

# **Propuesta de guía para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña**

# ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

## CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

### Propuesta de guía para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña


Llevado a cabo por la estudiante:

Zúñiga Estrada Kimberly

Carné: 2016200466

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el martes 14 de mayo de 2024 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 Firmado digitalmente por  
JOSE ANDRES ARAYA  
OBANDO (FIRMA)  
Fecha: 2024.05.20  
20:03:14 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando  
Director de la Escuela

Firmado digitalmente  
por SERGIO FERNANDEZ  
CERDAS (FIRMA)  
Fecha: 2024.05.15  
16:49:18 -06'00'

Ing. Sergio Fernández Cerdas, MSc.  
Profesor Guía

Firmado digitalmente por LUIS  
GUSTAVO ROJAS CHACON  
(FIRMA)  
Fecha: 2024.05.16 13:21:45  
-06'00'

Ing. Luis Gustavo Rojas Ch., MIV, MAP  
Profesor Lector

Firmado digitalmente por  
EZEQUIEL ALEJANDRO  
MEDINA ANGULO (FIRMA)  
Fecha: 2024.05.17 14:28:15  
-06'00'

Ing. Alejandro Medina Angulo, MSc.  
Profesor Observador

# Resumen

Se identificó en un inicio, las guías de verificación existentes para colocar y compactar una primera capa de mezcla asfáltica en caliente para Costa Rica, sin embargo, se reconoció la falta de lineamientos para proyectos bajo condiciones de montaña, donde la topografía y el clima no son convencionales, incidiendo en los resultados de campo, a razón de esto se elaboró la guía propuesta dirigida a las rutas de montaña.

Conforme a lo anterior mencionado, se realizó una revisión de la literatura para identificar cuando un proyecto se considera bajo condiciones de montaña, luego se reconoció los factores que inciden en campo, donde posteriormente se determinó por medio del análisis de proyectos ejecutados, visitas a campo, experiencia de ingenieros e informes, las particularidades y consideraciones a tomar en cuenta cuando los proyectos presentan condiciones de montaña. Respecto al equipo se exploró si el mismo tiene las características apropiadas.

Palabras clave: ruta de montaña, mezcla asfáltica en caliente, colocación, compactación, porcentaje de pendiente.

# Abstract

Initially, the existing verification guidelines for placing and compacting a first layer of hot asphalt mixture for Costa Rica were identified, however, the lack of guidelines for projects under mountain conditions, where topography and climate are not conventional, affecting field results, was recognized. For this reason, the proposed guide aimed at mountain routes was prepared.

Due to it, a literature review was carried out to identify when a project is considered to be under mountain conditions, then the factors affecting the field were recognized, and then it was determined through the analysis of executed projects, field visits, experience of engineers and reports, the particularities and considerations to be taken into account when the projects present mountain conditions. Regarding the equipment, it was explored if it has the appropriate characteristics.

Finally, the proposed guide was prepared, with the purpose of presenting solutions and considerations for projects under mountain conditions and a basis for proposing special specifications regarding mountain routes, so these conditions do not continue to be a limiting factor.

Key words: mountain route, hot asphalt mixture, placement, compaction, slope percentages.

# **Propuesta de guía para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña**

KIMBERLY ZÚÑIGA ESTRADA

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

Febrero del 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen ejecutivo .....  | 7  |
| Introducción .....   | 9  |
| Objetivos .....  | 9  |
| Alcances y limitaciones .....  | 10 |
| Agradecimientos .....  | 11 |
| Capítulo 1: Marco Teórico.....   | 12 |
| 1.1 Características geográficas de Costa Rica .....                                | 12 |
| 1.2 Mezcla asfáltica en caliente.....  | 13 |
| 1.2.1 Proceso de producción.....   | 14 |
| 1.3 Prácticas convencionales de colocación de mezcla asfáltica en caliente .....   | 15 |
| 1.4 Prácticas convencionales de compactación de mezcla asfáltica en caliente ..... | 16 |
| 1.5 Pruebas de Calidad .....   | 16 |
| 1.5.1 Diseño de mezcla de asfáltica en caliente .....                              | 17 |
| 1.5.2 Densidad en campo.....   | 19 |
| 1.6 Conceptos importantes.....   | 19 |
| Capítulo 2: Metodología .....  | 22 |
| Experiencia de ingenieros de campo .....   | 27 |
| Observaciones en campo .....   | 28 |
| Capítulo 3: Resultados .....   | 29 |
| 3.1 Clasificación de las carreteras en distintos países de América .....           | 29 |
| 3.1.1 Clasificación de las carreteras en Perú .....                                | 30 |
| 3.1.2 Clasificación de las carreteras en Bolivia.....                              | 32 |
| 3.1.3 Clasificación de las carreteras en México .....                              | 34 |
| 3.1.4 Clasificación de las carreteras en Guatemala.....                            | 35 |
| 3.1.5 Clasificación de las carreteras para Centroamérica .....                     | 36 |
| 3.2 Condiciones de montaña para Costa Rica.....                                    | 36 |
| 3.3 Proyectos bajo condiciones de montaña.....                                     | 41 |
| 3.3.1 Maquinaria utilizada.....  | 53 |
| 3.4 Visita a un proyecto .....   | 54 |
| 3.5 Informe de situaciones vividas en campo .....                                  | 58 |
| 3.6 Entrevista a expertos (Ingenieros de campo).....                               | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 3.7 Resumen de la información obtenida ..... | 64 |
| 3.7.1 Guía propuesta .....                   | 66 |
| Capítulo 4: Análisis de resultados .....     | 67 |
| Conclusiones y recomendaciones .....         | 73 |
| Referencias bibliográficas .....             | 76 |
| Apéndices .....                              | 80 |
| Anexos .....                                 | 81 |

# Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.....   | 12 |
| Índices de humedad presentes en diferentes zonas de Costa Rica.....                                     | 12 |
| Figura 2.....   | 13 |
| Zonas valoradas en el cálculo de índices de humedad en Costa Rica.....                                  | 13 |
| Figura 3.....   | 13 |
| Mapa de lluvia en el año en diferentes zonas de Costa Rica.....   | 13 |
| Figura 4.....   | 14 |
| Planta de mezcla asfáltica de producción continua.....  | 14 |
| Figura 5.....   | 15 |
| Planta de mezcla asfáltica de producción discontinua.....   | 15 |
| Figura 6.....   | 17 |
| Requisitos de diseño utilizando el método Marshall.....   | 17 |
| Figura 7.....   | 17 |
| Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) utilizando en método Marshall.....             | 17 |
| Figura 8.....   | 18 |
| Requisitos de desempeño utilizando el método Marshall.....  | 18 |
| Figura 9.....   | 18 |
| Ensayos y tolerancias para el diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el método Marshall..... | 18 |
| Figura 10.....  | 19 |
| Densímetro nuclear.....   | 19 |
| Figura 11.....  | 33 |
| Clasificación de carreteras y caminos en Bolivia.....   | 33 |
| Figura 12.....  | 35 |
| Clasificación de carreteras en México.....  | 35 |
| Figura 13.....  | 35 |
| Clasificación de regiones en Guatemala.....   | 35 |
| Figura 14.....  | 36 |
| Clasificación según la pendiente del terreno.....   | 36 |
| Figura 15.....  | 36 |
| Velocidad de diseño según la pendiente del terreno.....   | 36 |
| Figura 16.....  | 37 |
| Sistema montañoso de Costa Rica.....  | 37 |
| Figura 17.....  | 38 |
| Altitudes en las diferentes regiones de Costa Rica.....   | 38 |
| Figura 18.....  | 39 |
| Mapa de las regiones climáticas de Costa Rica.....  | 39 |
| Figura 19.....  | 41 |
| Curvas cerradas.....  | 41 |
| Figura 20.....  | 42 |
| Ubicación de los proyectos.....   | 42 |
| Figura 21.....  | 43 |
| Perfil de elevación representativa del proyecto Calle Artieda.....                                      | 43 |
| Figura 22.....  | 43 |
| Perfil de elevación representativa del proyecto San Juan Grande.....                                    | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 23.....  | 44 |
| Perfil de elevación representativa del proyecto La legua, Vara blanca. ....                         | 44 |
| Figura 24.....  | 44 |
| Perfil de elevación representativa del proyecto Cutris. ....  | 44 |
| Figura 25.....  | 45 |
| Perfil de elevación representativa del proyecto Monte Verde.....                                    | 45 |
| Figura 26.....  | 45 |
| Características de los proyectos analizados. ....   | 45 |
| Figura 27.....  | 46 |
| Características base de cada proyecto asociada a la ubicación, geometría y fecha de ejecución. .... | 46 |
| Figura 28.....  | 46 |
| Verificación del cumplimiento de las condiciones de montaña. ....                                   | 46 |
| Figura 29.....  | 47 |
| Espesores de la capa asfáltica colocada en cada proyecto. ....                                      | 47 |
| Figura 30.....  | 47 |
| Fórmula para el diseño del espesor de pavimento flexible por el método ASSHTO 93. ....              | 47 |
| Figura 31.....  | 48 |
| Espesores mínimos sugeridos. ....   | 48 |
| Figura 32.....  | 48 |
| Temperatura del aire en sitio para cada proyecto.....   | 48 |
| Figura 33.....  | 49 |
| Resultados del Tamaño Máximo Nominal (TMN) de la mezcla asfáltica para cada proyecto.....           | 49 |
| Figura 34.....  | 49 |
| Resultados del contenido de asfalto de la mezcla utilizada en cada proyecto. ....                   | 49 |
| Figura 35.....  | 50 |
| Resultados de compactación en una de las estaciones de cada proyecto. ....                          | 50 |
| Figura 36.....  | 50 |
| Resultados del porcentaje de vacíos de campo en una de las estaciones de cada proyecto.....         | 50 |
| Figura 37.....  | 51 |
| Resultados del porcentaje de vacíos de laboratorio en una de las estaciones de cada proyecto. ....  | 51 |
| Figura 38.....  | 51 |
| Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Esparza, calle Artieda.....         | 51 |
| Figura 39.....  | 52 |
| Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Esparza, calle San Juan Grande..... | 52 |
| Figura 40.....  | 52 |
| Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Vara Blanca, la Legua. ....         | 52 |
| Figura 41.....  | 53 |
| Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de San Carlos. Cutris. ....            | 53 |
| Figura 42.....  | 53 |
| Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Monte Verde.....                    | 53 |
| Figura 43.....  | 54 |
| Pendiente del terreno presente en la ruta intervenida el cantón de Puriscal.....                    | 54 |
| Figura 44.....  | 56 |
| Cuneta revestida elaborada previo a la colocación de la mezcla asfáltica. ....                      | 56 |
| Figura 45.....  | 57 |
| Diferencias entre la compactación por vibración o por oscilación. ....                              | 57 |
| Fuente. (RESANSIL, 2017). ....  | 57 |
| Figura 46.....  | 58 |
| Efecto de la pendiente en el proceso de colocación de mezcla asfáltica. ....                        | 58 |
| Figura 47.....  | 60 |
| Ruta con aplicación de Fog Seal.....  | 60 |
| Figura 48.....  | 60 |
| Rutas con y sin elementos de confinamiento lateral.....   | 60 |

Figura 49.....61  
Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 1.....61  
Figura 50.....62  
Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 2.....62  
Figura 51.....62  
Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 3 y 4.....62  
Figura 52.....63  
Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 5.....63  
Figura 53.....63  
Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 6.....63  
Figura 54.....66  
Portada de la guía propuesta.....66

# Lista de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. ....  | 31 |
| Clasificación de carreteras en Perú. ....  | 31 |
| Tabla 2. ....  | 32 |
| Clasificación de las carreteras en Bolivia. ....   | 32 |
| Tabla 3. ....  | 33 |
| Características según el tipo de carreteras y caminos en Bolivia. ....                               | 33 |
| Tabla 4. ....  | 34 |
| Clasificación de carreteras según el tipo de terrenos en México. ....                                | 34 |
| Tabla 5. ....  | 34 |
| Clasificación de carreteras según la topografía en México. ....                                      | 34 |
| Tabla 6. ....  | 40 |
| Resumen de parámetros que deben cumplir los proyectos en rutas montañosas. ....                      | 40 |
| Tabla 7. ....  | 55 |
| Resumen de la información recopilada por medios de encargados de proyectos y la visita a campo. .... | 55 |
| Tabla 8. ....  | 59 |
| Resumen de la información recopilada por medio de informes de campo. ....                            | 59 |
| Tabla 9. ....  | 65 |
| Resumen de ideas a colocar en la guía propuesta. ....  | 65 |

# Resumen ejecutivo

Al realizar una revisión bibliográfica respecto a condiciones de montaña en el área de construcción de carreteras en Costa Rica, no se encontró ningún concepto que permita reconocer cuando un proyecto se está realizando en dichas condiciones, lo que conllevó a deducir que la normativa del país está dirigida a condiciones convencionales donde la topografía es plana y con un clima idóneo, es por esto que el presente proyecto tuvo como objetivo proponer una guía para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente para el caso de una primera capa, específicamente en proyectos que presenten condiciones de montaña.

Cuando se habla de condiciones de montaña se hace referencia a las características que están asociadas a las rutas montañosas, por lo que en un inicio se identificó que el porcentaje de pendiente, condición lluviosa y la altitud son las características que distinguen estas rutas, lo que permitió definir que para Costa Rica los proyectos se encuentra bajo estas condiciones cuando presenta una condición lluviosa definida como lluviosa(2000 mm – 3000 mm de lluvia anual) o extremadamente lluviosa( 4000 mm o más de lluvia anual) o presenta un porcentaje de pendiente mayor al 15%, con una alta posibilidad de encontrar curvas que impliquen giros cerca de los 180°(curvas cerradas) y como un factor complementario, en la etapa previa a iniciar un proyecto puede identificarse que se encuentra bajo estas condiciones a partir de su altitud, cuando se ubiquen por arriba de los 800 m.s.n.m.

Para reconocer las implicaciones de realizar proyectos en rutas de montaña, se analizaron cinco proyectos, donde se utilizaron los principales indicadores empleados en la práctica para el control de calidad, los cuales fueron el porcentaje de vacíos en laboratorio, cuyo valor tiene que encontrarse entre el 3% y 5% , así como el porcentaje de vacíos de campo que debe estar entre un 5% y 8% , por otra parte el porcentaje de compactación de campo tiene que mantenerse en valores entre 92% y 97%, todo esto indicado en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2020, donde para los proyectos analizados, estos parámetros no se cumplen para la mayoría de los casos, lo que permitió deducir que las condiciones de montaña si ocasionan un efecto en los resultados , esto a raíz de que todos coinciden en compartir factores propios de la rutas de montaña.

El reconocimiento de las prácticas realizadas en sitio fue fundamental, por lo que se consideró que la experiencia de ingenieros de campo como una fuente de información clave para entender las particularidades que se presentan cuando los proyectos se ubican en rutas montañosas, permitiendo a raíz de sus respuestas, indagar y respaldar las ideas ya planteadas desde la etapa del análisis de los proyectos, siendo una de las principales consideraciones, revisar que el equipo cuente con la capacidad de trabajar en altas pendiente, donde la tracción sea sobre oruga y no sobre rueda, por otra parte implementar tecnologías que permitan un mayor seguimiento de la temperatura y compactación de la mezcla asfáltica, así como realizar un reconocimiento previo para que las empresas constructoras ajusten sus propuestas a las situaciones reales.

Con las visitas a campo e indagar en informes que respaldan algunas situaciones vividas en campo, se pudo encontrar algunas ideas de gran valor, una de ella es respecto a los paños de prueba, ya que el mismo no representa todas las condiciones del tramo a intervenir, dado que al presentarse trayectos con pendientes mayores al 15% no se realiza en una sección con pendiente, limitando que realmente el paño de prueba represente la situación que se va a presentar al colocar la mezcla asfáltica. Otro aporte importante es respecto al confinamiento lateral, ya que se observó la diferencia que representa el colocar mezcla asfáltica con la presencia de elementos como lo son las cunetas, las cuales funcionan como límite para que la mezcla no sobresalga los bordes y se logre la compactación también en estas áreas, especialmente en los trayectos con pendiente pronunciadas o con curvas cerradas, añadido a esto la colocación previa de estos elementos

permite que la lluvia no fluya sin ningún control, lo que puede ocasionar daños en la base donde será colocada la capa asfáltica.

Una vez se identificaron las soluciones, alternativas, consideraciones y prácticas a tomar en cuenta, se concluyó con una guía concreta que aborda cuáles de las prácticas convencionales pueden ajustarse a las condiciones de montaña para los procesos típicamente realizados al colocar y compactar mezcla asfáltica en caliente sin embargo, esta guía reconoce tanto para la parte contratista como contratante las implicaciones que conlleva realizar proyectos bajo condiciones de montaña, lo cual permite para cualquiera de las dos partes, contar con un indicio de las consideraciones previas a realizar una contratación o aceptarla, ya que muchas de las soluciones y alternativas que se muestran, se resumen a un incremento en los costos de ejecución y a un ajuste en las prácticas convencionales. La implementación de dicha guía pretende ser una referencia que permita proponer una especificación especial para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente de rutas de montaña a nivel país.

# Introducción

El llevar a cabo proyectos de infraestructura vial en zonas montañosas, lleva consigo enfrentarse a factores no convencionales como lo son las pendientes pronunciadas, curvas cerradas y lluvias, mismos que no son referenciados en las normativas y guías del país, específicamente en el proceso de colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente. Frente a esta situación, se propuso una guía que permita considerar las condiciones de montaña en dicho proceso para Costa Rica.

Al identificar la realidad a través del análisis de proyectos ejecutados en condiciones de montaña, se comprobó que estas condiciones afectan, lo que conllevaba a proponer cambios desde el diseño de la mezcla asfáltica hasta su compactación. Reconociendo las prácticas y consideraciones propias de las rutas de montaña, se buscó que la ubicación de los proyectos no continúe siendo una limitante y ante la falta de indicios del tema en Costa Rica, se recurrió a guías y normativas de otros países de América, como Bolivia, Guatemala, Estados Unidos y México, sin embargo, la experiencia de ingenieros en proyectos similares fue la principal herramienta.

A pesar de contar con guías y normativas que tratan sobre la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en Costa Rica, los resultados insatisfactorios y problemas viales evidencian que no son suficientes. La falta de normativa para proyectos en montaña genera controversias entre contratistas y clientes, ya que la información actual está generalizada y no toma en cuenta el relieve complejo del país principalmente.

La propuesta buscó aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente al ODS 9 "Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible", y al ODS 11 "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles". La guía propuesta no está dirigida a una entidad específica, sino que pretende ser un indicio para que Costa Rica cuente con un lineamiento formal que facilite a las empresas contratistas mitigar los efectos de las condiciones de montaña al colocar mezcla asfáltica en caliente. También puede ser una base para establecer cláusulas en licitaciones públicas para rutas de montaña y en caso de continuar con la investigación se puede crear una guía más completa que aborde la mayoría de los escenarios posibles.

## Objetivos

### Objetivo general

Elaborar una guía práctica para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente para el caso de una primera capa en rutas montañosas de Costa Rica, con el fin de colaborar con el cumplimiento de los parámetros de calidad y aceptación para este tipo de proyectos, así como las expectativas de la obra en términos de desempeño y calidad.

### Objetivos específicos

- Realizar una investigación exhaustiva de las condiciones topográficas propias de las rutas montañosas donde se coloca una primera capa de mezcla asfáltica en caliente, considerando factores como la altitud, pendientes, temperaturas, radios de curvas entre otros.

- Identificar los principales desafíos asociados con la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en rutas montañosas, reconociendo como han sido abordados por medio de las prácticas en campo, tecnologías existentes y la experiencia de profesionales en distintos proyectos.
- Elaborar una metodología clara y detallada que aborde los aspectos clave de la colocación y compactación de una primera capa de mezcla asfáltica en caliente en zonas montañosas, misma que funcione como guía para una potencial especificación especial, para aquellas obras donde se requiere colocar mezcla asfáltica en condiciones montañosas.

## Alcances y limitaciones

### Alcances

- Se utilizó la información de los métodos actuales empleados para colocar y compactar la mezcla asfáltica en caliente no modificada, en conjunto a la recopilación de información de los factores que inciden en las rutas de montaña.
- Se llevaron a cabo visitas a campo, se recolectó información y se analizaron proyectos con el objetivo de enlazarlos con la normativa relacionada a la colocación de mezcla asfáltica en caliente.
- Se plasmó cómo las condiciones de montaña afectan el cumplimiento de dichas especificaciones.
- Se considero la pendiente como el principal factor que define las condiciones de montaña, cualquier otro factor surgió con el fin de dar un indicio de otras variables que pueden incidir en dichas condiciones.
- Se evaluaron las técnicas empleadas en la colocación, compactación y sellado de la mezcla en campo, respecto a cómo inciden los factores de las condiciones montaña en los proyectos.
- Únicamente se valoró implementar las alternativas, soluciones y consideraciones en la guía, que la evidencia lo respalde.
- El enfoque de la guía propuesta abarca únicamente los proyectos que impliquen la colocación de una primera capa de mezcla asfáltica.

### Limitaciones

- La carencia de manuales o guías en otros países de América, dirigido a la colocación de mezcla asfáltica en condiciones de montaña, limita la posibilidad de tomar referencias internacionales del cómo proceder en la creación de la guía.
- La falta de proyectos en condiciones montaña durante el desarrollo del trabajo limitó la posibilidad de realizar más de una visita para la recolección de información.
- La recaudación de información de los ingenieros de campo con experiencia en este tipo de proyectos fue limitada, debido a la falta de disponibilidad debido a sus agendas.

# Agradecimientos

Agradezco a Dios por su bondad hacia mí, por ser mi guía desde que le compartí mis metas, por la familia que me regalo, a ellos les agradezco su apoyo y amor incondicional, mis padres han sido mi ejemplo de perseverancia y esfuerzo, mi hermana y hermanos sin duda han sido una gran fortaleza y apoyo, a mi abuelo que en vida no pudo verme llegar a este momento le agradeceré siempre sus palabras, sin dejar de lado a mí compañero de vida desde antes de iniciar esta etapa, gracias por el amor, apoyo y creer en mí siempre.

A la educación pública le debo mi formación académica, por esto agradezco a la escuela de ingeniería en construcción por brindarme las herramientas necesarias para llegar hasta acá. Al ingeniero Sergio Fernández Cerdas, de quien reconozco su gran trayectoria como profesional, agradezco por amablemente haber sido mi guía para elaborar dicho proyecto.

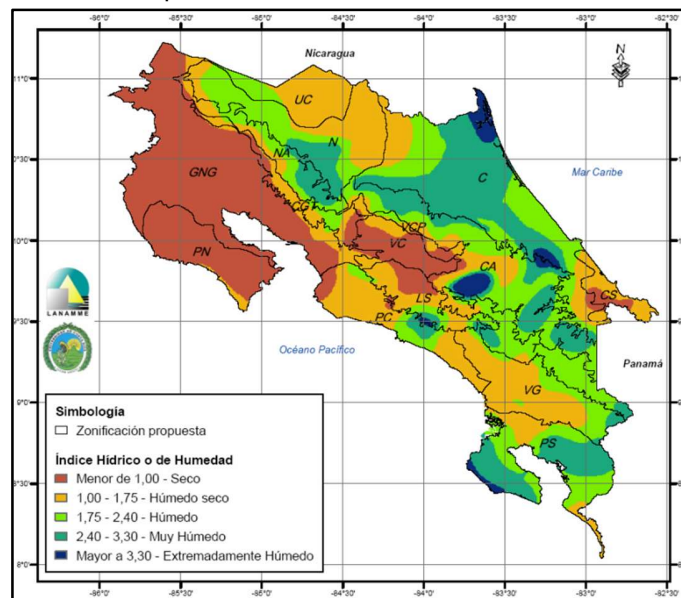
# Capítulo 1: Marco Teórico

## 1.1 Características geográficas de Costa Rica

Los proyectos de infraestructura vial están sujetos a ser desarrollados en diferentes regiones del país, siendo una de las consideraciones primordiales valorar las zonas montañosas de Costa Rica, identificar las características geográficas es relevante para reconocer las características propias de cada región como lo es el relieve, sistema montañoso, clima, elevaciones, humedad entre otros. Añadido a esto, Costa Rica es un país con un relieve quebrado, provocando que de una región a otra las características puedan variar mucho y debido su ubicación se le atribuyen características geográficas y geológicas únicas.

Como lo evidencia Orozco (2007) en su investigación del clima en Costa Rica para zonificar el área, con el fin de utilizarse en proyectos de infraestructura vial se reconoció que, aunque se considera un país tropical presenta microclimas, asociados a cambios de elevaciones a cortas distancias, tal como se refleja en los índices de humedad y los días de lluvia anuales en el territorio, que se muestran en la Figura 1 y Figura 3 respectivamente.

**Figura 1.**  
Índices de humedad presentes en diferentes zonas de Costa Rica.



Fuente. Orozco (2007).

**Figura 2.**

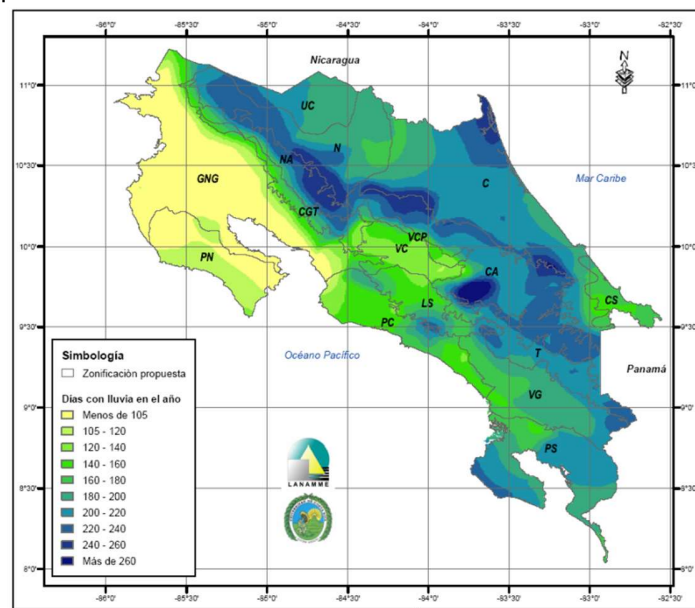
Zonas valoradas en el cálculo de índices de humedad en Costa Rica.

| Zona                                   | Símbolo | Índice de Humedad Promedio (m) | Clasificación |
|--|---------|--------------------------------|---------------|
| Golfo de Nicoya y Llanura Guanacasteca | GNG     | 0,58                           | Seco          |
| Península de Nicoya                    | PN      | 0,72                           | Seco          |
| Valle Central                          | VC      | 0,87                           | Seco          |
| Caribe Sur                             | CS      | 1,14                           | Húmedo Seco   |
| Volcánica Central Pacífico             | VCP     | 1,25                           | Húmedo Seco   |
| Cordillera de Guanacaste y Tilarán     | CGT     | 1,29                           | Húmedo Seco   |
| Los Santos                             | LS      | 1,44                           | Húmedo Seco   |
| Pacífico Central                       | PC      | 1,50                           | Húmedo Seco   |
| Valle del General                      | VG      | 1,65                           | Húmedo Seco   |
| Upala y Los Chiles                     | UC      | 1,67                           | Húmedo Seco   |
| Norte                                  | N       | 1,98                           | Húmedo        |
| Talamanca                              | T       | 2,07                           | Húmedo        |
| Norte Alta                             | NA      | 2,08                           | Húmedo        |
| Pacífico Sur                           | PS      | 2,30                           | Húmedo        |
| Caribe Alta                            | CA      | 2,36                           | Húmedo        |
| Caribe                                 | C       | 2,40                           | Muy Húmedo    |

Fuente. Orozco (2007).

**Figura 3.**

Mapa de lluvia en el año en diferentes zonas de Costa Rica.



Fuente. Orozco (2007).

## 1.2 Mezcla asfáltica en caliente

La mezcla asfáltica es la combinación entre agregados y un aglutinante asfáltico, donde la dosificación de la misma está sujeto al diseño de la mezcla, el cual puede resultar en una gran variedad de tipos de mezcla asfáltica, donde el proceso de elaboración se trabaja por arriba de los 150°C, proceso que brinda viscosidad y flexibilidad mejorando la durabilidad y resistencia, siendo las propiedades principales que se buscan al

utilizar este tipo de mezcla, mismas que se logran siempre y cuando se presente un diseño, compactación y colocación de según corresponda (NK Asphalt, 2022).

En la última actualización del “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes” conocido como CR-2020, elaborado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, en la división 400 hace referencia al diseño de mezcla asfáltica en caliente, sección en la cual se hace hincapié en los requerimientos que debe cumplir la mezcla asfáltica, ante lo cual menciona los materiales y la composición que debe llevar la mezcla asfáltica, así como los requerimientos de la planta y pavimentadora, la forma en cómo se debe mezclar el material, limpiar la superficie, transportar y colocar para finalmente por medio de una serie de criterios, definir si el resultado es aceptado (Vega et al., 2022).

