ASTM D698-12e2.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils ASTM D4318-17.

- Angulo, W. 2020. Oficio AV (4-3)-2020-079. CONSORCIO VIETO-POLIGONAL-IAA-LAUHER.
- Arias, D. et al... s.f. DETERMINACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO ÓPTIMO DE ACUERDO CON SU GRADO DE DESEMPEÑO ADECUADO A LA ZONA CLIMÁTICA DEL ALTIPLANO BOLIVIANO. Escuela de ingeniería, La PAZ-Bolivia. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1025/Determinacion%20del%20cemento%20asfaltico%20optimo%20de%20acuerdo%20a%20su%20grado%20de%20desempe%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, E. 2014. RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LA EVALUACION EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA INCORPORACIÓN DE CRITERIOS MECÁNICO-EMPÍRICO. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. San Pedro, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/126/LM-PI-GM-INF-22-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arriola, E. et al... 2012. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RURA NACIONAL N°613. SECCIÓN SABALITO-LAS MELLIZAS. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. San Pedro, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/870/LM-PI-AT-158-11.pdf?sequence=1&isAllowed=y23/3/2021>
- Brenes, A. 2020. DISEÑO MECANÍTICO-EMPÍRICO, OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y PLAN DE CONSERVACIÓN PARA LA RUTA NACIONAL 911. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica
- Castro, P. 2020. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE ACUERDO CON LA METODOLOGIA AASHTO 1993, 15 p. Material del curso Construcción de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, P. (2020). DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, 1 P. Material del curso Construcción de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, P. (2020). GENERALIDADES DE LA GUÍA DE DISEÑO AASHTO DE 1993, p1-2. Material del curso Construcción de Pavimentos. Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, P. 2020. INTRODUCCIÓN AI CURSO DE PAVIMENTOS, 1 p. Material del curso Construcción de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, P. 2017. Oficio DVOP-5170-07. Ministerio de Obras Públicas y Transporte
- Cerdas, M. 2018. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA MECANÍSTICA-EMPÍRICA PARA TRES RUTAS CANTONALES UBICADAS EN HEREDIA. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- García, A. 2015. DISEÑO DE PAVIMENTO ASFALTICO POR EL METODO AASHTO-93 EMPLEANDO EL SOFTWARE DISAASHTO-93. Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva GRANADA. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>
- Chacón, C. et al...2016. CLASIFICACIÓN DE LA FRACCION FINA DE MATERIALES PROVENIENTES DE CANTERAS ALEDRAÑAS A BOGOTÁ, A PARTIR

- DE SU VALOR AZUL DE METILENO Y SU RELACIÓN CON LA CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA AASHTO. Facultad de ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Recuperado de: [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13923/4/161209\\_TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13923/4/161209_TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf)
- Consejo de directores de Carreteras De Iberia e Iberoamérica. 2002. *CATALO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*. Volumen 11. México. Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manualfallas.pdf>
- Coronado, J. (2002). *MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS*. Secretaria de Integración Económica Centroamericana. Recuperado de: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4114/625.7-38.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bowles, J. 1981. *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL*. Universidad de Los Andes. Colombia. Recuperado de: <https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>.
- Barrera, J. 2014. *FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES*. Trabajo de graduación. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3838\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3838_C.pdf)
- Delgado, H. et al... 2017. *PROPUESTA DE METODO DE PRUEBA DE MODULO DINAMICO EN MEZCLAS ASFALTICAS PARA MÉXICO*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. México. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt507.pdf>
- Gaete, R. et al... S.f. *USO DEL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RECAPADOS ASFALTICOS SOBRE PAVIMENTOS DE HORMIGON*. Chile. Recuperado de: [http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos\\_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf](http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf)
- GEOSEISMIC. 2017. *¿QUÉ SON CALICATAS?* Recuperado de: <http://www.geoseismic.cl/calicatas/>
- Gordillo, D; Miguitama, B. 2018. *DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE MAYORACIÓN DEL TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARTIENDO DE DATOS HISTÓRICOS DE ZONAS REPRESENTATIVAS DE LA CIUDAD DE CUENCA*. Trabajo de titulación de ingeniero civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca. Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30317/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>
- Herrera, M. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS AASHTO 1993 Y 2002*. Tesis de Máster en Ingeniería Civil con mención en Ingeniería Vial. Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura. Recuperado de: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS\\_ICIV-L\\_025.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS_ICIV-L_025.pdf?sequence=1)
- Huang, Y. 2004. *Pavement Analysis and Design* 2ª ed. Pearson Prentice Hall.
- Hurtado, R 2016. *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO PARA USO EN LA RUTA CONTONAL EI GUARCO*. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7271>

Ingeniería Técnica de Proyectos. 2019. Diseño de mezcla asfáltica en caliente. Informe N°ITP-104-19.