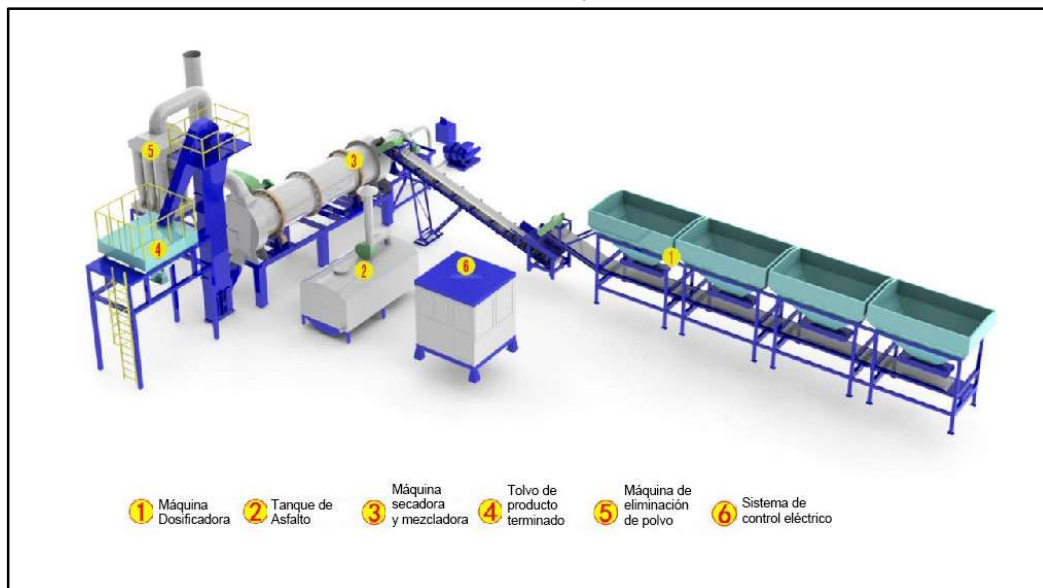
Para el diseño de mezcla, La Unidad de Materiales y Pavimentos (2015) creó una metodología para el diseño de mezcla asfáltica en caliente para Costa Rica, este permite identificar según el tráfico pesado previsto (ejes equivalentes) identificar el diseño de mezcla asfáltica que se requiere, de los cuales se encuentra cuatro niveles o categorías, con la particularidad de que el nivel uno cuenta con los requerimientos básicos para el diseño, sin embargo, conforme aumenta de nivel de selección se evidencia la necesidad de realizar alteraciones que vayan mejorando las propiedades de la mezcla y así mismo se modifiquen los ensayos de laboratorio a realizar.

## 1.2.1 Proceso de producción

Para la producción de mezcla asfáltica en caliente, se encuentran dos tipos de plantas una de ellas es la de producción continua, que se muestra en la Figura 9, donde la línea de producción pasa de un componente de la planta a otro de manera ininterrumpida, por otra parte en la Figura 10 se encuentra la planta de producción discontinua, esta realiza cada proceso en componentes distintos, es decir que seca y calienta en un componente y realiza la dosificación del asfalto en conjunto con el mezclado en otro, lo cual se aprecia en la configuración de la planta.

**Figura 4.**

Planta de mezcla asfáltica de producción continua.



**Fuente.** (AIMIX Grupo, 2023).

**Figura 5.**

Planta de mezcla asfáltica de producción discontinua.



Fuente. (AIMIX Grupo, 2022).

## 1.3 Prácticas convencionales de colocación de mezcla asfáltica en caliente

Tal como lo menciona Cortez et al. (2007), la etapa de colocación tiene la finalidad de extender la mezcla asfáltica por medio del equipo requerido (pavimentadora) de manera que se logre el ancho, espesor y pendiente transversal previamente definido; dicho proceso debe de ser controlado de manera que se lleve a cabo en el tiempo estipulado por el profesional a cargo, a razón de que el factor temperatura es de suma importancia en la etapa de colocación, ya que, de no cumplirse con los tiempos establecidos, puede ocurrir variación en la temperatura de la mezcla asfáltica.

El proceso de colocación de mezcla asfáltica en caliente está sujeto a la verificación del cumplimiento de las etapas previas con el objetivo de asegurar resultados esperados, como uniones estables, regularidad uniforme de la capa y un buen acabado entre los tramos planificados. Estas etapas incluyen la revisión del estado del equipo a utilizar, la colocación del señalamiento correspondiente para la prevención y control del tránsito, así como la verificación de que todos los colaboradores cuenten con el equipo de protección personal necesario. Además, se debe barrer la superficie de manera que haya una mínima cantidad de partículas sueltas, donde el riego de imprimación debe haberse aplicado siguiendo las pautas del CR-2020. Por último, se debe confirmar que la vagoneta llegue al sitio con la debida protección de la mezcla asfáltica y en el tiempo estimado, con una percepción visual de que la mezcla se encuentra en buenas condiciones. Una vez superadas estas etapas previas, se procede al proceso de colocación (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [LanammeUCR], 2021).

La extensión de la mezcla asfáltica comienza una vez se ha descargado de la vagoneta a la pavimentadora, evitando la manipulación manual y la descarga a alturas considerables, así como la exposición a contaminantes. Es esencial que la mezcla se coloque a la temperatura adecuada y que se controle en todo momento el espesor y la pendiente transversal esperada. También se debe supervisar el

tiempo de duración del proceso. En situaciones donde no se pueda utilizar la pavimentadora, se deben emplear métodos manuales como pala y rastrillo (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [LanammeUCR], 2021).

## 1.4 Prácticas convencionales de compactación de mezcla asfáltica en caliente

El proceso de compactación busca comprimir la mezcla asfáltica una vez acabado el proceso de colocación; durante este proceso se busca poder disminuir la influencia que tiene el agua y el aire sobre la capa asfáltica, lo cual resulta en espacios vacíos, de cumplirse con la densidad óptima la carpeta será capaz de resistir deformaciones y al paso del tiempo, así como la relación adecuada entre cohesión y estabilidad de capa asfáltica (Cortez et al., 2007).

Ahora bien, para iniciar con el proceso de colocación es necesario revisar que previamente se hayan realizado varios procesos previos, tales como el control de la temperatura de la mezcla colocada, desde el inicio de la colocación de la mezcla hasta el final de la etapa de colocación, de la misma manera revisar la textura y lisura de la superficie ya que la presencia de desgarres, irregularidad y falta de uniformidad, por mencionar algunos, produce que la compactadora se sobre esfuerce e incremente la probabilidad de que los resultados esperados no se logren, ya por último verificar que la capa cuente con el espesor previamente establecido en el diseño sea el mismo que se obtuvo en campo (Cortez et al., 2007).

En cuanto a las prácticas de compactación, inicialmente el proceso de colocación se debió iniciar con una temperatura mínima de 125 °C por lo que la temperatura de compactación ronda dicha temperatura, así mismo se debe identificar si la capa que se requiere es mayor a 10 cm de espesor, de ser así, se debe compactar en subcapas y el grosor corresponderá a 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado, consiguientemente la forma en la que se compacta la capa, sea mayor o menor a 10 cm es la siguiente, la compactadora hace el recorrido de manera longitudinal, iniciando por los bordes dirigiéndose al centro, en el caso de curvas peraltadas se considera iniciar en el borde inferior hasta el superior, teniendo presente que este proceso debe llevarse a cabo antes de que la temperatura de la mezcla se encuentre por debajo de los 85°C usualmente, ya que puede variar este valor y a su vez no es permitido el tránsito de vehículos si la capa no presenta una temperatura menor a 70°C; de igual forma es importante considerar que el porcentaje de compactación esperado se encuentra entre el 92% y 96% con porcentaje de vacíos entre el 4% y 8%, además resulta importante que el proceso de compactación sea el mismo que se realizó en el tramo de prueba, ya para finalizar el proceso se utiliza una compactadora de llanta de hule para lograr el acabado final (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022).

## 1.5 Pruebas de Calidad

Respecto a la mezcla asfáltica en caliente, inicialmente se considera el método de diseño, para este caso las mezclas asfálticas diseñadas son bajo el método de diseño Marshall, para Costa Rica el CR-2020 cuenta con los requisitos de diseño y desempeño, así como las tolerancias aceptables, así como los ensayos que deben de realizarse para medir los diferentes parámetros a cumplir.

Una vez la mezcla asfáltica en caliente fue diseñada y llevada al sitio para ser colocada, se deben realizar otros ensayos que comprueben que la mezcla asfáltica diseñada en campo tenga los resultados

esperados, donde el parámetro utilizado para dicha verificación es la densidad de campo y los núcleos de mezcla asfáltica.

## 1.5.1 Diseño de mezcla de asfáltica en caliente

El Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y puentes CR-2020 en la División 400 menciona los requisitos, criterios, ensayos y tolerancias en el diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método Marshall.

**Figura 6.**

Requisitos de diseño utilizando el método Marshall.

| Criterios para diseño de mezcla asfáltica Método Marshall           | Clasificación del tránsito <sup>(1)</sup>                                  |      |                  |      |                  |      |
|---|--|------|------------------|------|------------------|------|
|   | Tránsito pesado  |      | Tránsito mediano |      | Tránsito liviano |      |
|   | Mín.   | Máx. | Mín.             | Máx. | Mín.             | Máx. |
| Número de golpes en cada cara para compactar el espécimen de ensayo | 75   |      | 50               |      | 35               |      |
| Porcentaje de vacíos (%)  | 3,0  | 5,0  | 3,0              | 5,0  | 3,0              | 5,0  |
| Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)                   | Ver Tabla 401-03 Porcentajes mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) |      |                  |      |                  |      |
| Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) (%)                    | 65   | 75   | 65               | 78   | 70               | 80   |
| Relación polvo-asfalto (P/A)  | 0,6  | 1,3  | 0,8              | 1,6  | -                | -    |

Notas:  
 (1) Clasificación del tránsito  
 Liviano: Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): < 0,3  
 Mediano: Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): entre 0,3 y 10  
 Pesado: Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): > 10 hasta 30  
 Los parámetros volumétricos se deben calcular según lo establecido en el documento Método de diseño de mezclas asfálticas (MS-2) Capítulo 5, Instituto del Asfalto.

**Fuente.** (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022).

**Figura 7.**

Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) utilizando en método Marshall.

| Tamaño máximo nominal <sup>(1)</sup> |                     | VMA mínimo <sup>(2)</sup> (%)               |      |      |
|--------------------------------------|---------------------|---|------|------|
| mm <sup>(4)</sup>                    | pulg <sup>(4)</sup> | Vacíos de aire de diseño <sup>(3)</sup> (%) |      |      |
|                                      |                     | 3,0   | 4,0  | 5,0  |
| 4,75                                 | 0,19                | 16,0  | 17,0 | 18,0 |
| 9,5                                  | 3/8                 | 14,0  | 15,0 | 16,0 |
| 12,5                                 | 1/2                 | 13,0  | 14,0 | 15,0 |
| 19                                   | 3/4                 | 12,0  | 13,0 | 14,0 |
| 25                                   | 1,0                 | 11,0  | 12,0 | 13,0 |

Fuente: Método de diseño de mezclas asfálticas (MS-2), Instituto del Asfalto.

Notas:  
 (1) El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento del material.  
 (2) El VMA no puede superar en más del 2 % del valor de diseño.  
 (3) Interpolar el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.  
 (4) Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E11 (AASHTO M92).

**Fuente.** (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022).

**Figura 8.**

Requisitos de desempeño utilizando el método Marshall.

| Parámetro   | Requisito mezclas |  |          | Método de ensayo              |
|---|-------------------|--|----------|-------------------------------|
|   | Tipo AB           | Tipo C   | Tipo D   |                               |
| Estabilidad (N)   | ≥ 8000            | ≥ 8000   | ≥ 8000   | ASTM D6927-15 (INTE C11:2020) |
| Flujo (mm)  | 2,5 ± 1           | 2,5 ± 1  | 2,5 ± 1  | ASTM D6927-15 (INTE C11:2020) |
| Resistencia al daño inducido por la humedad a la tensión diametral <sup>(1)</sup>   | ≥ 75 %            | ≥ 85 %   | ≥ 85 %   | AASHTO T283-02                |
| Resistencia a la tensión diametral indirecta en mezclas asfálticas compactadas de especímenes sin acondicionar <sup>(1)</sup> | ≥ 700             | ≥ 700  | ≥ 700    | AASHTO T283-02 (INTE C5:2019) |
| Susceptibilidad a la deformación permanente en el equipo APA <sup>(2)(3)</sup>  | -                 | ≤ 3,5  | ≤ 3,5    | AASHTO T340                   |
| Deformación permanente y resistencia al daño por humedad en el equipo Rueda de Hamburgo <sup>(3)</sup>                        |                   | ≤ 6,0 mm   | ≤ 6,0 mm | AASHTO T324                   |
|   |                   | sin punto de inflexión antes de los 20000 ciclos |          |                               |
| Fatiga a flexotracción para las siguientes deformaciones unitarias (ciclos de carga) <sup>(4)</sup>                           | 400 (µm)          | ≥ 450000   | ≥ 300000 | AASHTO T321                   |
|   | 600 (µm)          | ≥ 50000  | ≥ 25000  |                               |

Notas:  
 (1) La mezcla asfáltica debe estar elaborada a escala de laboratorio con los agregados correspondientes  
 (2) La deformación deberá obtenerse como promedio de 1 ensayo (6 especímenes). Se requiere que el ensayo sea realizado con mezcla acondicionada (2 horas ± 5 minutos a temperatura de compactación), y compactar inmediatamente después de este acondicionamiento. El acondicionamiento no se aplica para mezclas asfálticas producidas en la planta.  
 (3) La deformación permanente se debe evaluar con al menos uno de los dos métodos establecidos para APA y RH.  
 (4) Los especímenes de ensayo son vigas de mezcla asfáltica con todas las caras cortadas densificadas de modo que su contenido de vacíos sea de (7,0 ± 1,0) %. Los especímenes de ensayo cortados deben ser envejecidos, de previo al ensayo, en un horno a 85 °C por 5 días. La cantidad de repeticiones de carga deberá obtenerse del promedio de al menos 4 vigas. El criterio de falla es la pérdida de rigidez, es decir, un 50 % de la rigidez inicial.

Fuente. (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022).

**Figura 9.**

Ensayos y tolerancias para el diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el método Marshall.

| Descripción   | Método de ensayo             | Diferencias aceptables entre el Contratista y la Administración |
|---|------------------------------|---|
| Porcentaje retenido individual de los tamices gruesos a partir del tamiz de 2,36 mm (N°. 8)   | AASHTO T308<br>AASHTO T30    | ± 3,0   |
| Porcentaje retenido individual de los tamices más pequeños que el tamiz de 2,36 mm (N°. 8) y más grandes que el tamiz de 0,075 mm (N°. 200) | AASHTO T308<br>AASHTO T30    | ± 3,0   |
| Porcentaje pasando el tamiz de 0,075 mm (N°. 200)   | AASHTO T308<br>AASHTO T30    | ± 1,0   |
| Contenido de asfalto, %   | AASHTO T308                  | ± 0,5   |
| Contenido de vacíos de especímenes moldeados en el laboratorio, (%)   | AASHTO T269                  | ± 1,0   |
| Estabilidad   | AASHTO T245                  | Mayor al valor especificado                                     |
| Flujo   | AASHTO T245                  | ± 1,0   |
| Vacios en el agregado mineral VMA (%)   | AASHTO M323                  | Mayor al valor especificado                                     |
| Vacios llenos con asfalto VFA (%)   | AASHTO M323                  | ± 1,0   |
| Relación polvo/asfalto (%)  | AASHTO M323                  | ± 0,3   |
| Resistencia a la tensión diametral especímenes secos  | AASHTO T283                  | ± 159 kPa   |
| Resistencia a la tensión diametral retenida   | AASHTO T283                  | Mayor al valor especificado                                     |
| Desempeño a deformación permanente y fatiga   | AASHTO T340 y<br>AASHTO T321 | Mayor al valor especificado                                     |
| Recuperación elástica en asfalto modificado   | AASHTO T301                  | Mayor al valor especificado                                     |
| Punto de ablandamiento en asfalto modificado  | AASHTO T53                   | Mayor al valor especificado                                     |

Fuente. (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022).

## 1.5.2 Densidad en campo

Con la finalidad de medir la densidad en sitio por el método nuclear se utiliza la ASTM D2950 M22, considerado un método no destructivo, esta prueba se utiliza para dar aceptación de la mezcla asfáltica colocada, ya que permite medir la densidad una vez se haya terminado el proceso de compactación, esto se realiza comparando la tasa de emisiones gamma emitidas por densímetro nuclear respecto a la densidad de laboratorio, en la Figura 14 se muestra el equipo utilizado (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2022).

**Figura 10.**  
Densímetro nuclear.



**Fuente.** (*Densímetro Nuclear HS-5001SD – Anchicos Tecnología E Ingeniería, s. f.*).

Otro de los ensayos a realizar con la finalidad de comprobar la calidad de la mezcla asfáltica una vez colocada, es el análisis de núcleos de campo utilizando la AASHTO T275, que consiste en tomar núcleos(muestras) en sitio al finalizar la compactación, para posteriormente conocer la gravedad específica aparente en laboratorio, lo que permite identificar la densidad de la mezcla asfáltica, así como el porcentaje de vacíos y de compactación (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2022).

## 1.6 Conceptos importantes

### **Asfalto:**

El asfalto es un derivado del petróleo siendo un residuo en el proceso de la extracción de combustible, con una textura viscosa por lo que entre sus principales propiedades se encuentra actuar como aglomerante, y en la mezcla asfáltica actúa como ligante de los agregados minerales que la componen (Salazar, 2012).

**Confinamiento lateral:**

El confinamiento corresponde a la acción de evitar que la mezcla asfáltica se desplace lateralmente, esto por medio de la colocación de bordillos, caños que permiten a su vez la evacuación del agua (Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT], 2022). El proceso de compactación busca comprimir la mezcla asfáltica una vez acabado el proceso de colocación, durante verificarse que al colocar la siguiente capa para la compactación debe verificarse que la adherencia entre las capas sea óptima, la compactadora hace el recorrido de manera longitudinal, iniciando por los bordes dirigiéndose al centro, en el caso de curvas peraltadas se considera iniciar en el borde inferior hasta el superior.

**Emulsión asfáltica:**

Una emulsión asfáltica hace referencia a la combinación de tres componentes que son agua, asfalto y una cantidad específica de un agente emulsificante, donde este último tiene la función de permitir la mezcla del agua con el asfalto, este tipo de emulsión es una opción más económica y amigable con el ambiente, si se compara con la mezcla asfáltica (Ulloa, 2012).

**Entidad de auto control:**

Con la finalidad de velar que los proyectos de construcción de carreteras cumplan con las normas y estándares de calidad establecido, la empresa contratista, busca una entidad que supervise y evalúe el trabajo que se está realizando, de manera que se cumpla con los estándares de calidad, normativa vigente y características del proyecto, tal como fue tratado con el contratante (Sequeira & Cervantes, 2013).

**Entidad de verificación:**

El dueño de la obra ya sea una empresa o el Estado, buscan una entidad que actúe como ente de inspección y verificación por medio de ensayos en laboratorio y dar constancia así de que el producto a recibir cumple con los estándares de calidad, normativa del vigente y características de proyecto, tal como fue indicado en el contrato (Sequeira & Cervantes, 2013).

**Perfil topográfico:**

Un perfil topográfico tiene la finalidad de mostrar para un lugar determinado, un corte del terreno, apreciando así el relieve, siendo esta una herramienta fundamental para entender la topografía del terreno, identificar elevaciones, pendientes entre otras características relacionadas a la sección entre un punto y otro que se elegio para el perfil, permitiendo así realizar un análisis previo a la colocación de una capa de rodamiento y definir como se debe de proceder según las características del terreno, respecto a los ensayos, estudios, equipo humano y mecánico que son necesarios para caracterizar la estructura de pavimento para un sitio en particular (Morales,2023).

**Porcentaje de asfalto en la mezcla:**

Se refiere a la cantidad de aglomerante (asfáltica) que contiene la mezcla para una determinada muestra, permite relación la cantidad de agregados, asfalto y vacíos de aire que presenta la muestra (León et al, 2018).

**Porcentaje de compactación:**

Como parte del control de la mezcla asfáltica, el porcentaje de compactación según el método de diseño utilizado es un indicador sobre si el proceso de compactación fue realizado correctamente para un punto en específico, esto se comprueba por medio una muestra, donde ésta se debe de compactar un porcentaje según los parámetros que indica la norma, para así dar certeza de haber logrado la compactación necesaria (Cervantes,2020).

**Porcentaje de vacíos:**

Para una muestra el contenido de vacíos hace referencia al contenido de aire o espacios vacíos que se encuentran entre las diferentes partículas de la muestra, el cual se puede medir antes de ser compactado y luego de ser compactada (Villamizar & Torres, 2013).

**Precipitación:**

La precipitación hace referencia al agua que viene de la atmosfera, ya sea que llegue a la tierra en forma líquida como la lluvia o solida como nieve (Asale, s. f.).

**Riego de imprimación:**

Corresponde a una capa delgada de emulsión asfáltica que se coloca sobre base granular o estabilizada, previo a la colocación de la mezcla asfáltica, a diferencia esta no se puede colocar entre una capa de superficie existente y una nueva capa (Sapei & Gonzales, 2014).

**Riego de protección de la superficie asfáltico:**

Mediante la colocación de un riego de protección, se logra proteger el pavimento asfáltico de los efectos del agua, el tráfico y rayos UV principalmente, el cual es utilizado cuando las características de la capa asfáltica colocada, no presenta los mejores parámetros de calidad, por otro lado, es de gran utilidad para prever su duración en zonas donde es más expuesto a condiciones climáticas y topográficas no convencionales. [SAC-VISA], 2022).

**Tamaño máximo nominal:**

Utilizando de referencia en número de tamiz o malla, según la abertura de cada uno, se considera en cual es la malla más pequeña por la que se encuentra pasando la mayor cantidad de agregado (Universidad Distrital Francisco José de Calda [Udistrital], 2017).

# Capítulo 2: Metodología

Con la finalidad de mostrar el alcance de la investigación, en el presente capítulo se procede a evidenciar la forma en la cual se cumplió con cada uno de los objetivos propuestos, donde es primordial reconocer el tipo de investigación, categoría, sujetos de información, fuentes de información y, por último, el análisis y procesamiento de la información, de manera que se evidencie una descripción detallada de la metodología empleada.

## 2.1 Tipo de investigación

Tomando en consideración que una investigación de tipo exploratorio es aquella que considera un tema o fenómeno desconocido, donde se presenta una oportunidad para lograr por medio de la investigación realizar un abordaje más completo, se considera que el alcance del presente trabajo es de tipo exploratorio, ya que la guía propuesta es el primer acercamiento al tema, del cual existe poca información respecto al tema de condiciones de montaña en infraestructura vial en Costa Rica (Sanpiere, 1994).

A razón de que las variables cuantitativas continuas son aquellas que recopilan datos numéricos representados con diferentes magnitudes, logrando así ser cuantificables, donde usualmente se encuentran dentro de rangos definidos y responde a una población o muestra utilizada, se define entonces que las variables de la investigación son cuantitativas continuas debido a que el proyecto se basa en información de resultados obtenidos en proyectos de colocación de mezcla asfáltica, sin dejar de lado que dicha información conlleva a un análisis de variables numéricas mayormente (UNAM, s.f.).

Como se mencionó anteriormente, el tipo de variable que describe el trabajo realizado es de tipo cuantitativo continuo, sin embargo, se considera importante mencionar que se hizo uso de instrumentos de tipo cualitativos, como lo son las entrevistas semi estructuradas, las cuales fue exclusivamente una herramienta complementaria para recopilar información.

## 2.2 Definición de categoría y variables

**Objetivo 1:** Realizar una investigación exhaustiva de las condiciones topográficas propias de las rutas montañosas donde se coloca una primera capa de mezcla asfáltica en caliente, considerando factores como la altitud, pendientes, temperaturas, radios de curvas entre otros.

| Variable  | Definición conceptual  | Dimensiones   | Indicadores  | Instrumentos  |
|---|--|---|--|---|
| Condiciones topográficas propias de las rutas montañosas. | Rutas donde se presentan pendiente de terreno por arriba del 15%, en sitios considerados | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Porcentaje de pendiente.</li><li>▪ Precipitación</li><li>▪ Altitud.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Topografía del terreno.</li><li>▪ Ubicación del proyecto (coordenadas)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Revisión bibliográfica de la clasificación de las carreteras según la pendiente del terreno en otros países de América.</li></ul> |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| como lluviosos y extremadamente lluviosos, con altitudes por arriba de los 1500m.s.n.m | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Radios de curvas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cantidad de lluvia anual en mililitros(mm).</li> <li>▪ Mapa de altitudes medidas en metros sobre el nivel medio del mar (m.s.n.m).</li> <li>▪ Geometría de la ruta</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión bibliográfica de las regiones y subregiones climáticas de Costa Rica.</li> <li>▪ Revisión bibliográfica del relieve y altitudes de Costa Rica.</li> <li>▪ Ubicación de las rutas, identificando el perfil longitudinal con la herramienta Google Earth.</li> </ul> |
|--|---|--|--|

**Objetivo 2:** Identificar los principales desafíos asociados con la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en rutas montañosas, reconociendo como han sido abordados por medio de las prácticas en campo, tecnologías existentes y la experiencia de profesionales en distintos proyectos.

| Variable   | Definición conceptual  | Dimensiones  | Indicadores  | Instrumentos   |
|--|--|--|--|--|
| Desafíos asociados con la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en rutas montañosas. | El comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente frente a factores asociados a las condiciones de montaña. | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resultados Compactación en laboratorio,</li> <li>▪ Diseño de mezcla.</li> <li>▪ Resultados de compactación en sitio.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porcentaje de vacíos de la mezcla en laboratorio.</li> <li>▪ Contenido de asfalto de la mezcla asfáltica.</li> <li>▪ Porcentajes de vacíos en sitio.</li> <li>▪ Porcentaje de compactación en sitio.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informes de campo</li> <li>▪ Formulario de recolección de datos a partir de Informes, considerando las características, diseño de mezcla empleado, resultados de núcleos extraídos en campo para los proyectos analizados.</li> </ul> |

**Objetivo 3:** Elaborar una metodología clara y detallada que aborde los aspectos clave de la colocación y compactación de una primera capa de mezcla asfáltica en caliente en zonas montañosas, misma que funcione como guía para una potencial especificación especial, para aquellas obras donde se requiere colocar mezcla asfáltica en condiciones montañosas.

| Variable   | Definición conceptual   | Dimensiones  | Indicadores   | Instrumentos   |
|--|---|--|---|--|
| Aspectos claves en la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en | Las experiencias en campo de ingenieros, así como las situaciones que se logran identificar en campo, permite | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Experiencia en proyectos en condiciones de montaña.</li> <li>▪ Prácticas realizadas en campo cuando se presentan</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conocimiento técnico sobre la situación que se presenta en los proyectos en rutas de montaña.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entrevista semiestructurada.</li> <li>▪ Anotaciones sobre las observaciones en campo.</li> <li>▪ Revisión bibliográfica.</li> </ul> |

|                   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|
| zonas montañosas. | identificar las particularidades de colocar y compactar mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña. | condiciones de montaña.<br>▪ Comportamiento del equipo. | ▪ Visitas a campo.<br>▪ Características del equipo. |
|-------------------|---|---|---|

## 2.3 Sujetos de información

Para reconocer los sujetos de información se identificó inicialmente que las entidades gubernamentales de diferentes países de América son una fuente de información esencial, así mismo contar con informes de proyectos respecto al reconocimiento la situación del tema planteado; por consiguiente, se busca la perspectiva de profesionales y empresas que se desarrollan en el campo de interés, añadiendo que la normativa internacional es uno de los principales lineamientos para reconocer los valores a los cuales se espera llegar.

| Sujetos y objetos de información |  |  |
|----------------------------------|--|--|
| Tipo                             | Categoría  | Criterios de inclusión   |
| <b>Sujetos</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ingenieros en construcción o ingenieros civiles.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Encargados en campo de los proyectos de colocación de mezcla asfáltica en zonas montañosas.</li> <li>Con mínimo 2 años de experiencia en campo.</li> <li>Contar con experiencia en campo al menos en 3 proyectos con zonas montañosas.</li> </ul>   |
| <b>Objetos</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Instituciones y asociaciones gubernamentales dirigidas al área de infraestructura vial en diferentes países de América.</li> <li>Normas y especificaciones del American Association of state Highway and Transportation Officials (AASHTO), así como del American Society for testing and Materials (ASTM)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Guías y manuales utilizados en diferentes países de América para el diseño geométrico de carreteras y diseño de pavimentos, así como para la colocación de mezcla asfáltica en caliente.</li> <li>Normativa internacional que compete a Costa Rica en el tema de construcción de carreteras.</li> </ul> |

- 
- La entidad Ingeniería Técnica de Proyectos (ITP) como ente que presta servicios de auto control para contratista.
  - Normativa, guías y manuales para la construcción de carreteras en Costa Rica.
  - Oficios técnicos e informes de resultados de laboratorio asociado a proyectos que se realizaron bajo condiciones de montaña.
- 

## 2.4 Fuentes de información

### 2.4.1 Fuentes primarias:

Respecto a informes de campo, la entidad Ingeniería Técnica de Proyectos (ITP) y la Constructora MECO fueron la principal fuente de información, donde a través de los resultados obtenidos en campo, se logró identificar las características de los proyectos en condiciones de montaña, por otra parte, las tesis e informes sobre investigaciones que aporten a los diferentes temas a tratar, tal como colocación, compactación, mezcla asfáltica en caliente o condiciones de montaña.

Por otra parte, el “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes” (CR-2020) creado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), donde se puede encontrar lo referente al diseño de mezcla asfáltica en caliente en la División 400.

### 2.4.2 Fuentes secundarias:

La información pertinente a Costa Rica se recopiló del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) ya que este laboratorio ha creado una serie de guías e informes alrededor del tema de mezcla asfáltica, siendo uno de los principales referentes de investigación en infraestructura en el país tal como lo es “Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas de mezcla asfáltica en caliente” así como “Aplicación de riego de imprimación” de igual forma “Catalogo de ensayos para la mezcla asfáltica” y “Análisis del material y los trabajos de colocación de mezcla asfáltica en la red vial cantonal de Aserrí, en los distritos de Aserrí, Salitrillos y vuelta de Jorco” por mencionar algunos.

## **2.5 Técnicas e instrumentos de recolección**

### **2.5.1 Revisión bibliográfica**

La revisión bibliográfica permitió respaldar con bases teorías todo las ideas, soluciones y alternativas que se consideren para la elaboración de la guía, tal con identificar las condiciones de montaña, donde la revisión biográfica permite identificar los factores de montaña para Costa Rica, continuando así en respaldar de los resultados de la entrevista y las visitas por medio de fundamentos teóricos, ya estipulados en los códigos, manuales y normas que rigen para el país.

### **2.5.2 Informes de campo**

Para obtener la información básica de los proyectos, tal como lo es la ubicación, se utilizó los informes generados por los ingenieros de campo, con el fin de poder ubicar los proyectos por medio de la herramienta Google Earth y así identificar las pendientes del sitio.

### **2.5.3 Formulario**

Con el fin de recopilar la información necesaria respecto a cada uno de los proyectos seleccionados, se creó un formulario de manera que el mismo permitiera generar una serie de tablas y gráficos con los datos que describa el comportamiento de la mezcla asfáltica tanto en el laboratorio como en campo, el cual se adjunta en el Apéndice 1.

### **2.5.4 Entrevista semiestructurada**

Para lograr contar con flexibilidad ante los ingenieros de campo, se creó una entrevista semiestructurada con la finalidad de que contaran con la flexibilidad de poder ampliar sus respuestas tanto como fuese necesario, de igual forma que pudiesen contestarla de manera que se ajustara a sus tiempos, logran obtener reconocer las situaciones que se viven en campo desde el punto de vista de ingenieros con experiencia en proyectos con condiciones de montaña, las preguntas realizadas se adjunta en el Apéndice 2.

### **2.5.5 Anotaciones**

Al realizar las visitas a campo se observó cómo se realiza el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica en caliente, dicho proceso en su generalidad ya se encuentra estandarizado, sin embargo, al realizarlo en condiciones de montaña, se pueden tomar algunas consideraciones que mejorarían el proceso, mismo que por medio de anotaciones se identifican para ser considerados en la guía.

## 2.6 Análisis y procesamiento de la información

Se consideró la información y datos recabados a partir de los sujetos, objetos e instrumentos de recolección, para el procesamiento y análisis de cada uno de los objetivos de cumplidos.

**Objetivo 1: Realizar una investigación exhaustiva de las condiciones topográficas propias de las rutas montañosas donde se coloca mezcla asfáltica en caliente, considerando factores como la altitud, pendientes, temperaturas, radios de curvas entre otros.**

A razón de la falta de normativas y manuales que describan las condiciones de montaña para Costa Rica se consideró diferentes países de América, con el fin de identificar cuales factores utilizan para considerar si una ruta presenta condiciones de montaña, por lo que se exploró la información de entidades como el Ministerio de Transportes y Comunicación (MTC) de Perú, la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) de Bolivia, la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) del gobierno de México, la Dirección General de Caminos (DGC) por mencionar las principales.

Una vez se identificó como describen las condiciones de montaña cada uno de los países mencionados anteriormente, por medio de la revisión bibliográfica se concluyó que el factor considerado para todos los casos es el porcentaje de pendiente, sin embargo, cada uno cuenta con valores distintos, que rondan entre el 6% y el 9% para que se considere como terreno montañoso. Al tomar en cuenta el "Manual Centroamérica para diseño geométrico de carreteras" el cual menciona que se considera un terreno montañoso cuando el porcentaje de pendiente es superior al 15%, por lo que este porcentaje de pendiente es el que debe de tomarse en cuenta para Costa Rica.

Al evidenciar la falta de información base que permitiera identificar cuales factores aparte del porcentaje de pendiente inciden en las condiciones de montaña, se consideró la altitud y temperatura como factores que describen dichas condiciones para el caso de Costa Rica, por lo que se realizó una base de información respecto a las condiciones de lluvia y temperatura para las diferentes regiones del país, a partir de información del Instituto Meteorológico Nacional(IMN), logrando que, a partir de la ubicación y época a ejecutar, definir si se realizó o realizara el proyecto bajo condiciones de montaña.

**Objetivo 2: Identificar los principales desafíos asociados con la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en rutas montañosas, reconociendo como han sido abordados por medio de las prácticas en campo, tecnologías existentes y la experiencia de profesionales en distintos proyectos.**

Para identificar los desafíos presentes en el proceso de colocar mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones de montaña, se tomó de referencias proyectos ya ejecutados en rutas montañosas, donde los resultados de compactación de campo, en muchos de los casos no se encuentran dentro del valor esperado entre un 92%-97% tal como lo indica el CR-2020 , fue igual de importantes los proyectos en ejecución, en el cual se realizaron observaciones sobre de las prácticas de campo, a su vez el diálogo con encargados de obra fue una referencia importante sobre las situaciones que se presentan constantemente a raíz de las lluvias constantes y las pendientes pronunciadas.

Para identificar cuando un proyecto se encuentra bajo condiciones de montaña, una vez identificado los factores que inciden para Costa Rica, se realizó una tabla de selección, para identificar si el proyecto a raíz de sus características presenta condiciones de montaña. Al ser los informes de campo la principal herramienta de información se procedió a realizar un formulario en el cual se colocará la información relevante. Por medio de los datos que se obtuvieron en campo y laboratorio, utilizando tablas y gráficos se muestran los resultados, considerando principalmente el contenido de asfalto de la mezcla, el porcentaje de compactación y el porcentaje de vacíos.

### **Experiencia de ingenieros de campo**

Se verificó la disponibilidad de ingenieros de la Constructora MECO y de LanammeUCR, con el fin de implementar la entrevista semiestructurada, adjunta en el Anexo 2, siendo el principal medio de comunicación

el correo electrónico, se obtuvo la colaboración de 3 ingenieros con experiencia en proyectos bajo condiciones de montaña, se buscó realizar preguntas abiertas para que los ingenieros tuvieran la posibilidad de redactar ampliamente sus respuestas respecto a las preguntas realizadas. Resulta importante mencionar que se logró obtener información desde el punto de vista de ingenieros que, trabajan en campo como auditores, así como ingenieros de empresas contratistas.

Para esto se tomaron las ideas principales en cada una de las respuestas, con la finalidad de identificar, las soluciones, alternativas y prácticas propuestas, para así respaldar con la teoría, estas ideas posteriormente se compararán con la información que se obtuvo de otras fuentes. Todas las soluciones, alternativas y prácticas propuestas por los ingenieros fueron tomadas en cuenta, aunque para mayor facilidad se redujo a ideas principales para una de las 6 preguntas realizadas, el respaldo de la teoría o comprobación de su beneficio para cada una de las ideas que se plantearon, fueron la base para colocar dicha información en la guía propuesta.

### **Observaciones en campo**

Una forma de recopilar información sobre los desafíos presentados fue en las visitas a proyectos, donde la interacción con los ingenieros de campo y encargados permitió recopilar información sobre las situaciones que se presentan en rutas montañosas. Por otra parte, identificando el equipo que se utilizó en campo, se permitió reconocer si este cuenta con las características apropiadas para trabajar frente a las condiciones de montaña.

Las observaciones se basaron básicamente en verificar el proceso, desde la etapa de colocación del riego de imprimación hasta el proceso de compactación, y así anotar las prácticas que se realizaron, esto unido a las principales experiencias, ideas y sugerencias de los entrevistados permitió generar una serie de alternativas a raíz de las situaciones que se identificaron que pueden mejorar, en la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente cuando las condiciones son de montaña. Por medio de la interacción con ingenieros de campo se obtuvo información importante, respecto algunas soluciones que implementaron en otros proyectos con el fin de poder mitigar el efecto de las condiciones de montaña.

### **Objetivo 3: Elaborar una metodología clara y detallada que aborde los aspectos clave de la colocación y compactación de asfalto en caliente en zonas montañosas, que funcione como guía para una potencial especificación especial en aquellas obras donde se requiere colocar mezcla asfáltica en condiciones montañosas.**

Para unir la información, se elaboró una tabla resumen para las consideraciones, soluciones y alternativas tomadas en cuenta para la guía, la selección de la información se realizó a partir de ideas respaldadas con fundamentos teóricos o prácticos. Toda la información que se colocó en la guía más que ser un paso a paso, reconoce la diferencia presente en cada etapa del proceso respecto a las prácticas convencionales de colocar mezcla asfáltica en caliente.

De este modo, la investigación terminó resultando en una guía que considera conceptos importantes, equipo de protección personal, consideraciones previas, equipo y maquinaria, procesos previos a la colocación de la mezcla asfáltica, así como las consideraciones en la etapa de colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente, por último, se consideró el uso de sello a la capa asfáltica, todo esto considerando siempre las condiciones de montaña. Las guías elaboradas por LanammeUCR para la colocación y compactación de mezcla asfáltica, fueron una referencia para estructurar la guía a propuesta.

## **2.7 Confidencialidad de la información**

En esta investigación se buscó resguardar la privacidad de las empresas e ingenieros que, con su información personal, bases de datos, informes, experiencia profesional aportaron a la investigación, por lo que no se expondrán documentos e información que, según los involucrados, deciden mantener confidencialmente.

# Capítulo 3: Resultados

Con la finalidad de recopilar la información necesaria para la guía propuesta, se consideró que en primera instancia era necesario identificar como han abordado las condiciones de montaña en diferentes países de América, esta información fue fundamental para comprender la atención que se le ha prestado al tema. A razón de que Costa Rica no cuenta con normativa que considere o este dirigida al tema, se procede a valorar los factores asociados a las condiciones de montaña permitiendo así, definir las características propio según las particularidades del país, tal como lo realizaron otros países de América.

Una vez que se reconoció como identificar que un proyecto se desarrolla en condicione de montaña, tomando de referencia proyectos ya realizados se confirmó si se encontraban en rutas de montaña, esto permitió que a partir de estos proyectos se recopilara la información necesaria para comprender como las condiciones de montaña afectan los resultados de campo, así mismo reconocer las prácticas de colocación y compactación realizadas y como esto puede favorecer o perjudica la calidad esperada. Lo anterior mencionado en conjunto con una visita realizada a un proyecto en ejecución, así como el contacto con los ingenieros responsables de algunos de los proyectos utilizados, complementaron la información.

En vista de que se tuvo la limitante de encontrar información respecto a las prácticas realizadas para colocar y compactar mezcla asfáltica en condiciones de montaña, se consideró que los profesionales con experiencia en este tipo de proyectos eran fundamental para comprender lo que realmente pasa en campo y como desde el punto de vista de un profesional, se debe de llevar a cabo dichos procesos.

Los resultados finalmente permitieron identificar aspectos importantes a considerar desde el proceso de diseño de mezcla asfáltica en caliente, así como colocarla y compactarla en rutas montañosas, de igual forma permitió indagar cuales son las posibles acciones por considerar para lograr que las condiciones de montaña no sea una limitante.

## 3.1 Clasificación de las carreteras en distintos países de América

Reconocer las características propias de cada región es fundamental en los proyectos de Infraestructura Vial, sin embargo, cada país presenta características geográficas diferentes, lo que conlleva a que cada país adopte las mejores prácticas según las situaciones a las que se enfrentan in situ, donde las entidades reguladoras en el campo de la ingeniería civil de cada país toman la tarea de crear guía, manuales entre otros que clasifican las carreteras o rutas que describan la situación que se realmente se presentan.

Por consiguiente, todos los países en menor o mayor magnitud presentan zonas montañosas, siendo esta la zona de interés se prosigue a identificar como cada país clasificó sus rutas, para así reconocer las características que se consideran como condiciones de montaña (zonas montañosas) en diferentes países de América. Cabe añadir que las condiciones de montaña hacen referencia a la presencia de factores climáticos complejos, pendientes pronunciadas, agresivos radios de giro y curvas verticales (Campos, 1992).

### **3.1.1 Clasificación de las carreteras en Perú**

Como señala en Ministerio de Transportes y de comunicaciones [MTC] (2018), por medio del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, las carreteras en Perú son clasificadas ya sea según la demanda, utilizando el Índice Medio Diario Anual (IMDA) de vehículos por día, por consiguiente, la clasificación según la topografía considera la orografía del sitio, como lo es el porcentaje de pendiente del tramo. Así, en la Tabla 1 se presentan las clasificaciones mencionadas.

**Tabla 1.**

Clasificación de carreteras en Perú.

| <b>Clasificación de carreteras según la demanda-Perú</b> |   |
|--|---|
| <b>Clasificación</b>                                     | <b>Característica</b>   |
| <b>Autopista de primera clase</b>                        | El índice Medio Diario Anual (IMDA) es mayor a 6 000 veh/día, con mínimo 2 carriles de 3.60 metros de ancho cada carril.  |
| <b>Autopista de segunda clase</b>                        | El IMDA entre 6 000 veh/día y 4001 veh/día, con mínimo 2 carriles de 3.60 metros de ancho cada carril.  |
| <b>Carretera primera clase</b>                           | El IMDA entre 4 000 veh/día y 2001 veh/día, con mínimo 2 carriles de 3.60 metros de ancho cada carril.  |
| <b>Carretera segunda clase</b>                           | El IMDA entre 2 000 veh/día y 400 veh/día, con mínimo 2 carriles de 3.30 metros de ancho cada carril.   |
| <b>Carretera de tercera clase</b>                        | El IMDA menor a 400 veh/día, con mínimo 2 carriles de 3.00 metros de ancho cada carril.   |
| <b>Trochas carrozables</b>                               | Este tipo de ruta hace referencia a las vías que no cuentan con las características geométricas de una carretera, con un IMDA menor a 200 veh/día, con una calzada mínima de 4.0 metros de ancho. |

**El Índice Medio Diario Anual (IMDA):** Corresponde al promedio del volumen diario anual de vehículos que transitan por la carretera.

| <b>Clasificación de carreteras según la orografía en Perú (Ministerio de transporte y comunicaciones [MTC], 2018).</b> |   |
|--|---|
| <b>Clasificación</b>   | <b>Característica</b>   |
| <b>Terreno plano</b>   | Pendiente transversal al eje de la vía menor o igual al 10%, con una pendiente longitudinal menores al 3%, estas rutas tienen las características de que requieren un movimiento mínimo de tierras.   |
| <b>Terreno ondulado</b>  | Pendiente transversal al eje de la vía entre el 11% y el 50%, con una pendiente longitudinal entre el 3% y el 6%, estas rutas tienen las características de que requieren un movimiento moderado de tierras, donde se permiten tramos rectos con presencia de curvas de radios amplios. |
| <b>Terreno accidentado</b>   | Pendiente transversal al eje de la vía entre el 51% y el 100%, con una pendiente longitudinal entre el 6% y el 8%, estas rutas requieren un gran movimiento de tierras, donde realizar los trazos es sumamente complicado.  |
| <b>Terreno escarpado</b>   | Pendiente transversal al eje de la vía mayor al 100% con una pendiente longitudinal superior al 8%, estas rutas tienen la característica de que requieren el máximo movimiento de tierras y de igual forma es sumamente complicado ejecutar los trazos.                                 |

**Fuente.** (Ministerio de transporte y comunicaciones [MTC], 2018).

### 3.1.2 Clasificación de las carreteras en Bolivia

En Bolivia el organismo Administradora Boliviana de Carreteras[ABC].(2007), diseño un manual de diseño, donde se dividen las vías en seis tipos diferentes, divididas en dos grupos de diseño uno es carreteras y el otro caminos, en el primer grupo se encuentran autopistas, auto rutas y primarias, por otra parte en el segundo grupo se encuentra colectores, locales y de desarrollo, con la particularidad que estos seis tipos de vías se pueden clasificar en terreno llano, terreno ondulado y terreno montañoso, en la Tabla se describe cada uno de estos terrenos.

**Tabla 2.**  
Clasificación de las carreteras en Bolivia.

| <b>Clasificación según las condiciones del terreno-Bolivia (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007)</b> |   |
|---|---|
| <b>Tipo de terreno</b>  | <b>Características</b>  |
| <b>Terreno llano</b>  | Puede presentar ondulaciones moderadas de la rasante con el fin de minimizar cortes, dicha rasante se encontrará entre $\pm 3\%$ .                      |
| <b>Terreno Ondulado</b>   | Presenta pendiente en distintos sentidos de manera no pronunciada, pero si repetitivo, con valores entre el 3% y 6%.                                    |
| <b>Terreno Montañoso</b>  | Presenta cuestas (cordones de montañosos) donde la rasante presenta una pendiente entre el 6% y el 9%, dicha pendiente puede ser de bajada o de subida. |

**Fuente.** (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007).

Cabe resaltar la forma en la que se relaciona el tipo de terreno con cualquiera de los seis tipos de vías, esto se realiza mediante la velocidad medida en kilómetros por hora, como se muestra en la Figura 11. Para cada categoría de diseño, hay tres velocidades. La primera está asociada a la velocidad en terrenos llanos, la segunda a terrenos ondulados y, por último, la tercera velocidad hace referencia a terrenos montañosos. Esto lleva a que las vías en Bolivia se diseñen considerando las características propias de cada una de las 6 categorías, junto con el porcentaje de pendiente asociado a cada tipo de terreno, de la mano de la velocidad de diseño (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007).

**Figura 11.**

Clasificación de carreteras y caminos en Bolivia.

| CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES |       |                     |             |                                |             |
|--|-------|---------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| CATEGORIA  |       | SECCION TRANSVERSAL |             | VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h) | CODIGO TIPO |
|  |       | N° CARRILES         | N° CALZADAS |                                |             |
| AUTOPISTA  | (O)   | 4 ó + UD            | 2           | 120 - 100 - 80                 | A (n) - xx  |
| AUTORUTA   | (I.A) | 4 ó + UD            | 2           | 100 - 90 - 80                  | AR (n) - xx |
| PRIMARIO   | (I.B) | 4 ó + UD            | 2 (1)       | 100 - 90 - 80                  | P (n) - xx  |
|  |       | 2 BD                | 1           | 100 - 90 - 80                  | P (2) - xx  |
| COLECTOR   | (II)  | 4 ó + UD            | 2 (1)       | 80 - 70 - 60                   | C (n) - xx  |
|  |       | 2 BD                | 1           | 80 - 70 - 60                   | C (2) - xx  |
| LOCAL  | (III) | 2 BD                | 1           | 70 - 60 - 50 - 40              | L (2) - xx  |
| DESARROLLO   |       | 2 BD                | 1           | 50 - 40 - 30*                  | D - xx      |

UD: Unidireccionales  
BD: Bidireccionales

(n) Número Total de Carriles  
- xx Velocidad de Proyecto (km/h)  
\* Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

**Fuente.** (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007).

**Tabla 3.**

Características según el tipo de carreteras y caminos en Bolivia.

| Clasificación de carreteras-Bolivia (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007) |  |
|--|--|
| Tipo de carretera  | Característica   |
| <b>Autopistas</b>  | Se diseñan para velocidades de desplazamiento altas, en zonas rurales donde antes no existían vías, con dos o tres carriles unidireccionales.  |
| <b>Auto rutas</b>  | Carreteras existentes a la cual se le construye una segunda calzada, debe contar como mínimo con dos carriles unidireccionales por calzada.  |
| <b>Primarias</b>   | Estas presentan un volumen de demanda entre medio y alto, responde a un porcentaje importante del tránsito de distancia corta, debe contar mínimo con 2 carriles unidireccionales, por último, este tipo de vías está diseñada para poder ser en futuro una auto ruta. |
| Clasificación de caminos-Bolivia (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007)    |  |
| Tipo de caminos  | Característica   |
| <b>Colectores</b>  | Presenta una demanda de corta a mediana distancia, normalmente posee pavimento superior con 2 carriles bidireccionales.  |
| <b>Locales</b>   | Estos están unidos a caminos colectores y tienen la finalidad de brindar acceso a propiedades adyacentes, se debe prever dos carriles bidireccionales.   |
| <b>Desarrollo</b>  | Estas conectan zonas aisladas, cuya principal función es permitir el tránsito aun cuando la velocidad sea reducida, con respecto a los carriles, el camino debe permitir el paso de vehículos y camiones, aunque las velocidades de paso sean bajas.                   |

**Fuente.** (Administradora Boliviana de Carreteras [ABC], 2007).

### 3.1.3 Clasificación de las carreteras en México

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte[SCT].(2018) señala que la clasificación de las carreteras se basa en considerar el tipo de terreno que se presenta; tal como se muestra en la Tabla 4, se dividen en tres tipos de terrenos, asimismo, consideran la topografía del sitio, donde se encuentran igualmente tres categorías que se muestran en la Tabla 5; por último, se realiza una valoración entre la velocidad de diseño, las características topográficas y de diseño para identificar el tipo de carretera a diseñar, como se evidencia en la Figura 5.

Cabe resaltar que en el diseño geométrico de carreteras en México se considera que un proyecto es en efecto en unas condiciones montañosas cuando se enfrentan a situaciones de desniveles importantes con valores de pendientes y curvas máximas, donde las características geotécnicas son la clave para evitar la inestabilidad y evitar que el agua sea una causante de problemas con respecto al escurrimiento de esta (Secretara de Comunicaciones y Transporte [SCT], 2018).

**Tabla 4.**  
Clasificación de carreteras según el tipo de terrenos en México.

| Clasificación de terrenos en México |   |
|-------------------------------------|---|
| Tipo de terreno                     | Características   |
| Terreno plano                       | La visibilidad no se ve en mayor medida obstruida de manera horizontal o vertical, constructivamente no represente un mayor desafío de lo habitual.             |
| Terreno lomerío                     | Representa los taludes naturales que usualmente emergen y divergen por debajo de camino, con una leve restricción de alineación tanto horizontal como vertical. |
| Terreno montañoso                   | Son terrenos con cambios abruptos tanto de forma longitudinal como transversal, requiere usualmente de excavación de laderas para lograr la alineación.         |

**Fuente.** (secretaria de Comunicaciones y Transporte [SCT],2018).

**Tabla 5.**  
Clasificación de carreteras según la topografía en México.

| Clasificación según la topografía en México |  |
|---|--|
| Tipo de topografía                          | Características  |
| Plano                                       | Presenta pendientes longitudinales de uniformes y pendientes transversales casi nulas.   |
| Lomerío                                     | Presenta pendientes no mayores a los 25°.  |
| Montañoso                                   | Presenta una topografía notablemente accidentada lo cual obliga a grandes movimientos de tierra, corresponde a casos con pendientes transversales mayores a 25°. |

**Fuente.** (secretaria de Comunicaciones y Transporte [SCT],2018).

**Figura 12.**

Clasificación de carreteras en México.

| Carreteras tipo ET y A |                       |                  |         |          |          |
|------------------------|-----------------------|------------------|---------|----------|----------|
| Tipo de Terreno        | Pendiente Gobernadora | Pendiente Máxima |         |          |          |
|                        |                       | 80 km/h          | 90 km/h | 100 km/h | 110 km/h |
| Plano                  | 2%                    |                  |         | 5%       | 4%       |
| Lomerío                | 3%                    |                  | 5%      | 5%       |          |
| Montañoso              | 4%                    | 6%               | 5%      |          |          |

| Carreteras tipo B |                       |                  |         |         |          |
|-------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|----------|
| Tipo de Terreno   | Pendiente Gobernadora | Pendiente Máxima |         |         |          |
|                   |                       | 70 km/h          | 80 km/h | 90 km/h | 100 km/h |
| Plano             | 3%                    |                  |         | 6%      | 5%       |
| Lomerío           | 4%                    |                  | 6%      | 6%      |          |
| Montañoso         | 5%                    | 7%               | 6%      |         |          |

| Carreteras tipo C |                       |                  |         |         |         |         |
|-------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de Terreno   | Pendiente Gobernadora | Pendiente Máxima |         |         |         |         |
|                   |                       | 50 km/h          | 60 km/h | 70 km/h | 80 km/h | 90 km/h |
| Plano             | 4%                    |                  |         |         | 6%      | 6%      |
| Lomerío           | 5%                    |                  | 7%      | 7%      | 6%      |         |
| Montañoso         | 6%                    | 8%               | 7%      |         |         |         |

| Carreteras tipo D |                       |                  |         |         |         |
|-------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|---------|
| Tipo de Terreno   | Pendiente Gobernadora | Pendiente Máxima |         |         |         |
|                   |                       | 40 km/h          | 50 km/h | 60 km/h | 70 km/h |
| Plano             | 6%                    |                  |         | 8%      | 7%      |
| Lomerío           | 7%                    |                  | 8%      | 8%      |         |
| Montañoso         | 8%                    | 9%               | 8%      |         |         |

Fuente. (Secretara de Comunicaciones y Transporte [SCT],2018).

### 3.1.4 Clasificación de las carreteras en Guatemala

A partir de una especificación de construcción de caminos rurales, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala en conjunto con dos ingenieros agrónomos, describen los caminos o carreteras a partir de las características de las región, por cuanto una vez que se reconoce la velocidad de diseño, porcentaje de pendiente y el radio mínimo, se puede concluir el tipo de región donde entre esas categorías se encuentra las regiones montañosas, los valores que se contemplan se muestran en la Figura 6 (Cabrera & Teos, 2002).

**Figura 13.**

Clasificación de regiones en Guatemala.

| Tipo de región | Velocidad  | Pendiente | Radio mínimo |
|----------------|------------|-----------|--------------|
| Llana          | 40 km/hora | 6%        | 47 metros    |
| Ondulada       | 30 km/hora | 8%        | 30 metros    |
| Montañosa      | 20 km/hora | 12%       | 18 metros    |

Fuente. (Cabrera & Teos, 2002).

### 3.1.5 Clasificación de las carreteras para Centroamérica

El Manual Centroamérica de normas para el diseño geométrico de carreteras menciona que, como parte de la etapa del alineamiento vertical, la consideración de la topografía es fundamental, por lo que clasifica los terrenos en los cuales se construirá las carreteras, en 3 tipos según la pendiente, tal como se muestra en la Figura 8, donde se describen los terrenos montañosos como aquellos que debido a la necesidad de realizar cortes y rellenos presentan un costo elevado de construcción.

Costa Rica al no presentar con lineamientos para el diseño geométrico de carreteras, el manual mencionado es la referencia por seguir.

**Figura 14.**

Clasificación según la pendiente del terreno.

| Tipo de Terreno | Rango de Pendientes P(%) |
|-----------------|--------------------------|
| Llano o Plano   | $P \leq 5$               |
| Ondulado        | $5 > P \leq 15$          |
| Montañoso       | $15 > P \geq 30$         |

**Fuente.** (Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] ,2011).

**Figura 15.**

Velocidad de diseño según la pendiente del terreno.

| TIPO DE TERRENO | Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-----------------|--|----|----|----|----|----|----|----|-----|
|                 | 20   | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Plano           | 9  | 8  | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  | 6  | 5   |
| Lomerío         | 12   | 11 | 11 | 10 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6   |
| Montañoso       | 17   | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 | 10 | --- |

**Fuente.** Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2010)

Una vez que se reconoce las clasificaciones para los diferentes países mencionados, se cuenta con evidencia de como difiere la información, algunos limitan su clasificación según la pendiente del terreno únicamente, mientras otros consideran la velocidad de diseño y radios mínimos, por lo que se utilizaron estos factores para reconocer su magnitud para el caso de nuestro país.