Jiménez, N. 2013. GUÍA Y HERAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DESARROLLO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DIRIGIDA AL FORTALECIMIENTO DEL PROGRAMA MUNICIPAL MOPT-BID CANTONAL. Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.

Lazo, R. s.f. Metodología SUPERPAVE para el desarrollo de Pavimentos Asfálticos de alto desempeño. Recuperado de: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1692&ni=metodologia-superpave-para-el-desarrollo-de-pavimentos-asfalticos-de-alto-desempeno>

Leiva, F. (S.f). *Guía de diseño mecánica-empírica para estructuras de pavimento (Vistazo a la guía 2002, proyecto NCHRP I 37A)*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. Costa Rica. Recopilado de: [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/438/GUIA\\_DISENO\\_MECANISTICA\\_EMPIRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20enfoco%20emp%C3%ADrico%2Dmecanicista%20de,y%20de%20detriorio%20requeridos%20](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/438/GUIA_DISENO_MECANISTICA_EMPIRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20enfoco%20emp%C3%ADrico%2Dmecanicista%20de,y%20de%20detriorio%20requeridos%20)

Loría, L. (2013). *Desarrollo de la guía de diseño de pavimentos de Costa Rica: CR\_ME*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR San pedro, Costa Rica. Recopilado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/533/DESARROLLO%20DE%20LA%20GUIA%20DE%20DISENO%20DE%20PAVIM>

ENTOS%20DE%20COSTA%20RICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 2016. MANUAL DE AUSCULTACION VISUAL DE PAVIMENTOS DE COSTA RICA. San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/850/M anual%20de%20Auscultaci%c3%b3n-Profesionales\\_Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/850/M anual%20de%20Auscultaci%c3%b3n-Profesionales_Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ministerio de Obras Públicas y Transporte. 2010. MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS CAMINOS Y PUENTES CR-2010. Recuperado de: <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/28a27ca9-2ec2-49ae-838c-6f89e21d43b4/CR-2010.pdf?MOD=AJPERES>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 2019. ANUARIO DE INFORMACIÓN DE TRÁNSITO 2018. Recuperado de: <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/f9d4084d-6330-4c21-b947-61dabc81cdfd/AnuarioTransito2018.pdf?MOD=AJAJPER>

Murillo, J. 2018. DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN LA CALLE 1 DE SAN ISIDRO, PÉREZ ZELEDÓN, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA MECANÍSTICA EMPÍRICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS Y CREACIÓN DE UN PLAN DE CONSERVACIÓN. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.

Nikulín, C; Becker, G. 2015. *UNA METODOLOGÍA SISTÉMICA Y CREATIVA PARA LA GESTIÓN ESTRATÉGICA: CASO DE ESTUDIO REGIÓN DE ATACAMA-CHILE*. Journal of Technology Management & Innovation. Recuperado de:

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/jotmi/v10n2/art09.pdf>

Pérez, N. et al...2016. MODELO PARA ESTIMAR EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUELOS FINOS COMPACTADOS EN LA CONDICIÓN ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt475.pdf>

Salamanca, M; Zuluaga, S. (2014). DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLE POR MEDIO DE LOS MÉTODOS INVIAS, AASHTO 93 E INSTITUTO DEL ASFALTO PARA LA VÍA LA YE-SANTA LUCÍA BARRANCA LEBRIJA ENTRE LAS ABSCISAS K19+250 A K25+750 UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia

Sanabria, J. 2019. *INFORME DE EVALUACIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL PAVIMENTADA DE COSTA RICA*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1750/ERVN2018%20Firmado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Silva, J. s.f. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DESEMPEÑO, PG EN CEMENTOS ASFÁLTICOS. Laboratorio Nacional de Viabilidad. Gobierno de Chile. Recuperado de: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/SUPE RPAVE3.pdf>

Salazar, J. 2008. EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO EN COSTA RICA DE POLIMEROS MODIFICANTES DE ASFALTO INCORPORADO EN PLANTA. Laboratorio Nacional de

Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. San Pedro, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1464/UI-01-07%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Factibilidad%20del%20uso%20en%20Costa%20Rica%20de%20pol%C3%ADmeros%20modificantes%20de%20asfalto%20incorporados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tacza, E; Rodríguez, B. 2018. EVALUACIÓN DE FALLAS MEDIANTE EL MÉTODO PCI Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN PARA MEJORAR LA CONDICIÓN OPERACIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL CARRIL SEGREGADO DEL CORREDOR VIAL JAVIER PRADO. Tesis. Facultad de ingeniería. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Universidad Nacional de Colombia. 2006. *MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

Valverde, G. et al...2017. Oficio LM-PI-055-2017. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. San Pedro, Costa Rica.

Weather Spark. s.f. Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/>