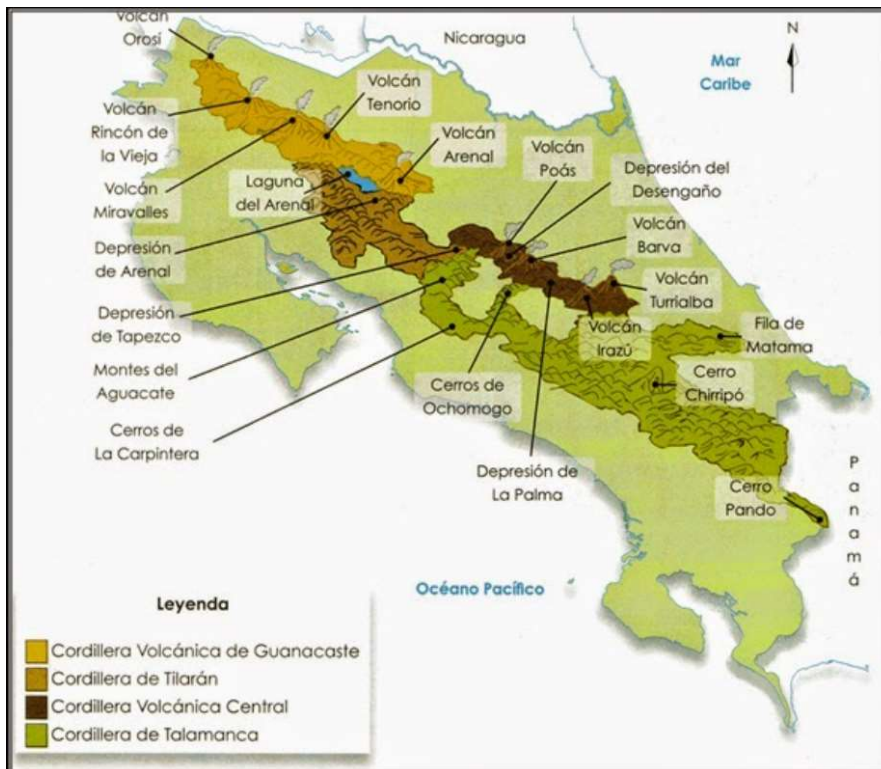
## 3.2 Condiciones de montaña para Costa Rica

Hasta el momento, según lo mencionado anteriormente se tiene certeza únicamente que para Costa Rica conforme lo indica la Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2002) los proyectos se

clasifican bajo condiciones de montaña cuando el porcentaje de la pendiente del terreno natural es mayor al 15% , como se muestra en la Figura 14, al igual que la velocidad de diseño como se evidencia en la Figura 15, por lo que se consideró complementar este factor con algunos otros, tal como la altitud y precipitación( condición lluviosa) para crear un concepto más completo de las condiciones de montaña para Costa Rica.

En referencia al relieve, tal como se observa en la Figura 16 el eje montañoso central es el mayor representante de la orografía del país, formado por la Cordillera de Guanacaste, Cordillera de Tilarán, Cordillera de Volcánica Central y Cordillera de Talamanca donde se encuentra el pico más alto del país, el Cerro Chirripó con 3819 m.s.n.m. La literatura indica que este sistema montañoso corresponde a tierras medias y tierras altas que van de los 800 m.s.n.m a 1250 m.s.n.m y de los 1250 m.s.n.m a los 3819 m.s.n.m sucesivamente (Montañas y volcanes – Áreas protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica, s. f.).

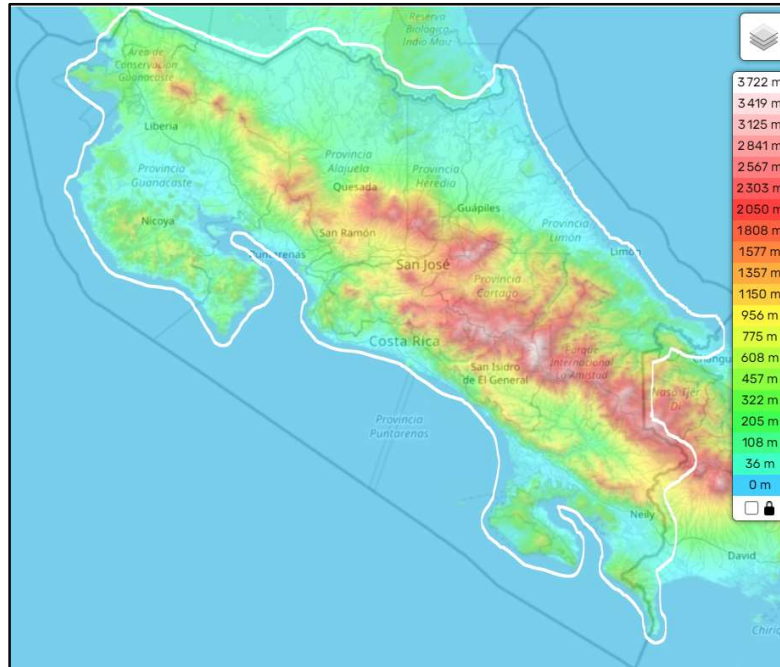
**Figura 16.**  
Sistema montañoso de Costa Rica.



Fuente. (Cartín, 2013).

**Figura 17.**

Altitudes en las diferentes regiones de Costa Rica.



**Fuente.** Mapa topográfico Costa Rica, altitud, relieve (s. f.)

Al considerar el relieve en conjunto con las altitudes, se observó que las montañas están presentes en la mayoría del territorio, básicamente las zonas planas serían las correspondientes a la llanura del norte, llanura del pacífico, así como la llanura del atlántico, donde al relacionar la Figura 16 con la Figura 17 las zonas planas se encuentran entre los 0 m.s.n.m y los 775 m.s.n.m confirmando lo mencionado anteriormente respecto a la altitud a la cual se encuentran el sistema montañoso.

Ahora bien, a partir de las regiones climáticas del país que se muestra en la Figura 18, donde cada color representa una región climática, se creó un listado con la información de interés tal como la temperatura y precipitación para cada uno de los lugares que ubican en dichas regiones climáticas de Costa Rica, este listado se encuentra en el Apéndice 3 mismo que está clasificado según las regiones mencionadas y fue elaborado a partir de un artículo publicado por el Instituto meteorológico de Costa Rica, este artículo en resumen permitió identificar que el país cuenta con un sistema modernamente lluvioso, lluvioso y extremadamente lluvioso.

**Figura 18.**

Mapa de las regiones climáticas de Costa Rica.



**Fuente.** Solano & Villalobos (s. f.).

A continuación, se encuentra un resumen de los factores a considerar para así identificar si un proyecto se encuentra en condiciones de montaña, es importante mencionar que respecto a la altitud el objetivo de incluirlo es que previamente las empresas reconozcan que según la elevación a la que se encuentra la ruta a intervenir, hay posibilidad o no de presentar condiciones propias de las rutas de montaña, mismo situación pasa con la época, reconocer este factor va a permitir identificar si la región donde se va a trabajar la lluvia puede ser un obstáculo.

**Tabla 6.**  
Resumen de parámetros que deben cumplir los proyectos en rutas montañosas.

| <b>Tipo de terreno</b> |   |
|------------------------|---|
| <b>Clasificación</b>   | <b>Definición</b>   |
| Montañoso              | Corresponde a terrenos donde la pendiente natural es mayor al 15%, es decir:<br>P>15%<br>Donde P representa la pendiente. |

| <b>Velocidad de diseño</b><br>(complementario al porcentaje de pendiente)   |  |
|---|--|
| <b>Velocidad (KPH)</b>  | <b>Porcentaje de pendiente del terreno (%)</b> |
| 40  | 15   |
| 30  | 16   |
| 20  | 17   |
| <p><b>NOTA:</b> Para pendientes mayores al 17% la velocidad de diseño no sobrepasa los 20 KPH.<br/>Este es un factor complementario al porcentaje de pendiente, están relacionados por lo que no se considera como un factor independiente.</p> |  |

| <b>Condición lluviosa</b> |   |
|---------------------------|---|
| <b>Clasificación</b>      | <b>Definición</b>   |
| Montañoso                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta condición lluviosa<br/>Es decir, un promedio de lluvia anual entre los 2000 mm-4000 mm.</li> <li>▪ Presenta condición extremadamente lluviosa<br/>Un promedio de lluvia anual igual o mayor a los 4000 mm.</li> </ul> |

| <b>Altitud</b>       |  |
|----------------------|--|
| <b>Clasificación</b> | <b>Definición</b>  |
| Montañoso            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta altitudes por arriba de los 800 m.s.n.m</li> </ul> <p>Se considera un factor complementario, para identificar en la etapa previa al inicio de un proyecto, sobre la posibilidad de encontrar una condición lluviosa o pendiente, propio de las rutas de montaña.</p> |

**NOTA:** Para considerar que un proyecto se realizará en condiciones de montaña, debe cumplir con cualquiera de los factores tal como pendiente del terreno o condición lluviosa, no es necesario que cumpla con los dos, en el caso de la altitud se considera un factor a considerar en términos de identificar las zonas montañosas, es un factor que reafirma que se trata de una ruta montañosa.

A su vez, es importante reconocer que se encuentran diferentes tipos de curvas horizontales como lo son las curvas abiertas, curvas de ángulo recto, curvas cerradas y curvas de doble radio estos tipos de curvas pueden estar presentes tanto en terrenos planos, ondulado o montañoso sin embargo es muy probable que en condiciones montañosas las curvas lleguen a ser cerradas, ya que son características propias de las rutas montañosas.

**Figura 19.**  
Curvas cerradas.



Fuente. Frutos (2022).

### 3.3 Proyectos bajo condiciones de montaña

Con la finalidad de mostrar cómo en la práctica los proyectos que comparten condiciones de montaña se ven afectados por situaciones que impiden que se logre la calidad esperada de la capa asfáltica colocada, se utilizaron proyectos ya ejecutados que a primera instancia la empresa I.T.P brindó acceso a la información de los proyectos en los que ha estado involucrado, para así identificar los proyectos que fuesen referencia para el caso a estudiar, por lo que a partir de cinco proyectos, inicialmente se confirmó que fueron proyectos realizados bajo condiciones de montaña, para posteriormente por medio de la información adjunta a cada uno de ellos, identificar si las condiciones de montaña afectaron los resultados esperados y reconocer la forma en la que lo está haciendo.

En un inicio, se completaron los formularios que se adjunta en el Apéndice 4, donde se recolectó la información relevante de cada uno de los proyectos de pavimentación a partir de los datos que se adjuntaron en el Anexo 1, ahora en la Figura 20 se observan los proyectos analizados con su respectiva ubicación en el territorio nacional.

**Figura 20.**  
Ubicación de los proyectos.



**Fuente.** (Imágenes de Google Earth, s. f.)

Al no contar con los perfiles topográficos de las rutas intervenidas, a partir de la herramienta Google Earth y de la ubicación de cada proyecto, se identificó una sección representativa de las características del terreno presentes.

**Figura 21.**  
 Perfil de elevación representativa del proyecto Calle Artieda.



**Fuente.** (Imágenes de Google Earth, s. f.)

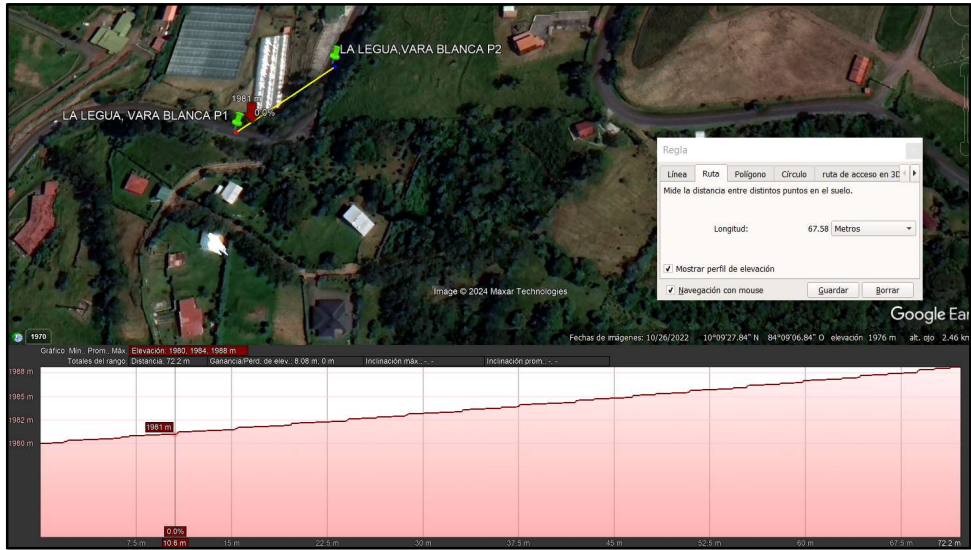
**Figura 22.**  
 Perfil de elevación representativa del proyecto San Juan Grande.



**Fuente.** (Imágenes de Google Earth, s. f.)

**Figura 23.**

Perfil de elevación representativa del proyecto La legua, Vara blanca.



Fuente. (Imágenes de Google Earth, s. f.).

**Figura 24.**

Perfil de elevación representativa del proyecto Cutris.



Fuente. (Imágenes de Google Earth, s. f.).

**Figura 25.**  
 Perfil de elevación representativa del proyecto Monte Verde.



**Fuente.** (Imágenes de Google Earth, s. f.).

A partir del perfil de elevación, se obtuvo la información que se muestra en la Figura 26, esto permitió reconocer el porcentaje de pendiente presente en las rutas intervenida para cada proyecto. El Cuadro 6 se usó de referencia para identificar si los proyectos presentan condiciones de montaña, después se completó el cuadro de la Figura 27 para mostrar los parámetros relacionados con cada uno.

**Figura 26.**  
 Características de los proyectos analizados.

| Proyecto                       | Magnitud de los dos puntos de sección elegida |                                      | Pendiente del terreno                 |
|--------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                                | Nombre  | Distancia vertical de la sección (m) | Distancia horizontal de la sección(m) |
| Esparza, calle Artieda         | 15  | 93                                   | 16,13                                 |
| Esparza, calle San Juan Grande | 15  | 98                                   | 15,31                                 |
| Vara Blanca, La legua          | 8   | 72                                   | 11,11                                 |
| Cutris, San Carlos             | 6   | 109                                  | 5,50                                  |
| Monte Verde                    | 33  | 137                                  | 24,09                                 |

Ahora bien, en la Figura 27 se encuentra la información base asociada a cada proyecto en conjunto con el porcentaje de pendiente que se muestra en la Figura 26, para así identificar en conjunto con la información del Cuadro 6, si cada proyecto según las características presenta condiciones de montaña.

**Figura 27.**

Características base de cada proyecto asociada a la ubicación, geometría y fecha de ejecución.

| Nombre                         | Fecha de reporte | Pendiente(%) | Altitud (m.s.n.m) | Condición lluviosa según su precipitación(mm anual ) | Época del año(seca o lluviosa) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-------------------|--|--------------------------------|
| Esparza, calle Artieda         | Septiembre 2023  | 16.13        | 224               | 2637   | Lluviosa                       |
| Esparza, calle San Juan Grande | Agosto 2023      | 15.31        | 174               | 2637   | Lluviosa                       |
| Vara Blanca, La legua          | Julio 2023       | 11.11        | 1804              | 3020   | Lluviosa                       |
| Cutris, San Carlos             | Marzo 2023       | 5.50         | 65                | 3768   | Seca                           |
| Monte Verde                    | Noviembre 2023   | 24.09        | 1400              | 3020   | Lluviosa                       |

**Figura 28.**

Verificación del cumplimiento de las condiciones de montaña.

| Nombre                         | Factores presentes en condiciones de montaña |              | Factores complementarios a las condiciones de montaña |             |                   |
|--------------------------------|--|--------------|---|-------------|-------------------|
|                                | Pendiente (1)                                | Lluvioso (2) | Extremadamente lluvioso(2)                            | Altitud (3) | Época del año (3) |
| Esparza, calle Artieda         | X  | X            |   |             | X                 |
| Esparza, calle San Juan Grande | X  | X            |   |             | X                 |
| Vara Blanca, La legua          |  | X            |   | X           | X                 |
| Cutris, San Carlos             |  | X            |   |             |                   |
| Monte Verde                    | X  | X            |   | X           | X                 |

#### Factores presentes en condiciones de montaña

(1) Presenta pendientes de terreno mayor al 15%

(2) Presenta una condición lluviosa( 2000 mm-3000 mm de lluvia anual) o extremadamente lluvioso( 4000 mm o más de lluvia anual)

Debe de cumplirse al menos uno de estos factores

#### Factores complementarios en condiciones de montaña

(3) Con una altitud de los 800 m.s.n.m se encuentra en rutas de montaña

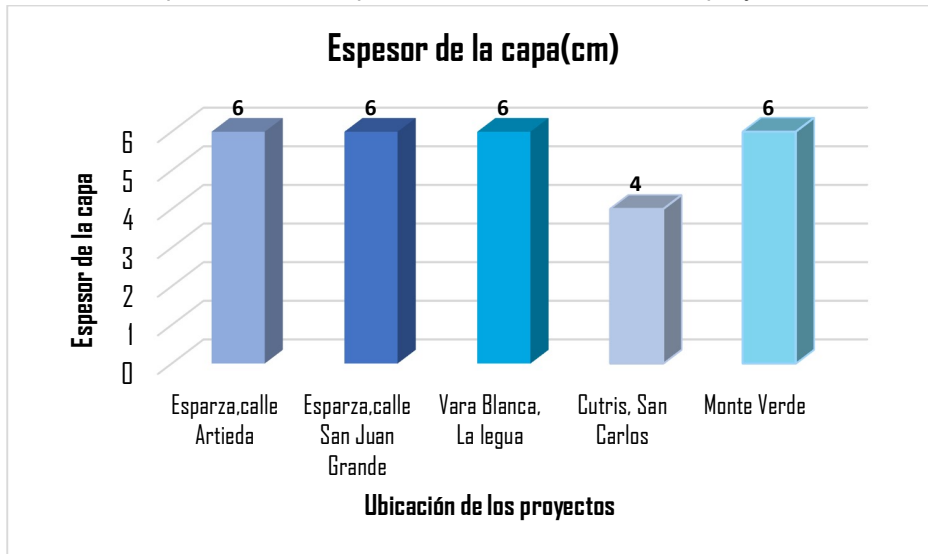
(4) La época lluviosa corresponde de Mayo a Noviembre

Estos son factores importantes previo a la aceptación de un proyecto, brinda un indicio si el proyecto puede verse afectado por la lluvia

o la presencia de pendientes mayor o igual al 15% .

Al verificar que los proyectos efectivamente se ejecutaron bajo condiciones de montaña, se utilizó entonces la información que fue resumida en el Apéndice 5, importante mencionar que los datos correspondientes a resultados de campo se derivan del resultado obtenido en un punto u estación, no corresponde a promedios, son datos mínimos y máximos en el caso del porcentaje de compactación y de vacíos de aire, en diferentes puntos del tramo que se intervino, lo importante acá eran los resultados, para que a partir de los gráficos, se concluyera si los mismos cumplen con los parámetros establecidos por el CR-2020. Entre los datos más relevantes se encuentra las características volumétricas de las mezclas asfálticas utilizadas, espesores de capa, temperatura del aire, así como los resultados de los porcentajes de vacíos en sitio y en laboratorio, porcentajes de compactación y el contenido de asfalto en la mezcla principalmente.

**Figura 29.**  
Espesores de la capa asfáltica colocada en cada proyecto.



Al identificar el espesor de la capa colocada en cada proyecto, se consideró indagar en la teoría para entender si en el proceso de diseño del espesor en el caso de pavimento flexible, es posible considerar el efecto de las condiciones de montaña tal como lo es el porcentaje de pendiente o las condiciones lluviosas.

**Figura 30.**  
Fórmula para el diseño del espesor de pavimento flexible por el método ASSHTO 93.

Para el método de AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

En donde:

- $W_{18}$  = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips ( 80 kN ) calculadas conforme el tránsito vehicular.
- $Z_r$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.
- $S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.
- $\Delta \text{PSI}$  = Pérdida de serviciabilidad.
- $M_r$  = Módulo de resiliencia de la subrasante.
- $\text{SN}$  = Número Estructural

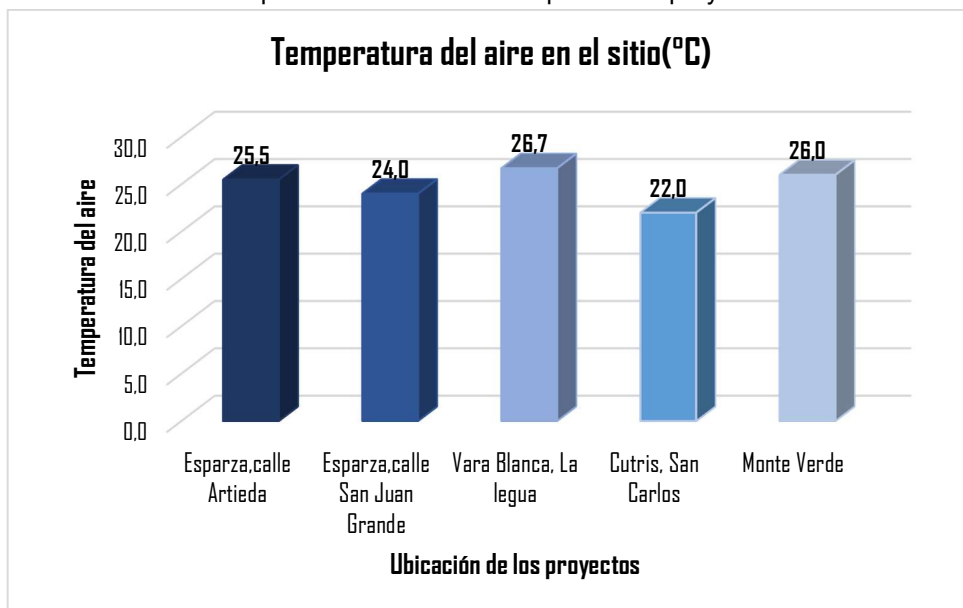
**Fuente.** Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2002)

**Figura 31.**  
Espesores mínimos sugeridos.

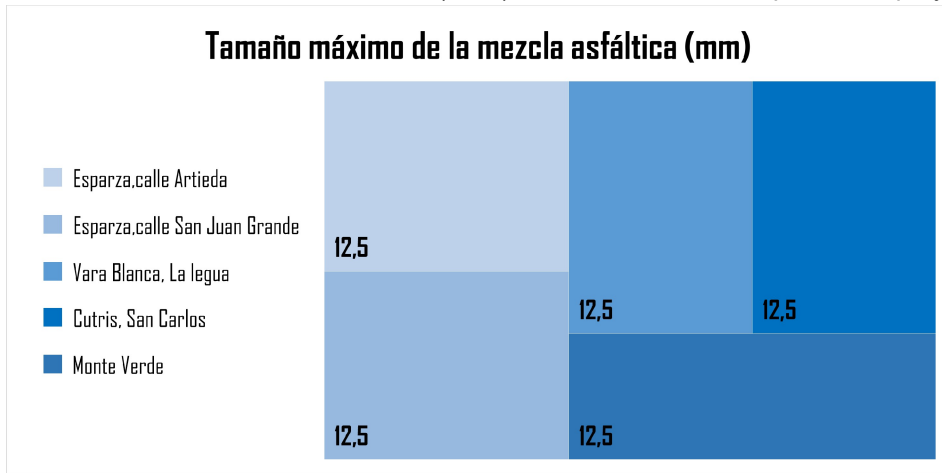
| Número de ESAL's      | Capas Asfálticas | Base Granular |
|-----------------------|------------------|---------------|
| Menos de 50,000       | 3.0 cm           | 10 cm         |
| 50,000 - 150,000      | 5.0 cm           | 10 cm         |
| 150,000 - 500,000     | 6.5 cm           | 10 cm         |
| 500,000 – 2,000,000   | 7.5 cm           | 15 cm         |
| 2,000,000 – 7,000,000 | 9.0 cm           | 15 cm         |
| Más de 7,000,000      | 10.0 cm          | 15 cm         |

**Fuente.** Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2002).

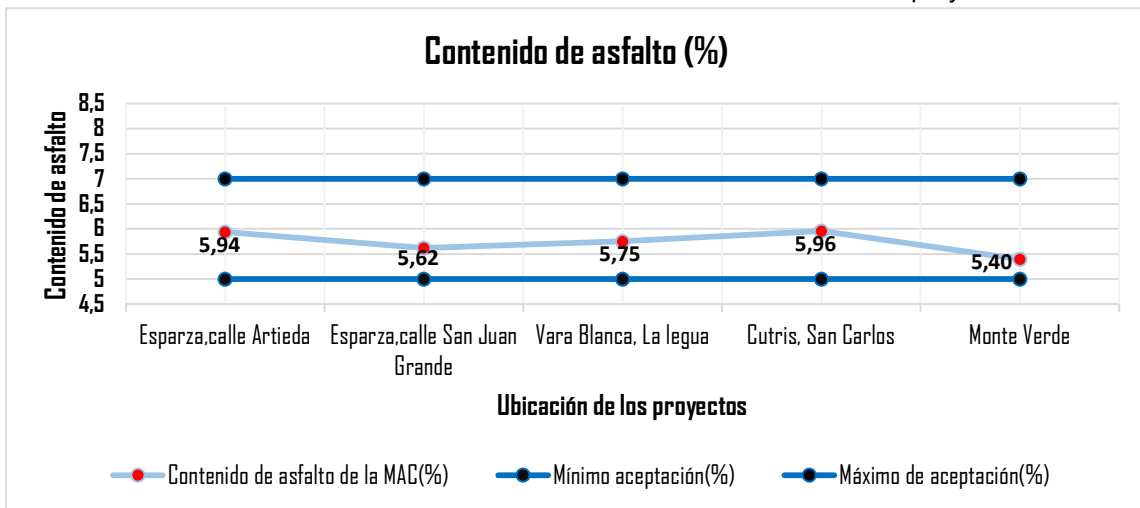
**Figura 32.**  
Temperatura del aire en sitio para cada proyecto.



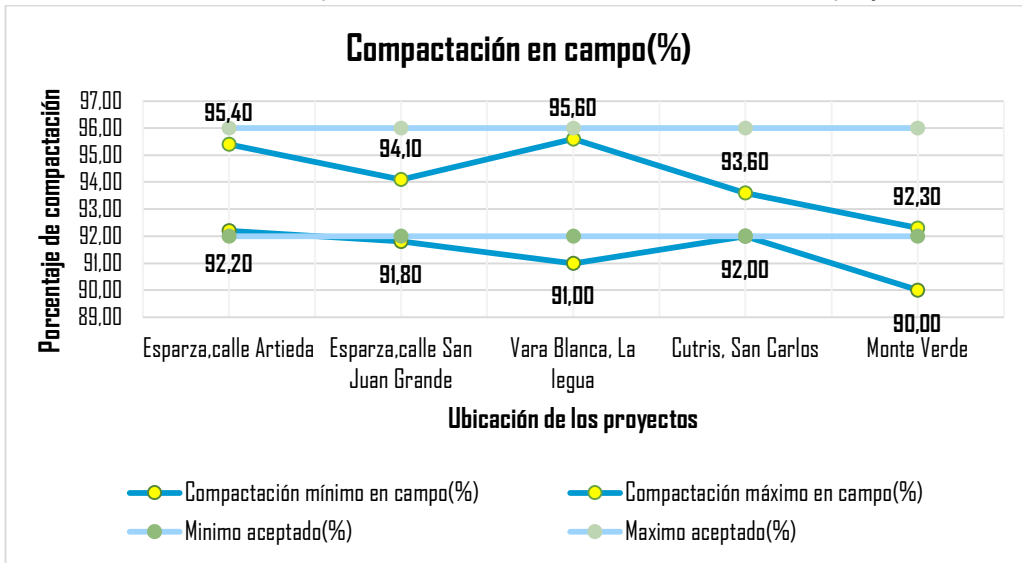
**Figura 33.**  
Resultados del Tamaño Máximo Nominal (TMN) de la mezcla asfáltica para cada proyecto.



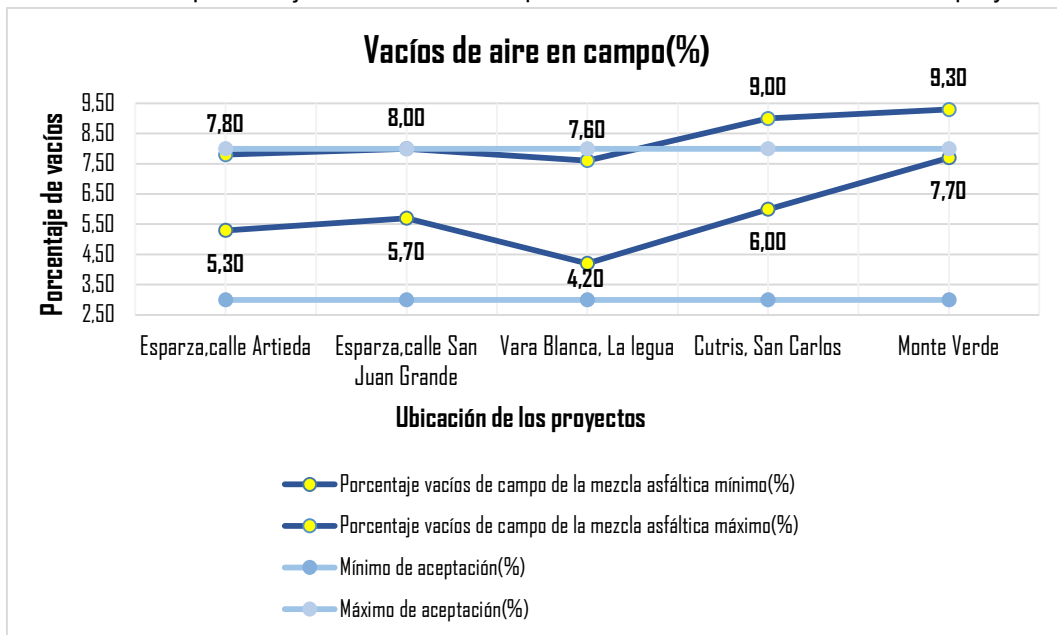
**Figura 34.**  
Resultados del contenido de asfalto de la mezcla utilizada en cada proyecto.



**Figura 35.**  
Resultados de compactación en una de las estaciones de cada proyecto.

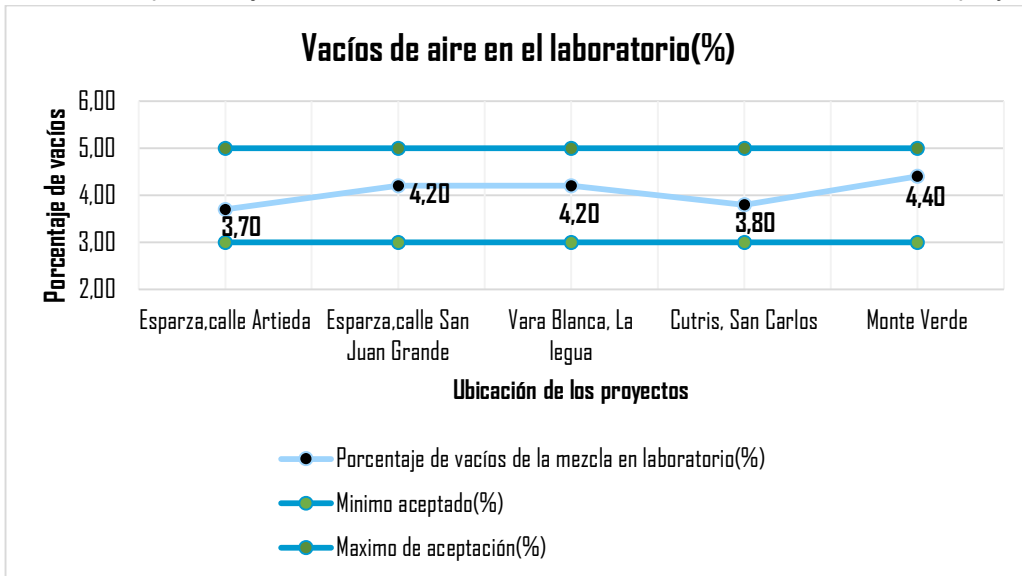


**Figura 36.**  
Resultados del porcentaje de vacíos de campo en una de las estaciones de cada proyecto.



**Figura 37.**

Resultados del porcentaje de vacíos de laboratorio en una de las estaciones de cada proyecto.



En las siguientes figuras se muestran las características volumétricas de la mezcla asfáltica que se utilizó en cada proyecto, con la finalidad de identificar el diseño utilizado y como en laboratorio las mismas cumplen con las especificaciones, sin embargo, en el campo los resultados no son los esperados tal como se mostró en los gráficos anteriores. Reconociendo que el método de diseño de mezcla empleado fue Marshall.

**Figura 38.**

Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Esparza, calle Artieda.

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 6,32           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,94           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas                             | 2,359          | ****   | Dis.2,342      |
| Máxima Teórica                            | 2,450          | ****   | Dis. 2,440     |
| Vacíos                                    | 3,7            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 13,9           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 73             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,029          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva.                    | 2,684          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,56           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,47           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,4            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,579          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Figura 39.**

Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Esparza, calle San Juan Grande.

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 5,95           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,62           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas                             | 2,352          | ****   | Dis.2,342      |
| Máxima Teórica                            | 2,456          | ****   | Dis. 2,440     |
| Vacios                                    | 4,2            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 13,8           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 69             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,029          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva.                    | 2,677          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,54           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,17           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,4            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,574          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Figura 40.**

Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Vara Blanca, la Legua.

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 5,94           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,61           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas                             | 2,341          | ****   | Dis. 2,350     |
| Máxima Teórica                            | 2,460          | ****   | Dis. 2,448     |
| Vacios                                    | 4,8            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 15,4           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 68             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,032          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva.                    | 2,680          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,03           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,64           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,2            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,611          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Figura 41.**

Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de San Carlos. Cutris.

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 6,32           | %      | 5,65%-6,78%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,94           | %      | 5,35%-6,35%    |
| Gbs Pastillas                             | 2,370          | ****   | ****           |
| Máxima Teórica                            | 2,464          | ****   | ****           |
| Vacios                                    | 3,8            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 14,68          | %      | Min. 13 %      |
| VFA                                       | 74,10          | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,031          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva.                    | 2,701          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,28           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,73           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,14           | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,613          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Figura 42.**

Características volumétricas de la mezcla asfáltica proyecto de Monte Verde.

| ITEM                    | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
|-------------------------|----------------|--------|----------------|
| Asfalto s/agregado      | 5,71           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla        | 5,40           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas           | 2,349          | ****   | Dis. 2,350     |
| Máxima Teórica          | 2,456          | ****   | Dis. 2,448     |
| Vacios                  | 4,4            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                     | 14,4           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                     | 70             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)    | 1,029          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva.  | 2,667          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto    | 1,09           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo        | 4,37           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto  | 1,3            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados | 2,594          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

### 3.3.1 Maquinaria utilizada

Ahora bien, para reconocer las características de equipo utilizado en campo, se adjunta en el Anexo 1 las especificaciones técnicas de la extendedora utilizada la cual es una CAT AP 1055, en el Anexo 2 la correspondiente a la compactadora CAT CB54 XW, luego en el Anexo 3 se puede encontrar las especificaciones de la compactadora llanta de hule Hamm GRW 15.

Con la finalidad de mostrar como los equipos más modernos tienen la facilidad de trabajar hasta con un 40% de pendiente sin dificultad alguna, en el Anexo 4 se encuentra la ficha técnica de la compactadora AMMANN AV 130 X, esta es la única adjunta ya que para las otras máquinas las fichas técnicas encontradas no contaban con el dato de la capacidad de escalamiento siendo este un factor primordial para identificar si realmente pueden trabajar en óptimas condiciones sin verse afectado por el porcentaje de pendiente del terreno.

## 3.4 Visita a un proyecto

A través de una visita realizada a un proyecto en Puriscal a mediados de noviembre del 2023, el mismo no fue incluido a razón de que no se logró completar toda la información necesaria, sin embargo si se verificó en campo que presentara condiciones de montaña, en este caso presentó pendientes mayores al 15%, tal como se muestra en la Figura 43, de igual forma el diálogo con los ingenieros presentes y con el encargado en campo, permitió conocer algunas ideas y punto de vista, respecto a la colocación de mezcla asfáltica en rutas de montaña.

**Figura 43.**

Pendiente del terreno presente en la ruta intervenida el cantón de Puriscal.



**Tabla 7.**

Resumen de la información recopilada por medios de encargados de proyectos y la visita a campo.

| <b>Aspectos por considerar</b> |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Respecto a:</b>             | <b>Consideración</b>   |
| <b>Mezcla asfáltica</b>        | <p>Cuando una ruta presenta condiciones de montaña debido a pendientes mayores al 15%, esto no implica que toda la ruta este con altas pendientes, por el contrario, puede presentar secciones planas, a razón de esto debe considerar colocar un diseño de mezcla distinto en ambas secciones, ya que se prevé asumir que la mezcla asfáltica se comporta igual en ambas circunstancias.</p> <p>Los ingenieros de campo para el proyecto visitado coordinaron la colocación de la mezcla asfáltica para lo más temprano posible, a razón de las lluvias imprevistas que se continuaban presentando a pesar de ser un lugar de clima caliente.</p>   |
| <b>Confinamiento lateral</b>   | <p>En campo, el haber realizado la construcción de las cunetas revestidas previo a la etapa de colocar la MAC permitió que no se diera un desplazamiento lateral de la mezcla ayudando así al confinamiento lateral, este tipo de cuneta puede diseñarse de manera que quede un bordillo que sirva como "límite" para la mezcla cuando se está colocando y compactando, como se muestra en la Figura 44.</p>   |
| <b>Paño de prueba</b>          | <p>Se observa como el tramo de prueba no representa todas las secciones del proyecto, por lo que realizar un paño de prueba en una zona de la pendiente pronunciada puede ayudar a obtener un patrón de compactación más representativo antes de pasar al proceso de pavimentación.</p>  |
| <b>Riego de imprimación</b>    | <p>A pesar de que al colocar el riego de imprimación sea necesario esperar al rompimiento de esta, es importante coordinar que después de esto se realice el proceso de colocación de la mezcla asfáltica y no se exponga a que factores como la lluvia "barran" el riego de imprimación.</p>  |
| <b>Compactación</b>            | <p>En campo se observa que el método de compactación utilizado es por vibración, sin embargo, se encuentra el método de oscilación, tal como se muestra en la Figura 45 la oscilación trabaja más puntual directo a la zona de contacto, a su vez se compacta de manera continua por lo que el tiempo de compactación es menor en comparación al método de vibración, esto parece favorecer la compactación en pendientes.</p> <p>El efecto de la pendiente que se muestra en la Figura 46 influye en que la mezcla asfáltica conforme aumenta la pendiente se incrementa la fuerza que influye en el desplazamiento y des compactación de la mezcla, por lo que valorar colocar la mezcla asfáltica en secciones cortas pueden favorecer a que la misma mezcla ya compactada sirva como barrera ante las fuerzas que inciden en el desplazamiento.</p> <p>Favorecer el enfriamiento de la mezcla una vez colocada y que haya alcanzado la compactación, para evitar así des compactación de la capa asfáltica colocada.</p> |

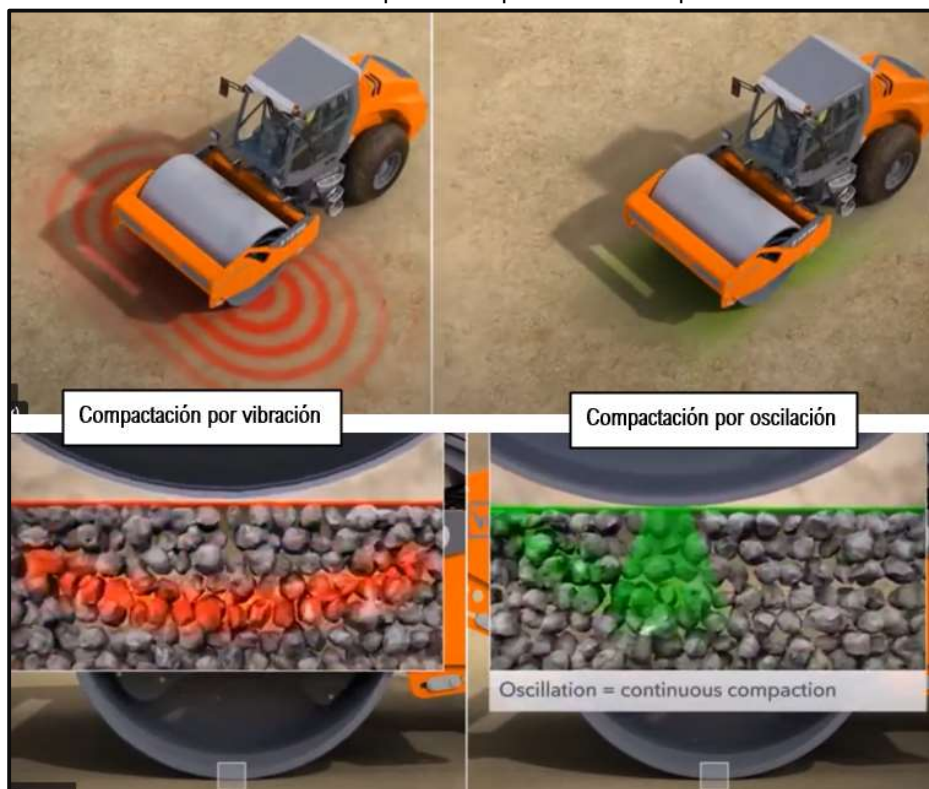
**Figura 44.**

Cuneta revestida elaborada previo a la colocación de la mezcla asfáltica.



**Figura 45.**

Diferencias entre la compactación por vibración o por oscilación.

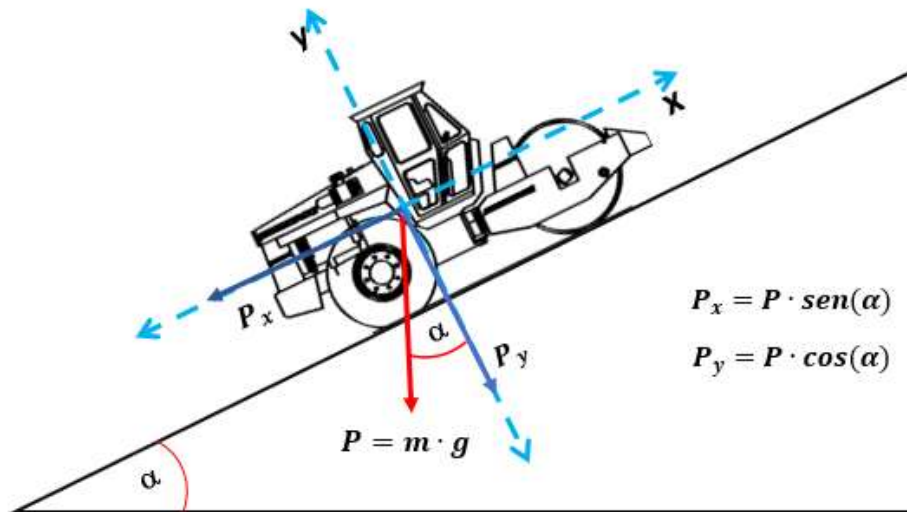


**Fuente.** (RESANSIL, 2017).

Al realizar la visita se logró comprender el comportamiento de la maquinaria y la mezcla a colocar en pendiente, a raíz de las fuerzas que interviene las cuales, al encontrarse con un aumento de la inclinación del terreno, cambian su comportamiento en comparación a cuando se trabaja en rutas planas, esto se muestra de manera más representativa en la Figura 46.

**Figura 46.**

Efecto de la pendiente en el proceso de colocación de mezcla asfáltica.



## 3.5 Informe de situaciones vividas en campo

El efecto de las condiciones de montaña es un tema con el que se ha tenido que afrontar las empresas contratistas desde hace algunos años, es por esto de a través de informes los ingenieros encargados de campo describen algunas situaciones no habituales presentes en algunos proyectos que dificultaron alcanzar los resultados esperados luego de colocar la capa asfáltica, esto con el fin de explicar al contratante los fundamentos por los cuales dicho proyecto presentó situaciones no previstas. A razón de lo anterior se muestra la Tabla 8 un resumen de las ideas planteadas en alguno de los informes y que fueron proyectos identificados con condiciones de montaña.

**Tabla 8.**

Resumen de la información recopilada por medio de informes de campo.

| <b>Aspectos por considerar</b> |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Respecto a:</b>             | <b>Consideración</b>   |
| <b>Mezcla asfáltica</b>        | <p>A través de experiencias pasadas donde se pone a prueba cambiar el tamaño máximo nominal (TMN) de la mezcla a uno mayor, es decir pasar de 12,5 mm a 19,0 mm no garantiza que especialmente con las pendientes pronunciadas se obtenga los resultados esperados.</p> <p>Trabajar con mezclas donde no se varíe el TMN buscar que la mezcla se cuente con mayor % de asfalto de igual forma considerar modificantes.</p> |
| <b>% de vacíos de aire</b>     | <p>Por medio de proyecto a finales del 2022, se trató de reducir los % de vacíos de laboratorio, logrando porcentajes entre el 3,3% y 3,8%, con el fin de aumentar las posibilidades de que los porcentajes de compactación en campo fueran los esperados, de la mano con un TMN del 12,5 mm, para este proyecto siendo la pendiente el principal desafío se lograron los resultados de compactación esperado.</p>         |
| <b>Maquinaria</b>              | <p>En proyectos ya realizado se evidencia como el acarreo de la MAC a la pavimentadora, así como la compactadora tiene dificultad para trabajar en pendientes mayores al 15%.</p>  |
| <b>Sellado</b>                 | <p>A raíz de la experiencia, el colocar "Fog Seal" en un proyecto que presenta condiciones de montaña, en el año 2021 para el 2023 a través de una visita se pudo comprobar que la carretera se encuentra en perfecto estado, sin evidencias de problemas en la estructura de pavimento.</p>   |
| <b>Confinamiento lateral</b>   | <p>A través de la experiencia, presentan como solución para el desborde de la mezcla y la falta de confinamiento en los bordes, utilizar bordillos, cunetas o espaldones</p>   |
| <b>Paño de prueba</b>          | <p>Se menciona como el patrón del paño de prueba realizado, no permite alcanzar el porcentaje de compactación en pendientes mayores al 15% o incluso entre el 13% y 14%.</p>   |

**Figura 47.**  
Ruta con aplicación de Fog Seal.



**Fuente.** Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Figura 48.**  
Rutas con y sin elementos de confinamiento lateral.



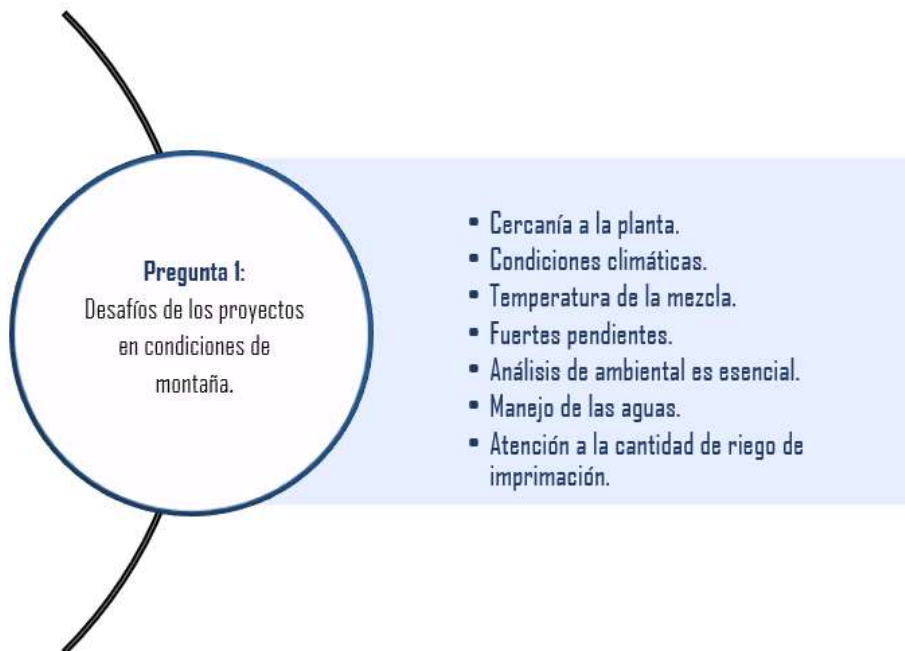
**Fuente.** Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

## 3.6 Entrevista a expertos (Ingenieros de campo)

Considerando las respuestas recibidas en la entrevista semiestructurada, la misma se encuentra en el Apéndice 6, se muestran de forma puntualizada las respuestas para cada una de las preguntas realizadas.

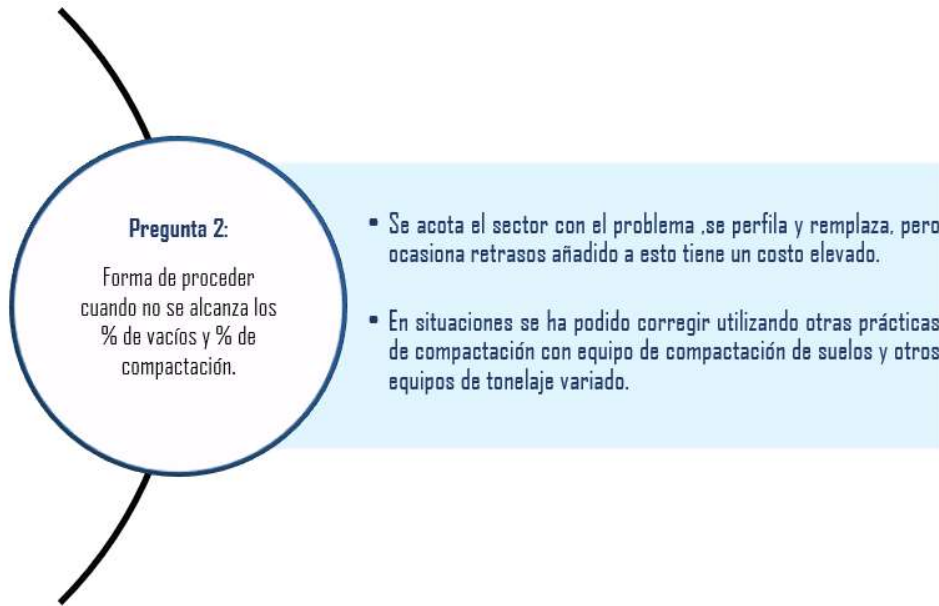
**Figura 49.**

Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 1.



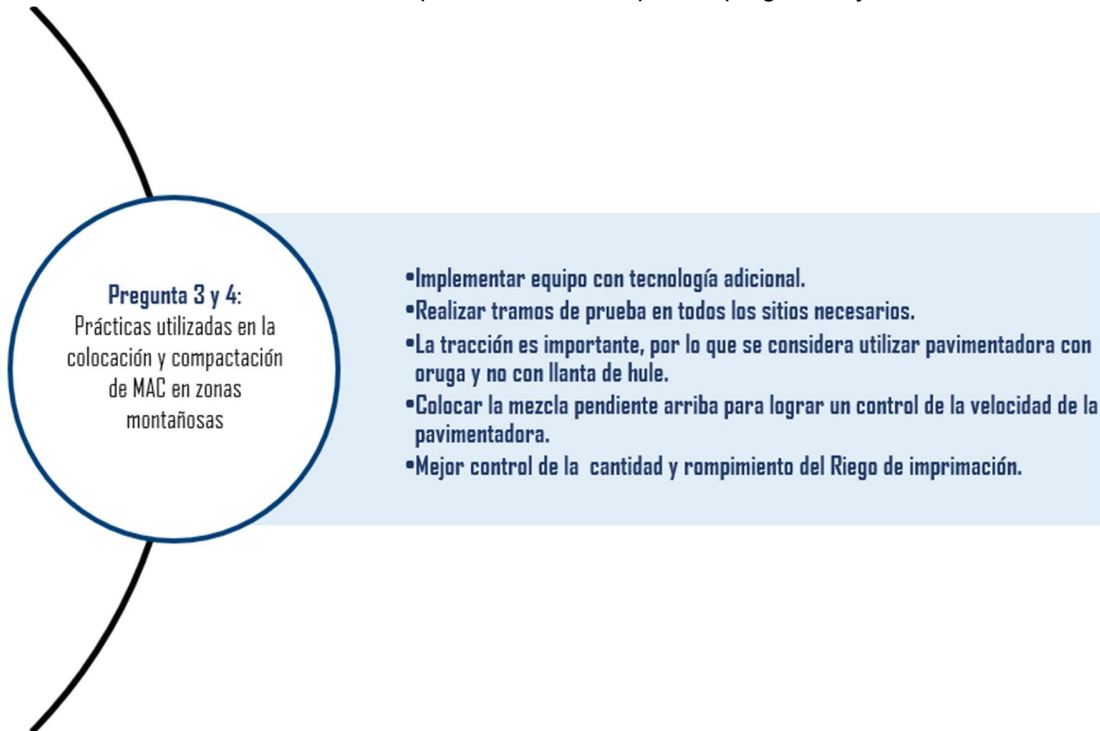
**Figura 50.**

Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 2.



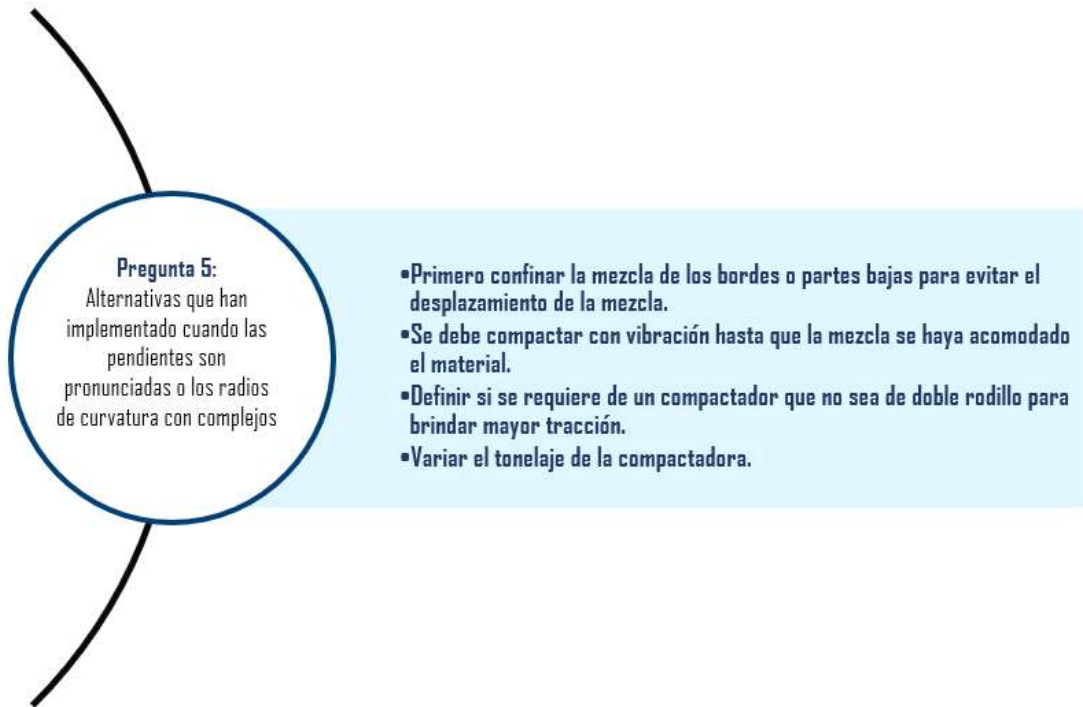
**Figura 51.**

Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 3 y 4.



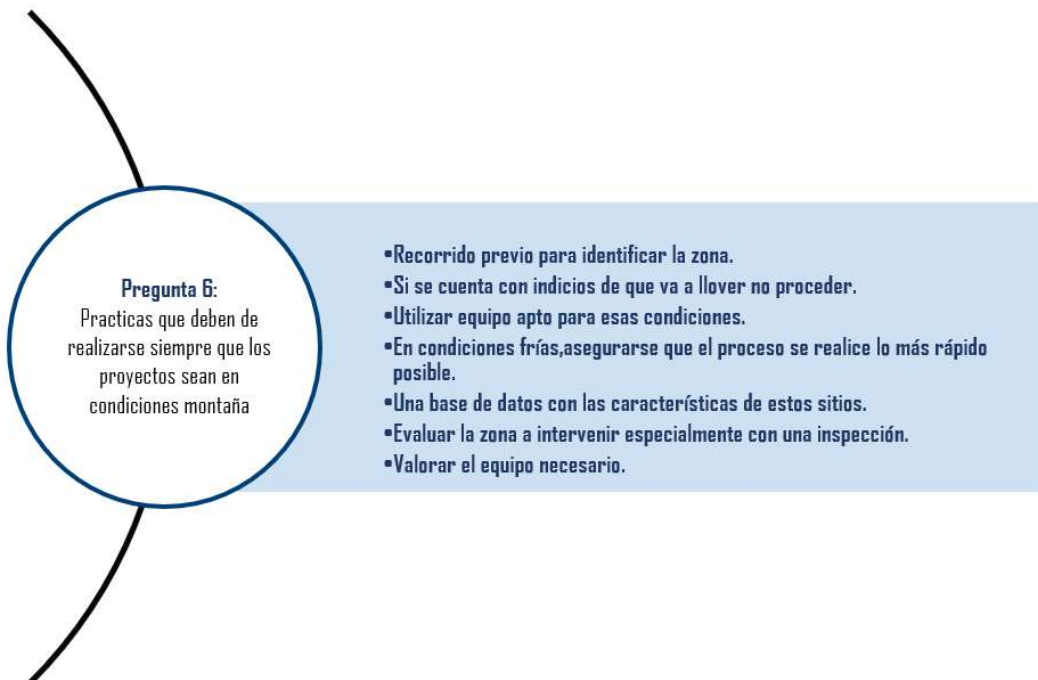
**Figura 52.**

Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 5.



**Figura 53.**

Resumen de las respuestas obtenidas para la pregunta 6.



## **3.7 Resumen de la información obtenida**

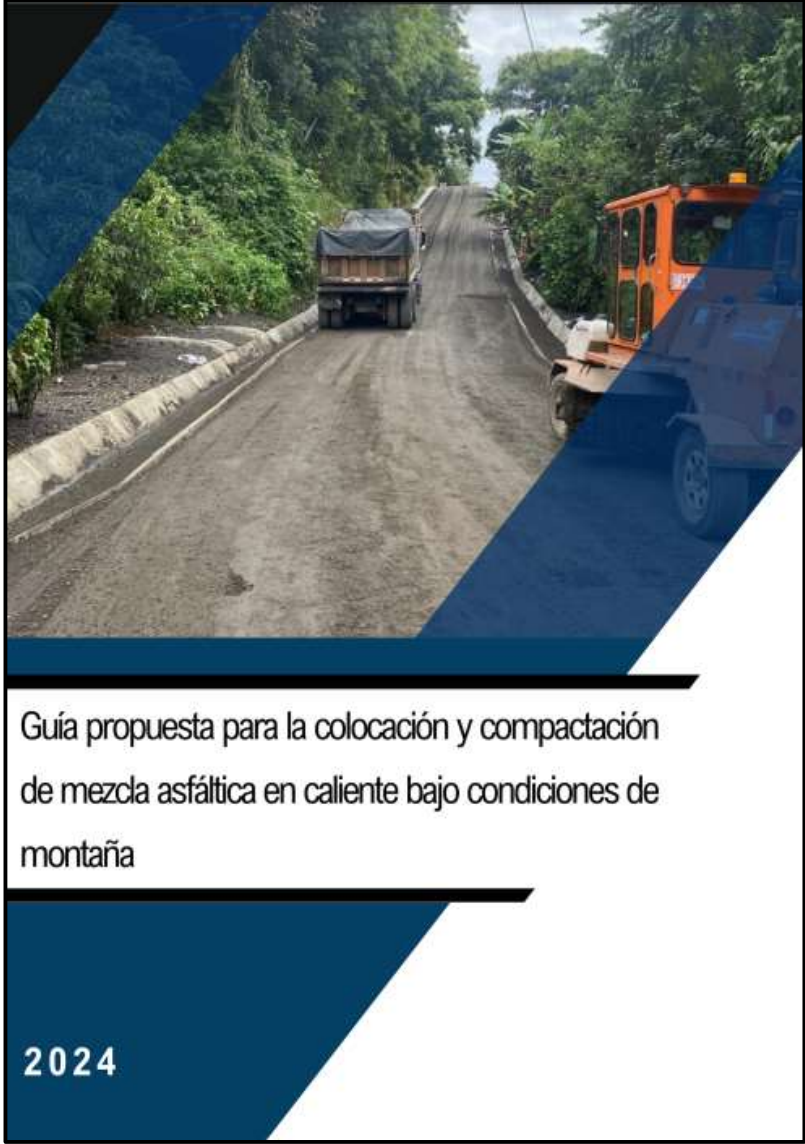
A raíz de los proyectos analizados, la visita realizada, informes de campo, diálogo con encargados de proyecto y respuestas recibidas en la entrevista a ingenieros expertos se recopiló la información de la Tabla 9 siendo esta la base para la guía propuesta.

**Tabla 9.**  
Resumen de ideas a colocar en la guía propuesta.

| Respecto a:                               | Valoración  |
|---|---|
| <b>Planificación</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Previo manejo de las aguas.</li> <li>• Visita al sitio del proyecto.</li> <li>• Controlar cada proceso, a partir de la documentación y uso de equipo tecnológico.</li> <li>• En lugares donde por naturaleza se consideran como regiones lluviosas o excesivamente lluviosas planificar los tiempos de ejecución.</li> </ul>         |
| <b>Mezcla asfáltica en caliente</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No variar el TMN de la mezcla asfáltica a utilizar.</li> <li>• Trabajar con porcentajes de asfalto altos.</li> <li>• Diseñar con porcentajes de vacíos entre 3%-4%.</li> <li>• Considerar el uso de un diseño de mezcla asfáltica para las secciones planas u otra para las que presentan pendiente mayor o igual al 15%.</li> </ul> |
| <b>Maquinaria y equipo</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse que la maquinaria tenga una capacidad de escalamiento superior al 15%.</li> <li>• Utilizar vagonetes con volquete que contenga aislante térmico.</li> <li>• Que la pavimentadora trabaje con tracción sobre oruga.</li> </ul>   |
| <b>Elementos de confinamiento lateral</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar cunetas revestidas</li> <li>• Cuando no se pueda colocar cunetas revestidas, utilizar una triangular no simétrica.</li> <li>• Si las cunetas no representan ser la mejor opción, se puede utilizar bordillos o espaldones.</li> </ul>   |
| <b>Barrido</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse de que el barrido se realice no muy anticipadamente, utilizando barredora mecánica, escoba y compresor de aire.</li> </ul>  |
| <b>Riego de imprimación</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar utilizar Emulsión Asfáltica con polímeros.</li> <li>• Asegurar la mayor cobertura posible.</li> <li>• Controlar en arrastre del riego a razón de la humedad, lluvia y viento que contaminan la superficie con residuos.</li> </ul>  |
| <b>Paño de prueba</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar un tramo de prueba en una sección con pendiente.</li> <li>• Utilizar exactamente todo lo utilizado en el tramo de prueba, en toda la longitud a intervenir.</li> </ul>  |
| <b>Colocación y compactación</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de temperatura y tiempo.</li> <li>• Compactar con el método de oscilación en pendientes mayores al 15%.</li> <li>• En pendientes mayores al 15% con longitud mayores a 50 m, valorar colocar la mezcla asfáltica en secciones.</li> <li>• Compactar los bordes inicialmente.</li> </ul>                                      |
| <b>Sellado</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar Fog Seal, Scrub Seal o Chip Seal, se debe considerar inicialmente el uso de Fog Seal.</li> <li>• Se adjunta las características de los tipos de sellos en el Anexo 5.</li> </ul>  |

### 3.7.1 Guía propuesta

**Figura 54.**  
Portada de la guía propuesta.



# Capítulo 4: Análisis de resultados

En cuanto al concepto de condiciones de montaña, tanto en la normativa dirigida al sector de diseño y construcción de carreteras en Costa Rica, así como en la literatura internacional, no se encuentra un concepto que defina cuando se considera que los proyectos de infraestructura vial se están realizando en condiciones de montaña, razón por la que se procede a definir dicho concepto según las características, topográficas y climáticas de Costa Rica a partir de los resultados obtenidos.

Al considerar las características del relieve de Costa Rica, en la Figura 16 se puede identificar fácilmente como el sistema montañoso se presenta en gran parte del territorio nacional, considerando de igual forma las elevaciones o altitudes de la Figura 17, se puede deducir que las regiones donde las elevaciones se encuentren por arriba de los 800 m.s.n.m hay presencia de montañas y por ende un relieve quebrado, sin embargo este se considera un factor complementario ya el ubicarse en zonas montañas no significa que todo el terreno esté en pendiente, no se puede caer en dicho error, lo correcto es contar con una base de información respecto al tipo de relieve de los diferentes lugares del país o hacer una respectiva visita de reconocimiento, es por esto que a primera instancia previo a iniciar o aceptar un proyecto, identificando la altitud a la que se ubica el proyecto, es importante, si se encuentra por arriba de los 800 m.s.n.m sirve de referencia para hacerles saber a los contratistas o contratantes que es necesario realizar una visita a la sección a intervenir, para que se tomen en consideración la situación real del proyecto, resguardando así el interés de ambas partes.

En cuanto al clima, el total de lluvia anual (precipitación) es un indicador de cuáles regiones del país son las más lluviosas, donde se consideran regiones moderadamente lluviosas, si el total de lluvia anual se encuentra entre los 1000 mm y 2000 mm, consiguientemente se considera una región lluviosa cuando el total de lluvia anual se encuentra entre 2000 mm y 4000 mm, por último las regiones excesivamente lluviosas comprenden un total de lluvia anual mayor a 4000 mm, donde se considera que los lugares lluviosos y extremadamente lluviosos, son los más importantes a considerar, ya que en los lugares moderadamente lluviosos la cantidad de días de lluvias al año son menos, tal como se muestra en los cuadros del Apéndice 3.

A razón de que la lluvia está presente de una manera más constante en las zonas montañosas, debido a su naturaleza, que procede por las diferencias de elevación, el acenso del aire húmedo y la barrera que resulta ser las montañas, se considera que la lluvia es uno de los principales factores que identifican a las condiciones de montaña, añadido a esto es de suma importancia su consideración porque la mezcla asfáltica en el proceso de colocación y compactación se ve afectada en la presencia de lluvia. Por lo que se procede a identificar a partir de las regiones climáticas de Costa Rica de la Figura 18, según el total de lluvia anual, cuáles son los lugares más lluviosos del país, tomando en cuenta que la estación seca va de diciembre-abril (151 días aproximadamente) y la estación lluviosa de mayo-noviembre (214 días aproximadamente). En el Apéndice 3 se encuentra un cuadro que permite identificar una vez ubicado el proyecto, definir bajo que características de precipitación y temperatura se va a trabajar el proyecto (Solano & Villalobos, s. f.).

Ahora bien, en la etapa donde se reconoce como clasifican las carreteras en diferentes países de América se identificó que la pendiente es el principal factor que describe las rutas montañosas, en el caso de Costa Rica se utiliza la clasificación creada para Centroamérica, esto a partir del "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" mismo que se creó bajo las normas AASHTO los cuales son lineamiento a seguir en Costa Rica, tomando de referencia este manual se consideran terrenos montañosos si la pendiente supera el 15%, donde la velocidad no puede rebasar los 40 km/h y conforme aumenta la pendiente la velocidad máxima es de 20 km/h, tal como se muestra la Tabla 6, así mismo el tráfico promedio diario (TPD) puede variar según la clasificación, dependiendo de la ruta a la que pertenezcan, ya

sea a la "Red Vial Nacional" o "Red Vial Cantonal" sin embargo, a razón de la falta de información respecto al TPD para cada una de las rutas, no se toma en consideración este factor.

Tomando todas las consideraciones, se puede decir que las condiciones de montaña para Costa Rica hace referencia a terrenos donde la pendiente natural se encuentra por arriba del 15% de pendiente, añadido al porcentaje de pendiente, si este es mayor a 15% la velocidad de diseño se limita a un máximo de 40 km/h sin embargo al rebasar el 17% de pendiente la velocidad máxima es de 20 km/h, donde otro factor que describe las condiciones de montaña es la lluvia y corresponde a aquellas zonas donde se clasifican como regiones lluviosas y excesivamente lluviosas, sin dejar de lado que por la naturaleza de los terrenos montañosos la presencia de curvas cerradas es aún mayor. La altitud por otra parte se considera un factor complementario, reconociendo que las zonas montañosas se encuentran por arriba de los 800 m.s.n.m y funciona como un indicador para los interesados e indica la posibilidad de que el proyecto presente condiciones de montaña y deba ser necesario realizar una visita al sitio, con el fin de que en el transcurso del proyecto no se argumente desconocimiento de la situación real del proyecto, la Tabla 6 presenta un resumen de los factores que definen las condiciones de montaña.

Con el objetivo de analizar casos reales y comprender las características e implicaciones de los proyectos en condiciones de montaña, se seleccionaron 5 proyectos ubicados en diferentes zonas y épocas del año en Costa Rica, tal como se muestra en la Figura 20, en un inicio se identificó el porcentaje de pendiente y la condición de lluvia para identificar si se realizaron bajo condiciones de montaña, sin dejar de lado identificar la altitud y en la época realizada, la Figura 27 muestra que, aunque no todos los proyectos presentan pendientes mayores al 15%, sí se encuentran en regiones lluviosas, siendo 4 de ellos realizados durante la época lluviosa por lo que todos los proyectos si fueron realizados bajo condiciones de montaña. Ahora utilizando los resultados de los ensayos realizados tanto en campo como en el laboratorio se identificó como afectan las condiciones de montaña en los resultados esperados respecto a los porcentajes de vacíos y de compactación de campo, principalmente.

En cuanto a los espesores de capa, la Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2002) establece en el Capítulo 7 respecto al diseño de espesores que para pavimentos flexibles existen dos métodos de cálculo, uno de ellos es el método de AASHTO 93, cuya fórmula de diseño se muestra en la Figura 30. Observando las variables que intervienen en la fórmula de diseño, tomando como ejemplo el método AASHTO 93, se puede identificar que el espesor está sujeto a varios factores, donde la precipitación, porcentaje de pendiente y curvaturas no son consideradas dentro del cálculo del espesor de la capa asfáltica.

Con respecto a la temperatura del aire en el sitio, la Figura 32 muestra que las temperaturas de los proyectos oscilan entre 22 °C y 26.5 °C, lo cual no son temperaturas que puedan influir en las propiedades de la mezcla asfáltica. Para tener en cuenta el efecto de la temperatura del aire, al diseñar la mezcla por el método Marshall se debe de considerar que el asfalto a utilizar se elija respecto al grado de desempeño (PG), ya que este parámetro si contempla las temperaturas del aire, esto puede beneficiar a que la mezcla asfáltica diseñada se apegue aún más a las condiciones en sitio. En caso de querer identificar la temperatura del sitio, el Apéndice 3 incluye un cuadro que facilita estas temperaturas según la ubicación del proyecto.

Al observar los Tamaños Máximos Nominales (TMN) en la Figura 33, se nota que en todos los casos es de 12,5 mm. Teniendo en cuenta que el tamaño del agregado utilizado define la capacidad estructural de la mezcla asfáltica, se reconoce que las situaciones en proyectos bajo condiciones de montaña no están relacionadas con la falta de capacidad estructural, sino con la segregación de la mezcla asfáltica debido a pendientes pronunciadas, bajas temperaturas y la falta de confinamiento lateral. Esto sugiere que las características del asfalto, y no necesariamente del TMN del agregado, están más relacionadas con los desafíos en proyectos bajo condiciones de montaña. Es importante destacar que, según la experiencia en otros proyectos, cambiar el tamaño del agregado no ha mostrado beneficios significativos para contrarrestar los efectos de las condiciones de montaña.

En la Figura 34 se muestra el porcentaje del contenido de asfalto, donde según el Programa de Infraestructura del Transporte [PITRA] (2014) los diseños de mezcla en Costa Rica generalmente están constituidos por un 5% y 7% de asfalto, a su vez el CR-2020 indica que el valor obtenido tiene una tolerancia de discrepancia entre el contratista y la administración del  $\pm 0,5$  por lo que los valores del contenido de asfalto se encuentran dentro de los permitidos sin embargo, considerando que la principal función del asfalto es proporcionar cohesión, ingenieros expertos consideran importante siempre trabajar con los valores más altos posibles para contrarrestar el efecto de las pendientes y evitar la segregación del material, en el caso de que

un asfalto modificado pueda brindar mejores propiedades de cohesión esta sería una herramienta útil contra el desplazamiento de la mezcla en pendiente.

Por otra parte, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT] (2022) establece que los porcentajes de compactación deben encontrarse entre el 92% y el 96%. Como se muestra en la Figura 35, existen secciones del proyecto donde no se alcanza el porcentaje mínimo de compactación. En cuanto al porcentaje de vacíos en campo, estos deben de encontrarse entre el 3% y 8%, sin embargo, en la Figura 36 se observan valores mínimos por encima del 5% en su mayoría. Solamente para uno de los proyectos, el valor es de 4,2%. Además, dos de los proyectos presentan secciones por encima del máximo según el CR-2020.

A primera vista, se puede identificar que los altos porcentajes de vacíos de aire pueden estar influyendo en los resultados de compactación en campo. Esto se debe a que, en condiciones de montaña, las pendientes, la falta de confinamiento lateral y el agua incide en el aumento de los porcentajes de vacíos, lo que no favorece al comportamiento de la mezcla asfáltica frente a dichas condiciones. Un ejemplo de ello se encuentra en los porcentajes de vacíos en laboratorio para el proyecto de Monte Verde de la Figura 42, en ella se muestra las características volumétricas de la mezcla asfáltica diseñada para este proyecto cumple con todos los parámetros establecidos por las especificaciones, pero en campo su comportamiento no es el esperado, atribuyéndolo a las condiciones de montaña. Frente a la situación del porcentaje de vacíos y de compactación en campo, en la Figura 37 se observa los porcentajes de vacíos en laboratorio para todos los proyectos, observando así que estos valores pueden trabajarse en el laboratorio de manera que el porcentaje sea más cercano al mínimo permitido, aumentando el rango de posibilidad de que en campo si se logre tanto el porcentaje de vacíos como el de compactación.

En cuanto al equipo utilizado en campo, se empleó la extendedora AP 1055 Caterpillar para la colocación y las compactadoras CB54 XW Caterpillar y HAMM GRW 15 (compactadora de llanta de hule) para la compactación. Las especificaciones del equipo se muestran en el Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4. Lo más importante con respecto a las características del equipo es que tenga una alta capacidad de escalamiento. En este caso, se tiene certeza de que la compactadora de llanta de hule tiene la capacidad de trabajar en pendientes entre el 25% y el 35%, por lo que se debe contar con la seguridad de que la maquinaria funcionará en óptimas condiciones, especialmente considerando que las altas pendientes requieren mayor tracción para que cumplan con el proceso de colocar y compactar la mezcla asfáltica según el tramo de prueba.

No obstante, el análisis de los resultados de estos cinco proyectos permitieron respaldar que efectivamente las condiciones de montaña influyen en los resultados, algunas de las consideraciones a tomar en cuenta ya fueron mencionadas sin embargo la etapa de la visita realizada, diálogo con encargados de campo y la entrevista a ingenieros expertos en este tipo de proyectos, creó una serie de recomendaciones y alternativas a implementar que favorece a mejorar los resultados anteriormente expuestos, estos se presentaran más adelante.

Al realizar la visita se observó la situación que se presenta al colocar mezcla asfáltica en una sección con pendiente tal como lo muestra la Figura 46, es importante identificar las componentes que se generan debido a la inclinación, donde la carga  $P$  genera dos componentes  $P_x$  y  $P_y$ , esto no ocurre en un trayecto plano, ya que estas componentes son producto del grado de inclinación, ahora bien si se considera la magnitud de dichas componentes, el dilema radica en que  $P_y$  a medida que aumenta la pendiente va disminuyendo y por el contrario  $P_x$  va en aumento, este comportamiento representa tanto a la mezcla asfáltica como al equipo.

De manera que, si se considera el comportamiento que va a presentar la mezcla asfáltica en una pendiente, la estabilidad de la misma se ve afectada, ya que la componente  $P_x$  va en crecimiento lo que favorece al desplazamiento de la mezcla asfáltica, el cual responde al incremento del esfuerzo por cortante, donde la cohesión y adhesión de la mezcla asfáltica resulta ser insuficiente para poder mantenerse estable, por otra parte si se considera el proceso de compactación, aunque ya la mezcla asfáltica se haya compactado la inclinación al ser permanente, incrementando el esfuerzo de expansión, induciendo a que se presente des compactación en ciertos puntos del tramo, por lo que en ocasiones puede no haberse detectado a tiempo y resulte en fisuras, lo anteriormente mencionado conlleva a que el esfuerzo de cortante y de expansión sobrepasan la capacidad de la mezcla asfáltica para mantener su estabilidad, donde los diseños se

encuentren limitados para poder contrarrestar el efecto de la pendiente, y parece que los parámetros a cumplir establecidos en el CR-2020 no son flexibles ante estas situaciones.

Ahora bien, al considerar el efecto de la pendiente en la maquinaria utilizada, el comportamiento es el mismo, donde el incremento de Px produce que la maquinaria tenga que realizar un incremento constantemente para continuar en el trayecto inclinado, sin embargo dicha componente a razón de que incrementa el esfuerzo en la máquina disminuye el efecto de la energía de compactación en la capa asfáltica colocada, ya que dicha energía está representada por la componente Py que conforme aumenta la pendiente debido al ángulo disminuye su magnitud, esta situación no favorece a lograr la densidad de campo o que la misma sea uniforme en todo el trayecto.

Respecto al comportamiento que presenta tanto la maquinaria como la mezcla asfáltica en pendientes pronunciadas, en el proceso de compactación se pueden tomar las siguientes acciones; una de ellas es realizar la compactación por el método de oscilación, ya que en este tipo compactadoras su tambor trabaja sobre 2 ejes dado que gira en avance-retroceso, este movimiento sin duda favorece a que la mezcla colocada y que tiene tendencia a deslizarse producto de la pendiente, sea compactada de manera más puntual, puesto que se está compactando atrás y adelante y de forma constante, esto favorece a su vez que se logre la compactación en un menor tiempo incrementando así la posibilidad de lograr los resultados de compactación esperados, ya que a comparación del método de vibración, en esta la compactación no es constante tal como se muestra en la Figura 45, por otra parte, el compactar en tramos cortos con la finalidad de que la misma capa colocada funcione como barrera ante la tendencia al deslizamiento, pueden ser en tramos de entre 25 m a 50 m, siempre y cuando el paño de prueba indique resultados favorables, de igual forma si se busca controlar la des compactación, por medio del control de temperaturas y de compactación en el momento, se puede favorecer el enfriamiento de la capa con agua por ejemplo, ya que si la compactación se logró en una temperatura alta (alrededor de los 100 °C) queda un lapso de tiempo para que la mezcla se enfríe al punto de no poder compactarse más (85 °C) y ese lapso de tiempo en pendiente influye a la des compactación de mezcla asfáltica.

Finalmente, al considerar la experiencia de los ingenieros de campo a través de la entrevista semi estructurada realizada, se obtuvieron soluciones y consideraciones importantes que se muestran en las Figuras 49, 50, 51, 52 y 53 respecto a las situaciones que se presentan en los proyectos bajo estas condiciones.

Ahora bien, en la Tabla 9 se observa una serie de alternativas, soluciones o prácticas que pueden realizarse, basadas en la información recaudada y respaldada desde un inicio por medio de resultados de campo, como las condiciones de montaña afectan los proyectos, continuando así como las prácticas y situaciones que observaron en campo en conjunto con el diálogo con ingenieros y encargados, de igual forma con la información obtenida de informes de campo y por último con la entrevista semi estructurada realiza a profesionales con gran experiencia en proyectos bajo condiciones de montaña. Todas las fuentes de información anteriormente mencionadas son la base de lo planteado en la Tabla 9 y que serán las ideas principales para la guía propuesta.

Por consiguiente, en un inicio es importante considerar una sección destinada a la planificación, puesto que muchas situaciones que se viven en los proyectos es debido a no tomar las consideraciones previas, prestarle la debida importancia a temas como el manejo del aguas y la naturaleza del terreno son fundamentales para que no haya conflictos de interés especialmente en temas económicos, los proyectos en zonas de montaña tienden a incrementar los costos, por eso es importante tener certeza de las características del proyecto, de manera que una visita al sitio es el primer paso, otras de las consideraciones a tomar en cuenta es reconocer el tipo de elemento que se podría colocar para el manejo de las agua, de igual forma contemplar que estos deben de colocarse previo al inicio de la colocación de la capa asfáltica, con el fin de evitar que el agua corra sin control y a su vez favorezca el confinamiento lateral, por otra parte un control integral de todos los proceso de manera que se cuente con la certeza de que todo el proceso desde la etapa del diseño de mezcla asfáltica hasta la compactación de la misma fue documentado y realizado de la manera correcta, esto puede ser por medio de softwares o simplemente por medio de hojas de reporte, ya por último plantear la época en la que se va a realizar y las condiciones de lluvia que presenta son fundamental para que se establezcan los plazos de entrega, ya que en los proyectos en condiciones de montaña la posibilidad de que llueva es mayor.

Respecto a la mezcla asfáltica en caliente se identificó que: Variar el TMN no es necesario en realidad su aporte es nulo porque el efecto de la pendiente no se ve favorecido por los cambios del TMN si no por el contenido se favorece incrementando el contenido de asfalto, siendo lo ideal trabajar con el máximo posible, entre un 6%-7% y a su vez buscar porcentajes de vacíos cerca del 3% para favorecer la posibilidad de cumplir con los parámetros en campo, una acción a tomar en cuenta es realizar diseños de mezcla para las secciones planas y otra para las que presentan pendientes mayores al 15% ya que el comportamiento de la mezcla asfáltica en ambos casos es distinto, tal como se mencionó anteriormente.

Las condiciones del equipo siempre es un factor fundamental para lograr los resultados, sin embargo es importante cuando se trata de condiciones de montaña que la misma tenga la capacidad de escalamiento superior al 15% ojalá sea mayor que este valor, así tanto la extendedora como la compactadora va a trabajar sin ningún problema, así mismo utilizar vagonetas con volquete que contengan aislante térmico, esto permite que la lluvia y los cambios bruscos de temperatura no alteren la temperatura de la mezcla a colocar, siendo igual de importante trabajar con extendedoras con tracción de oruga puesto que en su experiencia, los ingenieros indican que estas trabajan mejor en pendiente, lo cual respalda el fabricante al mencionar que las extenderas de oruga son ideales para trabajar en pendientes pronunciadas.

Con la finalidad de mejorar el confinamiento lateral, el uso de cunetas es la mejor solución, este elemento a su vez favorece a que la mezcla no se deslice después del borde de la cuneta, siempre y cuando esta se realice antes de colocar la capa asfáltica, el tipo de cuneta puede variar sin embargo la primera opción debe de ser una de tipo revestido, ya que la geometría favorece a prevenir el deslizamiento de la mezcla, al confinamiento lateral y prevé un alto caudal, muy apropiado para zonas lluviosas.

En cuando al barrido y la colocación del riego de imprimación, es importante que el barrido no se realice con mucho tiempo de anticipación es decir, con más de 12 horas previas, esto porque se observó como de un día a otro la superficie se llena de hojas o incluso mucho de lo barrido tiende a volver a la base granular, por el viento principalmente, dicho barrido de ser permitido debe realizarse con una barredora mecánica, si no un compresor puede complementar el barrido con escoba, por consiguiente continuando con la colocación del riego de imprimación se indaga en que el riego puede ser una herramienta que favorezca a la mezcla asfáltica cuando se coloca en pendiente, ya que a mayor adhesión entre la capa granular y la capa colocada, se contrarrestan las fuerzas que actúan en pendiente y que favorece el deslizamiento y la descompactación, otro aspecto a considerar es el control del tiempo, una vez que se da el rompimiento del riego de imprimación lo ideal es iniciar con el proceso de colocación y así prevenir igualmente la contaminación o barrido producto de la lluvia, finalmente es importante tener claro los lineamientos básicos que indican el CR-2020 para la colocación de riego de imprimación, ya que no se cuentan con alguna guía para colocar el riego de imprimación, sin embargo para lograr los resultados es fundamental que todo se realice de la manera correcta.

En el caso del paño de prueba, las acciones a considerar no representan grandes cambios, inicialmente es importante realizar un paño de prueba también en una sección con pendiente, este tramo no precisamente tiene que ser 100 m dado que puede que el proyecto presente solo dos o tres pendientes mayores al 15% por lo que puede lograrse un patrón de compactación en un tramo quizás de unos 50 m o menos esto va a depender del criterio del ingeniero de campo, pero si es necesario realizar este paño de prueba en pendiente, añadido a esto, una vez se llegue al patrón de compactación es necesario que se registre detalladamente el equipo utilizado, tiempos y trabajadores involucrados, para que se realice con las mismas características la colocación de la capa asfáltica, esto es con la finalidad de que a pesar de esta acción, no se logra la compactación de la mezcla, se pueda respaldar la situación a partir de la evidencia.

Acerca del proceso de colocación y compactación, el control de la temperatura y tiempo siempre ha sido fundamental sin embargo en proyectos bajo condiciones de montaña el control de estos factores debe ser aún mayor, ya que la humedad en las zonas montañosas influye en el enfriamiento de la mezcla y a su vez exige que el proceso se realice en el menor tiempo posible, es por esto que si la maquinaria no cuenta con sensores que midan la temperatura de la mezcla o midan la compactación que se va logrando, lo mejor es iniciar por implementar este tipo de tecnologías. Puntualmente como ya fue mencionado el incluir la compactación por el método de oscilación en secciones con pendiente, puede ser una gran herramienta para lograr la compactación, así como realizar la colocación y compactación por tramos cortos (alrededor de 25 m) considerando siempre iniciar con la compactación por los bordes para favorecer al confinamiento lateral.

Para finalizar, respecto al sellado, se consideró esta opción con la finalidad de contar con una herramienta más, que permita que la capa asfáltica colocada realmente cuente con la capacidad estructural deseada, también porque a partir de la experiencia es una solución que se ha implementado en proyectos pasados, donde el porcentaje de vacíos fue mayor al esperado, y el sello permitió que años después la carretera este en excelentes condiciones, entre los diferentes tipos de sellado la mejor opción es el uso de Fog Seal, este tipo de sello le brinda a la capa colocada mejorar sus propiedades respecto a la disminución de la filtración de agua debido a los vacíos de aire, también contribuye a la protección frente a la humedad y prolonga su vida útil.

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

Según lo expuesto, se determinó que las rutas de montaña en Costa Rica presentan terrenos con pendientes mayores al 15 %, ubicado en regiones con un promedio anual de lluvia superior a los 2000 mm y con alta probabilidad de presentar curvas cerradas.

Tomando en cuenta los resultados de campo, se concluye que las condiciones de montaña si afectan los resultados, donde se encuentran secciones para cada proyecto con porcentajes de compactación que no alcanzan el mínimo establecido del 92%, donde se presentan porcentajes de vacíos que sobrepasan los máximos establecidos del 8% y en cuanto al contenido de asfalto, los valores se encontraron cercanos al mínimo del 5% tal como lo indica en CR-2020, estos parámetros mencionados permitieron identificar posibles alternativas o prácticas a implementar para mejorar dichos resultados.

Con relación al porcentaje de compactación en campo, una de las principales medidas es implementar el uso del método de oscilación, dado que a comparación del método de vibración presenta mejores características y que pueden favorecer la compactación en pendientes, sin embargo tal como lo mencionaron los ingenieros expertos en el tema, utilizar el método de oscilación se ha implementado en conjunto con el método de vibración, ya que según la experiencia las características del equipo por si solo no permite alcanzar la compactación requerida.

Tras la experiencia de los ingenieros y lo mencionado en la sección de la maquinaria utilizada en sitio, se concluye que la compactadora de llanta de hule es el equipo con mejores características de tracción, la cual favorece la compactación cuando las capas sean menores a 10 cm (delgadas), siendo una alternativa más a la compactadora de rodillo o tándem. A través de un paño de prueba se puede lograr calibrar el patrón de compactación adecuado, donde se puede poner a prueba las diferentes prácticas de compactación y evidenciar su aporte según los resultados que se obtengan en campo y en el laboratorio.

Respecto al porcentaje de vacíos trabajar en el laboratorio con valores mínimos aumenta el rango de posibilidad de que en campo se encuentre dentro del 3%-8% establecidos por el CR-2020, por consiguiente el contenido de asfalto tiene la finalidad de proporcionar la cohesión de los agregados, propiedad favorece a que la mezcla asfáltica no tienda a deslizarse producto de la pendiente, siendo necesario trabajar con valores entre el 6%-7% de contenido de asfalto y así generar un mayor aporte por parte de la mezcla asfáltica, siendo importante contemplar la opción de implementar asfalto modificado, siempre y cuando aporte a la cohesión de la misma.

Considerando los resultados del porcentaje de vacíos de campo y en el laboratorio, que se muestran en la Figura 36 y Figura 37, que evidencian como a pesar de que se cumple con el porcentaje de vacíos en el laboratorio para todos los proyectos, en campo los resultados no son los mismos, reforzando así que la mezcla asfáltica debe contar con otras características volumétricas o deben de implementarse otras prácticas

de compactación, quizás ambas acciones son las que pueden mejorar los resultados, sin embargo no se podrá tener certeza hasta que se ponga en práctica las acciones consideradas en la guía propuesta.

Al considerar el porcentaje de pendiente y la condición lluviosa como los principales factores relacionados a las condiciones de montaña, se concluye que colocar mezcla asfáltica en trayectos con pendientes mayores al 15% es el factor que genera mayor impacto en los resultados de la densidad en campo, esto a razón de que la pendiente produce que las características de la mezcla asfáltica, riego de imprimación y el equipo utilizado sean insuficientes para poder afrontar las fuerzas que se producen conforme se va incrementando la inclinación, sin embargo la presencia de lluvia o condiciones lluviosas se puede evitar, continuando el proyecto en el momento que el clima lo permita.

En el caso de que una ruta presente pendientes mayores al 15% realizar el paño de prueba tanto en una sección plana como en pendiente, es una acción rápida por considerar para que se logre un patrón de compactación más representativo, incluyendo la posibilidad de que se realice en un tramo más pequeño a los 100 m como es habitual, puesto que en muchos proyectos las pendientes mayores al 15% puede estar presente en dos o tres secciones, sin embargo el ingeniero de campo es quien toma la decisión final, pero si es fundamente implementar dicha acción, dado que de ser el caso que a pesar de esta medida no se logre la densidad de campo, es un respaldo para el contratista de que la situación que se presente es ajena a malas prácticas.

En síntesis, es fundamental que se implementen las mejores prácticas desde la recepción de la mezcla hasta el proceso de compactación y sellado de ser el caso, esto debido a que se muestra como hay prácticas por mejorar y que contribuyen aún más a que no se logre la compactación y en general los resultados esperados, acciones sencillas como verificar que el equipo tenga una capacidad de escalamiento superior al 15%, mejores controles en la colocación del riego de imprimación, en la temperatura y en los tiempos de colocación y compactación son prácticas por mejorar en campo, para lograr que las condiciones de montaña dejen de ser un obstáculo en el cumplimiento de los parámetros establecidos por el CR-2020.

Se concluye en una guía integral para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña. Esta guía no solamente actúa como un documento orientativo, sino que también puede sentar las bases para el establecimiento de un lineamiento formal sobre cómo proceder en proyectos de infraestructura vial en rutas de montaña.

## Recomendaciones

Las empresas constructoras pueden mejorar el control y registro de la recolección de información en el campo, especialmente durante la colocación de mezcla asfáltica. Aunque el tiempo es valioso, la recopilación precisa de información es crucial para identificar el origen de posibles anomalías y presentar soluciones efectivas.

Validar por parte de los encargados en campo, la guía propuesta, con el objetivo de evaluar cómo puede beneficiar a los proyectos que se realicen bajo condiciones de montaña. La retroalimentación directa en situaciones reales contribuirá a perfeccionar y adaptar la guía según las necesidades específicas.

Tomar acciones rápidas y efectivas ante los efectos de las condiciones de montaña, extremando medidas, desde la etapa del diseño de mezcla asfáltica hasta cuando ya se está en la etapa de colocación. Dada la permanencia de factores como la topografía, lluvia y ubicación, es esencial abordar estos desafíos de manera proactiva para asegurar que los proyectos se desarrollen con los resultados deseados, por lo cual debe ser de atención por parte del contratista como del contratante.

Continuar la investigación para mejorar la guía propuesta, esto principalmente por instituciones o entidades que cuenten con una amplia experiencia del tema, con la finalidad de obtener información más completa que abarque todos los sitios del país y considere todos los factores inherentes a las condiciones de montaña. Esta información puede ser fundamental para actualizar la normativa que regula la construcción de carreteras en Costa Rica.

En cuanto a las pendientes mayores al 15%, se recomienda identificar en campo a partir de qué porcentaje de pendiente la mezcla asfáltica en caliente debido a sus propiedades estructurales es insuficiente, para que a partir de esto se valore la implementación de concreto hidráulico.

Adoptar nuevas herramientas tecnológicas por parte de por las empresas contratistas, para mejorar el control de factores y prácticas en el campo. La implementación de tecnologías avanzadas puede contribuir a reducir el error humano y optimizar la eficiencia en los procesos de construcción de carreteras en condiciones de montaña.

Generar una base de datos más robusta, que permita realizar un análisis estadístico donde se identifique cuál o cuáles son los factores más significativos que afectan la mezcla asfáltica.

En caso de que las consideraciones presentadas en la guía propuesta sean insuficientes, es importante valorar entonces los parámetros a cumplir según el CR-2020, ya que los mismos parecen difícil de cumplirse cuando se trata de proyectos en condiciones de montaña.

# Referencias bibliográficas

- Administración Boliviana de Carreteras [ABC]. (2007). MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMETRICO. [http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual\\_de\\_diseño\\_geometrico.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual_de_diseño_geometrico.pdf)
- AIMIX Grupo. (2022, 12 julio). *Planta de asfalto discontinua - AIMIX Grupo profesional fabricante*. <https://aimixgrupo.com.mx/planta-de-asfalto-discontinua/>
- AIMIX Grupo. (2023, 31 octubre). *Planta de Asfalto Continua - 20-100 t/h- AIMIX Grupo*. <https://aimixgrupo.com/planta-de-asfalto-continua/>
- Barrantes, A. (2013). Costa Rica pierde unos  $\phi$ 170.000 millones por caos vial. La Nación. <https://www.nacion.com/el-país/infraestructura/costa-rica-pierde-unos-c-170-000-millones-por-caos-vial/C3XYU5GO2NDY5LSEJXMEEOP3LI/story/>
- Cabrera, M., & Teos, E. (2002). Especificación técnica para la construcción de caminos rurales en Guatemala ambientalmente compatibles. En *Gobierno de Guatemala*. <https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Otros/Especificaciones%20Tecnicas%20para%20la%20Construccion%20de%20Caminos%20Rurales.pdf>
- Campos, M. (1992). *El clima a sotavento de las montañas de Costa Rica*. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/551>
- Cartín, M. (2013, 7 septiembre). COSTA RICA (Información General). Mi Costa Rica de Antaño. <https://micostaricadeantano.com/2013/10/03/costa-rica-informacion-general/>
- Cortez, J., Guzmán, H., & Reyes, A. (2007). "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente". Universidad del Salvador.
- Densímetro nuclear HS-5001SD – Anchicos Tecnología e Ingeniería*. (s. f.). <https://anchicos.com/producto/densimetro-nuclear-hs-5001sd/>
- Dolan, B. (2008). Hot mix asphalt pavement design guide. En *Maryland Asphalt Association*. <http://mdasphalt.org/wp-content/uploads/2015/07/2008MAADesignGuide.pdf>
- Garzón, A., & Hernández, L. (s. f.). "Cartilla-guía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito". <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5711/CARTILLA.pdf?sequence=>
- HAMM GRW 15*. (s. f.). LECTURA specs. <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/maquinaria-para-la-construccion-y-obras-publicas/rodillos-rodillos-de-neumaticos-hamm/grw-15-1047314>
- imágenes de Google Earth. (s. f.). Google Earth. Recuperado 2 de enero de 2024, de <https://earth.google.com/web/@10.31253969,-84.25083994,738.91811923a,413712.11169295d,35y,5.23515805h,3.23045657t,0r/data=OgMKATA>

Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP]. (2023). *Proyecto ubicado en Monte Verde*.

Inicio | Objetivos de desarrollo sostenible. (2023, 10 marzo). <https://ods.cr/>

Jiménez, M., Sibaja, D., & Molina, D. (2009). Sellos de lechada asfáltica “Slurry Seals” en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones. En *LanammeUCR*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/509/Sellos%20de%20lechada%20asf%C3%A1ltica%20slurry%20seals%20en%20Costa%20Rica%2C%20conceptos%2C%20ensayos%20y%20especificaciones%20-%20M%C3%B3nica%20Jim%C3%A9nez.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Sello%20de%20niebla%20%E2%80%9CFog%20Seal,pavimento%2C%20con%20o%20sin%20arena.>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [LanammeUCR]. (2021). “Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas de mezcla asfáltica en caliente”. En Universidad de Costa Rica (Segunda Edición). <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2224/gu%C3%ADa%20sobrecapas.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT]. (2023). Actualización del CR-2020“Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes”. En *LanammeUCR*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2366>

LanammeUCR. (2018, 5 septiembre). Efecto de la colocación de la mezcla asfáltica bajo lluvia. *LanammeUCR*. <https://bloglanammeucr.blogspot.com/2018/09/efecto-de-la-colocacion-de-la-mezcla.html>

León, O. L., Castro, E. R., & Delgado, J. C. S. (2018). Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente. *Métodos y materiales*, 7, 11-19. <https://doi.org/10.15517/mym.v7i1.30320>

*Mapa topográfico Costa Rica, altitud, relieve*. (s. f.). Mapas topográficos. <https://es-cr.topographic-map.com/map-962t6/Costa-Rica/?center=8.98926%2C-86.85138>

Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT]. (2022). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes: CR-2020*.

Ministerio de transporte y comunicaciones [MTC]. (2018). Manual de carreteras: diseño geométrico DG-2018. En *Republica de Perú*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_1%20DG-2018.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_1%20DG-2018.pdf)

*Montañas y volcanes – Áreas protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica*. (s. f.). <https://areasyparques.com/montanas-y-volcanes/>

Morales, A. (2023, 20 julio). *Cómo crear perfiles topográficos con QGIS*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2023/07/como-crear-perfiles-topograficos-con-qgis/>

NK Asphalt. (2022, 6 septiembre). What is asphalt, bitumen & Hot mix asphalt? <https://www.asphalt.com.au/why-asphalt/>

Orozco, E. (2007). *ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE COSTA RICA PARA LA GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL*. *ucr.ac.cr*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/449/CILA-05->

[07.%20ZONIFICACI%C3%93N%20CLIM%C3%81TICA%20DE%20COSTA%20RICA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20VIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Pavimentadora AP1055. (s. f.). [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/115320.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/115320.html). [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/115320.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/115320.html)

Peterson CAT. (s. f.). *CB54 XW | Peterson Cat.* <https://www.petersoncat.com/products/new/tandem-vibratory-rollers/cb54-xw>

Programa de Infraestructura del Transporte [PITRA]. (2014). EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACION VIAL. PERIODO 2013. En LanammeUCR. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/87/LM-PI-AT-021-14.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RESANSIL. (2017). compactación por vibración o por oscilación [Vídeo]. Resansil Guatemala S.A. [https://www.google.com/search?sca\\_esv=b353dd35a34d02f9&sca\\_upv=1&rlz=1C1VDKB\\_esCR1004\\_CR1004&sxsrf=ACQVn09ZJsywrAMgtRALxl9x69WYdj7oA:1713664117117&q=compactacion+por+vibracion+o+por+oscilacion+C3%B3n&tbm=vid&source=Inms&prmd=ivsnbmz&sa=X&ved=2ahUKEwjP59unmNKFAxVEmYQIHW17Dc4Q0pQJegQIDxAB&biw=1396&bih=639&dpr=1.38#fpstate=ive&vld=cid:5ff25e92,vid:zq0ybmPdy-o,st:0](https://www.google.com/search?sca_esv=b353dd35a34d02f9&sca_upv=1&rlz=1C1VDKB_esCR1004_CR1004&sxsrf=ACQVn09ZJsywrAMgtRALxl9x69WYdj7oA:1713664117117&q=compactacion+por+vibracion+o+por+oscilacion+C3%B3n&tbm=vid&source=Inms&prmd=ivsnbmz&sa=X&ved=2ahUKEwjP59unmNKFAxVEmYQIHW17Dc4Q0pQJegQIDxAB&biw=1396&bih=639&dpr=1.38#fpstate=ive&vld=cid:5ff25e92,vid:zq0ybmPdy-o,st:0)

Salazar, J. (2012). ¿Por qué modificar el asfalto? En LanammeUCR. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/357/34.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sapei, J., & González, R. (2014). *Emulsiones de imprimación, su aporte en la adherencia.*

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2018). MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS. En *Estados Unidos Mexicanos.* <https://comunicaciones.edomex.gob.mx/sites/comunicaciones.edomex.gob.mx/files/files/SCT%20-%20Manual%20Proyecto%20Geometrico%20Carreteras%202018.pdf>

Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA]. (2002). *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos.* [https://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/NO%20DE-41271/Version1/ManualCA\\_para\\_diseno\\_pavimentos.pdf](https://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/NO%20DE-41271/Version1/ManualCA_para_diseno_pavimentos.pdf)

Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA]. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.* <https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf>

Sequeira, W., & Cervantes, V. (2013). Laboratorios de control y verificación de la calidad en proyectos viales de Costa Rica. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/540>

Solano, J., & Villalobos, R. (s. f.). Regiones y Subregiones climáticas de Costa Rica. En *Instituto Meteorológico de Costa Rica.* <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Soluciones en Asfalto y Concreto [SAC-VISA]. (2022). *Riego de protección.* <https://www.sacvisa.com.mx/riego-de-proteccion/>

- Ulloa, A. (2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. En LanammeUCR. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr>
- Unidad de Materiales y Pavimentos. (2015). «Metodología de diseño de mezclas asfálticas en caliente para Costa Rica». En LanammeUCR. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/135/LM-PI-UMP-026-R1%20%28con%20firmas%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad Distrital Francisco José de Calda [Udistrital]. (2017). *Guía de laboratorio para análisis granulométrico de los agregados por tamizado*. <https://ftecnologica.udistrital.edu.co/laboratorios/civiles/sites/lab-civiles/files/práctica/2023-03/An%C3%A1lisis%20granulometrico%20por%20tamizado.pdf>
- Vega, V., Arriola, R., & Rony, L. (2022, 1 septiembre). *Actualización del CR-2020: Principales cambios de estructura y contenido del volumen 1 Manual de Especificaciones Generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2366>
- Villamizar, N., & Torres, I. (2013). *Determinación del rango de porcentaje de vacíos en la base tratada con asfalto en caliente como parámetro de control de mezcla*. [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5828/digital\\_24972.pdf](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5828/digital_24972.pdf)

# Apéndices

**Apéndice 1.** Formulario para recolección de información de proyectos.

**Apéndice 2.** Entrevista semiestructurada realizada.

**Apéndice 3.** Precipitación y temperatura en las regiones climáticas de Costa Rica.

**Apéndice 4.** Formularios completados con la información de los proyectos analizados.

**Apéndice 5.** Resumen de los datos utilizados para cada uno de los gráficos presentados.

**Apéndice 6.** Respuestas a la entrevista semiestructurada realizada.

**Apéndice 7.** Características que identifican los proyectos en condiciones de montaña.

**Apéndice 8.** Guía propuesta para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña.

# Anexos

**Anexo 1.** Resultado de los ensayos realizados en cada uno de los proyectos analizados.

**Anexo 2.** Ficha técnica de pavimentadora AP1055.

**Anexo 3.** Ficha técnica de la compactadora CB54 XW.

**Anexo 4.** Ficha técnica de la compactadora llanta de hule Hamm GRW 15.

**Anexo 5.** Ficha técnica de compactadora AMMANN AV 130 X

**Anexo 6.** Técnicas de preservación de la capa asfáltica.

## Apéndice 1. Formulario para la recolección de información

| <b>Formulario de información</b>                           |                  |
|--|------------------|
| <b>Datos del proyecto</b>                                  |                  |
| Fecha de inicio  |                  |
| Fecha de finalización                                      |                  |
| Fecha de reporte   |                  |
| Nombre del proyecto  |                  |
| Ubicación  |                  |
| Nombre de la ruta  |                  |
| Sección de control   |                  |
| Longitud del proyecto                                      |                  |
| Espesor de la capa(cm)                                     |                  |
| <b>Topografía</b>  |                  |
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b> |
| Pendiente(%)   |                  |
| Radio de curva horizontal                                  |                  |
| Longitud de curva vertical                                 |                  |
| <b>Ambiente</b>  |                  |
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b> |
| Condiciones climáticas                                     |                  |
| Temperatura del aire(°)                                    |                  |
| Temperatura al llegar la MAC                               |                  |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC |                  |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación           |                  |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación         |                  |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación          |                  |
| <b>Tiempo/Velocidad</b>                                    |                  |
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b> |
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo)     |                  |
| Velocidad de colocación de riego de Liga                   |                  |

| <b>Equipo</b>  |   |    |    |
|--|---|----|----|
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b>  |    |    |
| Calibración de equipo de riego                                 | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Sí</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">No</td> </tr> </table> | Sí | No |
| Sí   | No  |    |    |
| Tipo de pavimentadora  |   |    |    |
| Peso de la pavimentadora(kg)                                   |   |    |    |
| Tipo de compactadora   |   |    |    |
| Peso de compactadora(kg)                                       |   |    |    |
| Alguna otra característica del equipo utilizado:               |   |    |    |
| <b>Características volumétricas sobre la Mezcla Asfáltica</b>  |   |    |    |
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b>  |    |    |
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |   |    |    |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              |   |    |    |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica(mm)               |   |    |    |
| Porcentaje de compactación en laboratorio(%)                   |   |    |    |
| Porcentaje de compactación mínimo en campo(%)                  |   |    |    |
| Porcentaje de compactación máximo en campo(%)                  |   |    |    |
| Porcentaje de vacíos en laboratorio(%)                         |   |    |    |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) |   |    |    |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) |   |    |    |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |   |    |    |



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3) ¿En el proceso de colocación de MAC en zonas montañosas, que tipo de prácticas en campo ha implementado y que usualmente no se realizan en proyectos que no son en condiciones de montaña?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4) ¿En el proceso de compactación de MAC en zonas montañosas, que tipo de prácticas en campo ha implementado y que usualmente no se realizan en proyectos que no son en condiciones de montaña?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Apéndice 3. Precipitación y temperatura de las regiones climáticas de Costa Rica.

Figura 3. Precipitación y temperatura de las regiones climáticas de Costa Rica.

| <b>Región Pacífico Norte</b>                          |                               |   |                                    |                               |
|---|-------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Península de Nicoya                                   | 2385                          | 23-30                                       | 99                                 | Región lluviosa               |
| Subregión del Pacífico Norte                          | 1800                          | 22-33                                       | 97                                 | Moderadamente lluviosa        |
| Faldas de la Cordillera de Guanacaste y Tilarán       | 2462                          | 17-25                                       | 173                                | Región lluviosa               |
| Cuenca baja de los ríos Barranca y Grande de Tárcoles | 2637                          | 20-30                                       | 111                                | Región lluviosa               |
| <b>Región Pacífico Central</b>                        |                               |   |                                    |                               |
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Valle de Parrita                                      | 3122                          | 17-30                                       | 140                                | Región lluviosa               |
| Cuenca del río Naranjo, Quepos                        | 3689                          | 22-30                                       | 163                                | Región lluviosa               |
| Cuenca del Río Barú, Dominical                        | 3923                          | 19-25                                       | 148                                | Región excesivamente lluviosa |
| <b>Región Pacífico Sur</b>                            |                               |   |                                    |                               |
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Valle del General y de Coto Brus                      | 3050                          | 18-29                                       | 175                                | Región lluviosa               |
| Valle de Diquís                                       | 3710                          | 22-32                                       | 174                                | Región lluviosa               |
| Valle Coto Colorado                                   | 4820                          | 22-32                                       | 220                                | Región excesivamente lluviosa |
| Península de Osa                                      | 4282                          | 17-30                                       | 192                                | Región excesivamente lluviosa |
| Faldas del Pacífico de la Cordillera de Talamanca     | 3320                          | 17-24                                       | 211                                | Región lluviosa               |

| <b>Región Montañosa del Sur</b>                                      |                               |   |                                    |                        |
|--|-------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Cuenca Alta de los Ríos Turrubares y Tulín, y el Valle de Candelaria | 2370                          | 15-25                                       | 149                                | Región lluviosa        |
| Cuenca Alta del Río Pirrís o Parrita                                 | 2190                          | 8-20  | 147                                | Región lluviosa        |
| <b>Región Valle Central</b>  |                               |   |                                    |                        |
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Valle Central Occidental   | 1950                          | 18-27                                       | 129                                | Moderadamente lluviosa |
| Valle Central Oriental   | 2016                          | 15-26                                       | 128                                | Región lluviosa        |
| Faldas de la Cordillera Volcánica Central (Poás, Barva e Irazú)      | 2820                          | 10-21                                       | 147                                | Región lluviosa        |
| <b>Región Norte</b>  |                               |   |                                    |                        |
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Faldas Orientales de las Cordilleras de Guanacaste y de Tilarán      | 3100                          | 21-30                                       | 225                                | Región lluviosa        |
| Faldas del Norte de la Cordillera Volcánica Central                  | 3768                          | 17-24                                       | 226                                | Región lluviosa        |
| Llanuras de los Guatusos   | 3722                          | 22-31                                       | 204                                | Región lluviosa        |
| Llanuras de San Carlos   | 3020                          | 20-31                                       | 184                                | Región lluviosa        |
| Llanura de Sarapiquí   | 3710                          | 21-31                                       | 193                                | Región lluviosa        |

Fuente. Solano & Villalobos (s. f.).

**Apéndice 4.** Características que identifican los proyectos en condiciones de montaña.

| Nombre                         | Factores presentes en condiciones de montaña |              | Factores complementarios a las condiciones de montaña |                                  |
|--------------------------------|--|--------------|---|----------------------------------|
|                                | Pendiente (1)                                | Lluvioso (2) | Extremadamente<br>lluvioso(2)                         | Altitud (3)<br>Época del año (3) |
| Esparza, calle Artieda         |  |              |   |                                  |
| Esparza, calle San Juan Grande |  |              |   |                                  |
| Vara Blanca, La legua          |  |              |   |                                  |
| Cutris, San Carlos             |  |              |   |                                  |
| Monte Verde                    |  |              |   |                                  |

**Factores presentes en condiciones de montaña**

(1) Presenta pendientes de terreno mayor al 15%

(2) Presenta una condición lluviosa( 2000 mm-3000 mm de lluvia anual) o extremadamente lluvioso( 4000 mm o más de lluvia anual)

Debe de cumplirse al menos uno de estos factores

**Factores complementarios en condiciones de montaña**

(3) Con una altitud de los 800 m.s.n.m se encuentra en rutas de montaña

(4) La época lluviosa corresponde de Mayo a Noviembre

Estos son factores importantes previo a la aceptación de un proyecto, brinda un indicio si el proyecto puede verse afectado por la lluvia o la presencia de pendientes mayor o igual al 15% .

**Apéndice 5.** Formularios completados con la información de cada uno de los proyectos analizados.

| Formulario de información                                       |  |  |    |    |
|---|--|--|----|----|
| Datos del proyecto  |  |  |    |    |
| Fecha de inicio   |  |  |    |    |
| Fecha de finalización   |  |  |    |    |
| Fecha de reporte  | Septiembre del 2023  |  |    |    |
| Nombre del proyecto   | Municipalidad de Esparza, Calle Artieda                        |  |    |    |
| Ubicación   | Esparza  |  |    |    |
| Nombre de la ruta   | Calle Artieda  |  |    |    |
| Sección de control  |  |  |    |    |
| Longitud del proyecto   |  |  |    |    |
| Espesor de la capa(cm)  | 6<br>compactado  |  |    |    |
| Topografía  |  |  |    |    |
| Ítem  | Resultado  |  |    |    |
| Pendiente(%)  | P>15%  |  |    |    |
| Radio de curva horizontal                                       |  |  |    |    |
| Longitud de curva vertical                                      |  |  |    |    |
| Ambiente  |  |  |    |    |
| Ítem  | Resultado  |  |    |    |
| Condiciones climáticas  |  |  |    |    |
| Temperatura del aire(°C)  | 25,5   |  |    |    |
| Temperatura al llegar la MAC                                    | 165,8  |  |    |    |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC (°C) |  |  |    |    |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación                |  |  |    |    |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación              |  |  |    |    |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación               |  |  |    |    |
| Tiempo/Velocidad  |  |  |    |    |
| Ítem  | Resultado  |  |    |    |
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo)          |  |  |    |    |
| Velocidad de colocación de riego de Liga                        |  |  |    |    |
| Velocidad de colocación   |  |  |    |    |
| Velocidad de compactación                                       |  |  |    |    |
| Equipo  |  |  |    |    |
| Ítem  | Resultado  |  |    |    |
| Calibración de equipo de riego                                  | <table border="1"> <tr> <td>Sí</td> <td>No</td> </tr> </table> |  | Sí | No |
| Sí  | No   |  |    |    |
| Tipo de pavimentadora   | AP 1055  |  |    |    |
| Peso de la pavimentadora  | 16691  |  |    |    |
| Tipo de compactadora  | CB54 XW  |  |    |    |
| Peso de compactadora  | 11898  |  |    |    |
| Alguna otra característica del equipo utilizado:                |  |  |    |    |

### Generalidades sobre la Mezcla Asfáltica

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |           |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              | 5,94      |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica(mm)               | 12,5      |
|  | 1,56      |
| Porcentaje de compactación mínimo(%)                           | 92,2      |
| Porcentaje de compactación máximo(%)                           | 95,4      |
|  | 3,7       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) | 5,3       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) | 7,8       |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |           |

## Formulario de información

### Datos del proyecto

|                        |   |
|------------------------|---|
| Fecha de inicio        |   |
| Fecha de finalización  |   |
| Fecha de reporte       | Octubre del 2023                                |
| Nombre del proyecto    | Municipalidad de Esparza, Calle San Juan Grande |
| Ubicación              | Esparza   |
| Nombre de la ruta      | Calle San Juan Grande                           |
| Sección de control     |   |
| Longitud del proyecto  |   |
| Espesor de la capa(cm) | 6<br>compactado                                 |

### Topografía

| Ítem                       | Resultado |
|----------------------------|-----------|
| Pendiente(%)               | P>15%     |
| Radio de curva horizontal  |           |
| Longitud de curva vertical |           |

### Ambiente

| Ítem  | Resultado |
|---|-----------|
| Condiciones climáticas  |           |
| Temperatura del aire(°C)  | 24        |
| Temperatura al llegar la MAC                                    | 159,1     |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC (°C) |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación                |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación              |           |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación               |           |

### Tiempo/Velocidad

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo) |           |
| Velocidad de colocación de riego de Liga               |           |
| Velocidad de colocación                                |           |
| Velocidad de compactación                              |           |

### Equipo

| Ítem   | Resultado   |    |    |
|--|---|----|----|
| Calibración de equipo de riego                   | <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td style="text-align: center;">Si</td> <td style="text-align: center;">No</td> </tr> </table> | Si | No |
| Si   | No  |    |    |
| Tipo de pavimentadora                            | AP 1055   |    |    |
| Peso de la pavimentadora                         | 16691   |    |    |
| Tipo de compactadora                             | CB54 XW   |    |    |
| Peso de compactadora                             | 11898   |    |    |
| Alguna otra característica del equipo utilizado: |   |    |    |

### Generalidades sobre la Mezcla Asfáltica

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |           |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              | 5,62      |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica(mm)               | 12,5      |
|  | 1,59      |
| Porcentaje de compactación mínimo(%)                           | 91,8      |
| Porcentaje de compactación máximo(%)                           | 94,1      |
|  | 4,2       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) | 5,7       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) | 8         |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |           |

## Formulario de información

### Datos del proyecto

|                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| Fecha de inicio        |                               |
| Fecha de finalización  |                               |
| Fecha de reporte       | Julio del 2023                |
| Nombre del proyecto    | MOP-BID Vara Blanca, La Legua |
| Ubicación              | Vara Blanca de Heredia        |
| Nombre de la ruta      | La Legua                      |
| Sección de control     |                               |
| Longitud del proyecto  |                               |
| Espesor de la capa(cm) | 6<br>suelto-compactado        |

### Topografía

| Ítem                       | Resultado |
|----------------------------|-----------|
| Pendiente(%)               | P>15%     |
| Radio de curva horizontal  |           |
| Longitud de curva vertical |           |

### Ambiente

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Condiciones climáticas                                     |           |
| Temperatura del aire(°)                                    | 26,7      |
| Temperatura al llegar la MAC(°C)                           | 169,4     |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación           |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación         |           |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación          |           |

### Tiempo/Velocidad

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo) |           |
| Velocidad de colocación de riego de Liga               |           |
| Velocidad de colocación                                |           |
| Velocidad de compactación                              |           |

### Equipo

| Ítem   | Resultado  |    |    |
|--|--|----|----|
| Calibración de equipo de riego                   | <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">Sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">No</td> </tr> </table> | Sí | No |
| Sí   | No   |    |    |
| Tipo de pavimentadora                            | AP 1055  |    |    |
| Peso de la pavimentadora                         | 16691  |    |    |
| Tipo de compactadora                             | CB54 XW  |    |    |
| Peso de compactadora                             | 11898  |    |    |
| Alguna otra característica del equipo utilizado: |  |    |    |

### Generalidades sobre la Mezcla Asfáltica

| Ítem | Resultado |
|------|-----------|
|------|-----------|

|  |       |
|--|-------|
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |       |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              | 5,75  |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica(mm)               | 12,5  |
|  | 0,89  |
| Porcentaje de compactación mínimo(%)                           | 91,00 |
| Porcentaje de compactación máximo(%)                           | 95,60 |
| Porcentaje de vacíos en laboratorio                            | 4,20  |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) | 4,2   |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) | 7,6   |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |       |

## Formulario de información

### Datos del proyecto

|                        |  |
|------------------------|--|
| Fecha de inicio        |  |
| Fecha de finalización  |  |
| Fecha de reporte       | Marzo del 2023   |
| Nombre del proyecto    | Municipalidad de San Carlos, Camino 2-10-095 Camino Cutris |
| Ubicación              | Camino Cutris  |
| Nombre de la ruta      | camino 2-10-095  |
| Sección de control     |  |
| Longitud del proyecto  |  |
| Espesor de la capa(cm) | 4<br>compactado  |

### Topografía

| Ítem                       | Resultado |
|----------------------------|-----------|
| Pendiente(%)               | P>15%     |
| Radio de curva horizontal  |           |
| Longitud de curva vertical |           |

### Ambiente

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Condiciones climáticas                                     |           |
| Temperatura del aire(°)                                    | 22        |
| Temperatura al llegar la MAC                               | 160,5     |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación           |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación         |           |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación          |           |

### Tiempo/Velocidad

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo) |           |
| Velocidad de colocación de riego de Liga               |           |
| Velocidad de colocación                                |           |
| Velocidad de compactación                              |           |

### Equipo

| Ítem                           | Resultado   |    |    |
|--------------------------------|---|----|----|
| Calibración de equipo de riego | <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td style="text-align: center;">Sí</td> <td style="text-align: center;">No</td> </tr> </table> | Sí | No |
| Sí                             | No  |    |    |
| Tipo de pavimentadora          | AP 1055   |    |    |

|  |         |
|--|---------|
| Peso de la pavimentadora                         | 16691   |
| Tipo de compactadora                             | CB54 XW |
| Peso de compactadora                             | 11898   |
| Alguna otra característica del equipo utilizado: |         |

### Generalidades sobre la Mezcla Asfáltica

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |           |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              | 5,96      |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica(mm)               | 12,5      |
|  | 1,26      |
| Porcentaje de compactación mínimo(%)                           | 92        |
| Porcentaje de compactación máximo(%)                           | 93,6      |
|  | 3,8       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) | 6         |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) | 9         |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |           |

## Formulario de información

### Datos del proyecto

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Fecha de inicio        |                      |
| Fecha de finalización  |                      |
| Nombre del proyecto    | MOPT VID Monte Verde |
| Ubicación              |                      |
| Nombre de la ruta      | Camino C6-01-369     |
| Sección de control     |                      |
| Longitud del proyecto  |                      |
| Espesor de la capa(cm) | 6<br>compactado      |

### Topografía

| Ítem                       | Resultado |
|----------------------------|-----------|
| Pendiente(%)               | P>15%     |
| Radio de curva horizontal  |           |
| Longitud de curva vertical |           |

### Ambiente

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Condiciones climáticas                                     |           |
| Temperatura del aire(°)                                    | 26        |
| Temperatura al llegar la MAC                               | 163       |
| Temperatura de la superficie previo a la colocación de MAC |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la colocación           |           |
| Temperatura de la MAC al inicio de la compactación         |           |
| Temperatura de la MAC al final de la compactación          |           |

### Tiempo/Velocidad

| Ítem   | Resultado |
|--|-----------|
| Distancia y tiempo entre la planta y el sitio(acarreo) |           |
| Velocidad de colocación de riego de Liga               |           |
| Velocidad de colocación                                |           |
| Velocidad de compactación                              |           |

### Equipo

| Ítem                           | Resultado   |    |    |
|--------------------------------|---|----|----|
| Calibración de equipo de riego | <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td style="text-align: center;">Sí</td> <td style="text-align: center;">No</td> </tr> </table> | Sí | No |
| Sí                             | No  |    |    |
| Tipo de pavimentadora          | AP 1055   |    |    |
| Peso de la pavimentadora       | 16691   |    |    |

| Tipo de compactadora   | CB54 XW   |
|--|-----------|
| Peso de compactadora   | 11898     |
| Alguna otra característica del equipo utilizado:               |           |
| Generalidades sobre la Mezcla Asfáltica                        |           |
| Ítem   | Resultado |
| Tipo de mezcla asfáltica                                       |           |
| Contenido de asfalto de la MAC(%)                              | 5,4       |
| Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica                   | 12,5      |
|  | 1,09      |
| Porcentaje de compactación mínimo(%)                           | 90        |
| Porcentaje de compactación máximo(%)                           | 92,3      |
|  | 4,4       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo(%) | 7,7       |
| Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo(%) | 9,3       |
| Otros resultados al finalizar la compactación de la MAC:       |           |

**Apéndice 6.** Resumen de los datos utilizados para cada uno de los gráficos presentados.

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Espesor de Capa</b> |
|-------------------------------|------------------------|
| Esparza,calle Artieda         | 6                      |
| Esparza,calle San Juan Grande | 6                      |
| Vara Blanca, La legua         | 6                      |
| Cutris, San Carlos            | 4                      |
| Monte Verde                   | 6                      |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Temperatura del aire(°)</b> |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Esparza,calle Artieda         | 25,5                           |
| Esparza,calle San Juan Grande | 24,0                           |
| Vara Blanca, La legua         | 26,7                           |
| Cutris, San Carlos            | 22,0                           |
| Monte Verde                   | 26,0                           |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Contenido de asfalto de la MAC(%)</b> |
|-------------------------------|--|
| Esparza,calle Artieda         | 5,94                                     |
| Esparza,calle San Juan Grande | 5,62                                     |
| Vara Blanca, La legua         | 5,75                                     |
| Cutris, San Carlos            | 5,96                                     |
| Monte Verde                   | 5,40                                     |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Tamaño máximo nominal de la mezcla asfáltica</b> |
|-------------------------------|---|
| Esparza,calle Artieda         | 12,5  |
| Esparza,calle San Juan Grande | 12,5  |
| Vara Blanca, La legua         | 12,5  |
| Cutris, San Carlos            | 12,5  |
| Monte Verde                   | 12,5  |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Porcentaje de compactación mínimo</b> |
|-------------------------------|--|
| Esparza,calle Artieda         | 92,2                                     |
| Esparza,calle San Juan Grande | 91,8                                     |
| Vara Blanca, La legua         | 91,0                                     |
| Cutris, San Carlos            | 92,0                                     |
| Monte Verde                   | 90,0                                     |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Porcentaje de compactación máximo</b> |
|-------------------------------|--|
| Esparza,calle Artieda         | 95,4                                     |
| Esparza,calle San Juan Grande | 94,1                                     |
| Vara Blanca, La legua         | 95,6                                     |
| Cutris, San Carlos            | 93,6                                     |
| Monte Verde                   | 92,3                                     |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica mínimo</b> |
|-------------------------------|--|
| Esparza,calle Artieda         | 5.3  |
| Esparza,calle San Juan Grande | 5.7  |
| Vara Blanca, La legua         | 4.2  |
| Cutris, San Carlos            | 6.0  |
| Monte Verde                   | 7.7  |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Porcentaje de vacíos de campo de la mezcla asfáltica máximo</b> |
|-------------------------------|--|
| Esparza,calle Artieda         | 7.8  |
| Esparza,calle San Juan Grande | 8.0  |
| Vara Blanca, La legua         | 7.6  |
| Cutris, San Carlos            | 9.0  |
| Monte Verde                   | 9.3  |

| <b>Nombre del proyecto</b>    | <b>Porcentaje de vacíos en laboratorio(%)</b> |
|-------------------------------|---|
| Esparza,calle Artieda         | 3.7   |
| Esparza,calle San Juan Grande | 4.2   |
| Vara Blanca, La legua         | 4.2   |
| Cutris, San Carlos            | 3.8   |
| Monte Verde                   | 4.4   |

**Apéndice 7.** Respuestas a la entrevista semiestructurada realizada.

| Pregunta 1   |  |
|--|--|
| <b>Desafíos de los proyectos en condiciones de montaña</b>                             | Cercanía a la planta.  |
|  | Condiciones climáticas.  |
|  | Temperatura de la mezcla.  |
|  | Alteraciones en el perfil.   |
|  | Fuertes pendientes.  |
|  | Análisis de ambiental es esencial.   |
|  | Manejo de las aguas, para evitar que el agua fluya sin control y la obra pavimentada pueda dañarse rápidamente.  |
|  | Prestarle la debida atención a la cantidad de riego de liga y a las características de la mezcla para evitar desplazamiento de esta.   |
| Pregunta 2   |  |
| <b>Forma de proceder cuando no se alcanza los % de vacíos y % de compactación.</b>     | Se acota el sector con el problema y se perfila y reemplaza, pero ocasiona retrasos, añadido a esto tiene un costo elevado.  |
|  | En situaciones se ha podido corregir con el equipo, esto utilizando otras prácticas de compactación con equipo de compactación de suelos y otros equipos de tonelaje variado.                |
| Pregunta 3 y 4   |  |
| <b>Prácticas utilizadas en la colocación y compactación de MAC en zonas montañosas</b> | Tratar de implementar equipo con tecnología adicional como lo es pavimentadoras con equipo ultrasónico, góndolas de trailers que mantengan la temperatura, cámaras térmicas y algunas otras. |
|  | Realizar tramos de prueba en todos los sitios que caracterice realmente las condiciones existentes.  |
|  | Asegurarse en los casos donde se está colocando sobrecapas, que las condiciones actuales del terreno y la capa de pavimento existente al ser deficientes no afecten la nueva capa.           |
|  | Utilizar pavimentadora de caite de oruga y camiones de menor carga y utilizar como apoyo un Back hoe.  |
|  | Colocar la mezcla pendiente arriba para lograr un control de la velocidad de la pavimentadora.   |
|  | La tracción es importante, por lo que se considera utilizar pavimentadora con oruga y no con llanta de hule.   |
|  | Asegurarse de que el riego de liga sea suficiente aparte esperar que la emulsión rompa lo suficiente.  |

| Pregunta 5   |  |
|--|--|
| <b>Alternativas que han implementado cuando las pendientes son pronunciadas o los radios de curvatura con complejos</b>  | Utilizando compactadoras de conformación del suelo de 10 toneladas y complementar con el uso de unas 2,5 toneladas para acabado final. |
|  | Primero confinar la mezcla de los bordes o partes bajas para evitar el desplazamiento de la mezcla.                                    |
|  | Se debe compactar con vibración hasta que la mezcla se haya acomodado el material.   |
|  | Definir si se requiere de un compactador que no sea de doble rodillo para brindar mayor tracción.                                      |
| Pregunta 6   |  |
| <b>Prácticas que deben de realizarse siempre que los proyectos sean en condiciones montaña</b>   | Recorrido previo para identificar la zona.   |
|  | Si se cuenta con indicios de que va a llover no proceder.  |
|  | Utilizar equipo apto para esas condiciones.  |
|  | En condiciones frías hay que asegurar que el proceso se realice lo más rápido posible.   |
|  | Una base de datos con las características de estos sitios  |
|  | Evaluar la zona a intervenir especialmente con una inspección.   |
|  | Darle prioridad al manejo de las aguas.  |
|  | Valorar el equipo necesario.   |
| Debe de realizarse paños de prueba que caracterice los diferentes sitios del proyecto, donde se cumpla al 100% con las características y patrón del tramo de prueba. |  |



# Guía propuesta para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones de montaña

2024

# Contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción.....  | 2  |
| Conceptos .....  | 3  |
| Condiciones de montaña en Costa Rica .....                                     | 4  |
| Consideraciones generales .....  | 4  |
| Consideraciones sobre la mezcla asfáltica en caliente .....                    | 5  |
| Equipo y maquinaria.....   | 6  |
| Personal.....  | 7  |
| Protección personal.....   | 7  |
| Previo a la colocación.....  | 7  |
| Inspección de equipo.....  | 7  |
| Elementos de confinamiento lateral.....  | 8  |
| Barrido de la superficie .....   | 8  |
| Aplicación del riego de imprimación.....                                       | 9  |
| Recepción de la mezcla asfáltica en caliente.....                              | 13 |
| Paño de prueba .....   | 13 |
| Colocación de la mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña.....   | 15 |
| Compactación de la mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña..... | 16 |
| Sellado.....   | 17 |
| Referencias .....  | 18 |
| Apéndice.....  | 19 |
| Anexos.....  | 20 |

## Introducción

En la guía, podrá encontrar consideraciones, prácticas y sugerencias dirigidas a la colocación de capas asfálticas en condiciones montaña, producto de la investigación realizada se identificó el efecto de la altitud, porcentaje de pendiente, condición lluviosa y el equipo utilizado en las prácticas convencionales de construcción de carreteras, confirmando a través de ingenieros con experiencia en el área de infraestructura vial en conjunto con las prácticas observadas en campo, la importancia de considerar las características propias de las rutas montañosas.

Entre el contenido, podrá encontrar como se define condiciones de montaña para Costa Rica, lo que le va a permitir identificar si el proyecto se encuentra ubicado en una ruta montañosa, así como consideraciones importantes previo a iniciar con el proyecto, para continuar con las prácticas de colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente, considerando que el proceso se está realizando bajo condiciones de montaña, sin dejar de lado el equipo, maquinaria y personal necesarios para el trabajo a realizar.

La propuesta realizada, surge de reconocer que Costa Rica no presenta ningún lineamiento o normativa dirigida a los proyectos desarrollados en áreas montañosas, sin considerar que la mayor parte del territorio nacional presenta un relieve quebrado, aunque no se pretende que el documento presente una solución a todos las situaciones que se presentan en campo, busca ser un indicio para valorar como pueden mejorar los resultados de colocar y compactar mezcla asfáltica en caliente, si se consideran los factores asociados a las condiciones de montaña.



## Conceptos

**Densidad en campo:** Una vez que se coloca y compacta la mezcla asfáltica en sitio, se identifica la relación peso entre volumen ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) para determinar el porcentaje de compactación obtenido en sitio, en comparación a la densidad obtenida en el laboratorio.

**Emulsión asfáltica:** Está compuesto principalmente por ligante asfáltico, agua y en una cantidad menor de agente emulsionante, utilizada para proporcionar adherencia entre la mezcla asfáltica en caliente y la superficie.

**Mezcla asfáltica en caliente (MAC):** Corresponde a una mezcla caliente de agregados minerales y ligante asfáltico, con la calidad y graduación que establece la normativa, utilizada habitualmente para crear capas de asfalto densas.

**Paño de prueba:** Tal como lo indica su nombre tiene la finalidad de ser una prueba, la cual permite definir antes de iniciar la intervención de toda la sección de trabajo, cuál debe ser el patrón de compactación, respecto a la cantidad de pasadas con y sin vibración, la frecuencia de vibración, secuencia del recorrido y el equipo necesario con el fin de definir un patrón que garantice lograr la densidad requerida en toda la ruta.

**Porcentaje de vacíos en campo:** Corresponde a la cantidad de espacio contenido de aire entre las partículas de agregado, dentro de un volumen determinado, el cual se obtiene una vez la mezcla asfáltica en sitio este compactada.

**Porcentaje de vacíos en laboratorio:** Es la cantidad de espacio contenido de aire entre las partículas de agregado, dentro de un volumen determinado, el cual se obtiene en laboratorio en el proceso de diseño de la mezcla asfáltica.

**Riego de imprimación:** Se refiere a la emulsión asfáltica utilizada en una dosificación específica para lograr la adherencia entre la base granular y la capa asfáltica a colocar.

**Segregación del material:** Hace referencia a la separación que se produce entre el agregado grueso y partículas finas.

**Segregación térmica:** Los cambios de temperatura o inadecuada manipulación de la mezcla asfáltica induce a la segregación del material.

**Tamaño Máximo Nominal:** Utilizando de referencia en número de tamiz o malla, según la abertura de cada uno, se considera en cual es la malla más pequeña por la que se encuentra pasando la mayor cantidad de agregado.



## Condiciones de montaña en Costa Rica

---



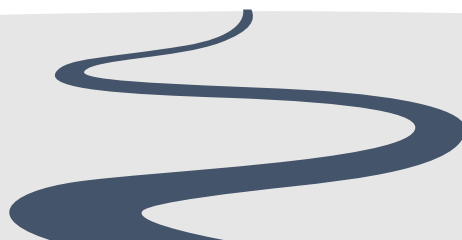
Las condiciones de montaña para Costa Rica hace referencia a terrenos donde la pendiente natural se encuentra por arriba del 15%, donde la velocidad de diseño se limita a un máximo de 40 km/h sin embargo al rebasar el 17% de pendiente la velocidad máxima es de 20 km/h, añadido a esto comprende a zonas donde se clasifican como regiones lluviosas y excesivamente lluviosas donde la presencia de curvas cerradas es alta, por lo que el confinamiento lateral es un aspecto al cual se le debe prestar la debida importancia. Como complemento se considera la altitud, donde los sectores ubicados por arriba de los 800 m.s.n.m se consideran como rutas montañosas.

De manera que, aun cuando se cumpla solamente con el porcentaje de pendiente o las condiciones climáticas que caracterizan las condiciones de montaña, el cumplimiento de alguno de los 2 identifica a las rutas bajo dichas condiciones.

En el Apéndice 1 se encuentra un listado con las subregiones del país con sus respectivas características de condición lluviosa y temperaturas promedio, en el Apéndice 2 podrá encontrar una tabla que facilita según las características del proyecto, identificar si la ruta presenta condiciones de montaña.

## Consideraciones generales

- Previo al inicio del proyecto, se debe de considerar cómo se manejará las aguas, para que la capa asfáltica no se vea afectada por el agua y si llueva el agua no corra sin control.
- Se debe de realizar una visita al sitio para identificar las características de toda la zona a intervenir, dará una idea más clara de las condiciones a las cuales se enfrentarán en sitio.
- Realizar una logística de trabajo donde se controle que cada proceso o etapa se realiza de forma adecuada (barrido, tramo de prueba, riego de imprimación, recepción de la mezcla, colocación, compactación) considerando la presencia de pendientes o clima lluvioso todo esto de forma integral.



## Consideraciones sobre la mezcla asfáltica en caliente

---



- Utilizar agregados de Tamaño Máximo Nominal (TMN) variado o mayor al 12,5 mm no genera gran aporte en pendientes mayores al 15%.
- Si bien el trabajar con agregados de TMN mayor al 12,5 mm no representa una solución al efecto de la pendiente en el comportamiento de la MAC, es importante trabajar con capas de espesores mayores a 8 cm.
- En el diseño, trabajar en el lado húmedo de la fórmula de trabajo, valorando previamente las condiciones de tránsito y cargas donde haya que considerar algún modificante, con el fin de sellar mejor los vacíos.
- Trabajar en el laboratorio con porcentajes de vacíos más cercanos al límite inferior, es decir cerca del valor mínimo (3%) lo que va a permitir mayor posibilidad de lograr la densidad en sitio requerida (92%-96%).



## Equipo y maquinaria



### • Barredora mecánica

Su uso tiene la finalidad de eliminar el polvo y partículas sueltas de la superficie, se debe asegurar que la barredora tenga una capacidad de escalamiento superior al 15%.



### ▪ Compresor de aire

Con el fin de eliminar todas las partículas de polvo que no logra eliminar la barredora mecánica y la escoba se utiliza un compresor de aire, se debe siempre complementar con este equipo el barrido de la superficie para garantizar eliminar el polvo de la superficie.



### ▪ Escobón

Se utiliza para barrer los espacios donde la barredora mecánica no logra alcanzar.



### ▪ Escantillón (Codal)

Utilizada para comprobar la regularidad de la superficie.



### ▪ Compactador de llanta de hule

En el proceso de acabados, luego de la compactación con rodillo se utiliza la compactadora de llanta de hule para darle un acabado a la capa asfáltica colocada, donde se debe asegurar que la maquinaria cuente con una capacidad de escalamiento superior al 15%.



### ▪ Compactador vibratorio:

La compactadora se usa para que la mezcla asfáltica logre la densidad requerida, se debe escoger el peso adecuado según el espesor de la capa, la tracción del equipo es importante, por lo que deben utilizar compactadoras con la mejor tracción, de igual forma, deben escalar más del 15%.



### ▪ Distribuidor de asfalto:

Debe contar con sistema de aspersión, control de temperatura y sistema de calentamiento, se debe de asegurar el buen estado del equipo y se debe de evitar el uso de aspersores manuales ya que el control de la distribución es fundamental.



### ▪ Pavimentadora:

Se usa para extender la mezcla asfáltica con el espesor y alineamiento correspondiente, con una capacidad de escalamiento superior al 15%, se debe optar por usar pavimentadora de tracción sobre oruga, y se debe implementar una pavimentadora con tracción sobre oruga y sobre ruedas.



### ▪ Rastrillo de nivelación:

Previo a la compactación, con el rastrillo se corrige el desplazamiento de la mezcla asfáltica, ayuda a obtener superficies planas y en las juntas es útil para construirlas adecuadamente.



### ▪ Termómetro para asfalto:

El control de la temperatura de la mezcla asfáltica se debe realizar en diferentes etapas, en la recepción, colocación y compactación para controlar que se haga en la temperatura correspondiente.



### ▪ Vagonetas:

La góndola o volquete debe estar en las mejores condiciones para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella o la contamina, debe contar con una lona térmica y optar por volquete con aislamiento térmico.

## Personal

---



- ✓ Encargados del trabajo en sitio
- ✓ Operadores de maquinaria
- ✓ Rastrilleros
- ✓ Peones
- ✓ Gestores de tránsito



## Protección personal

---

El personal debe contar con el equipo de protección personal, como anteojos, chalecos reflectivos, zapatos de seguridad y ropa con pies y manos a veces puede requerir casco.

## Previo a la colocación

---



### Inspección de equipo

- Se debe de verificar que la maquinaria a utilizar cuente con una capacidad de escalamiento superior al 15% con alta capacidad de tracción para que la pendiente del terreno no represente un problema en el rendimiento de esta.
- El departamento encargado de mantenimiento debe de asegurar que la maquinaria utilizada mecánicamente se encuentre en óptimas condiciones, en campo los maquinistas adquieren la responsabilidad de reportar en caso observe que el equipo no trabaja de la manera correcta, lo ideal es que una persona con conocimiento del tema se encuentre en el sitio previo al inicio del proyecto y verifique las condiciones del equipo.

## Elementos de confinamiento lateral

- Se debe de colocar cunetas o bordillo previo a la colocación de la mezcla asfáltica, de ser posible se debe de colocar cunetas revestidas ya que por su diseño permite crear un borde que limita los laterales en el proceso de extensión y compactación.
- Si las cunetas revestidas no representan la mejor opción debido a la geometría del terreno, se puede considerar el uso de bordillo o espaldones.

Figura 1. Ejemplo de una cuenta revestida.



## Barrido de la superficie

- La superficie previa a la colocación del riego de imprimación debe estar completamente limpia y libre de polvo, esto se logra utilizando la barredora mecánica, de no ser la mejor opción se recomienda el uso de escobón en conjunto con el compresor de aire, la seguridad de que la superficie se encuentre limpia se logra con el uso del equipo mencionado, esto asegura que el proceso barrido sea el adecuado.
- No todas las partículas sueltas en la superficie son fáciles de apreciar por lo que asegurar el uso del equipo necesario garantiza que el riego de imprimación no se desprenda.



- No realizar el barrido con más de 12 horas de anticipación ya que esto favorece a la contaminación de la superficie debido a las partículas que arrastra el viento o a la humedad.

**Figura 2.** Superficie una vez barrida.



### Aplicación del riego de imprimación

- Verificar que se haya realizado el barrido de la superficie, lo cual es fácil de apreciar visualmente.
- Al recibir el distribuidor del riego de imprimación se debe de verificar que el mismo contenga, una capacidad mínima de 7500 L, una barra dosificadora con un ancho mínimo de 4,5 m en conjunto con el sistema de boquillas con un distanciamiento máximo de 10cm, así como un sistema de calentamiento y bombeo con un termómetro que registre la temperatura de la emulsión asfáltica y por último un panel de control.
- La calibración de las boquillas, velocidad de operación y presión del riego va a depender del diseño y la tasa de aplicación.

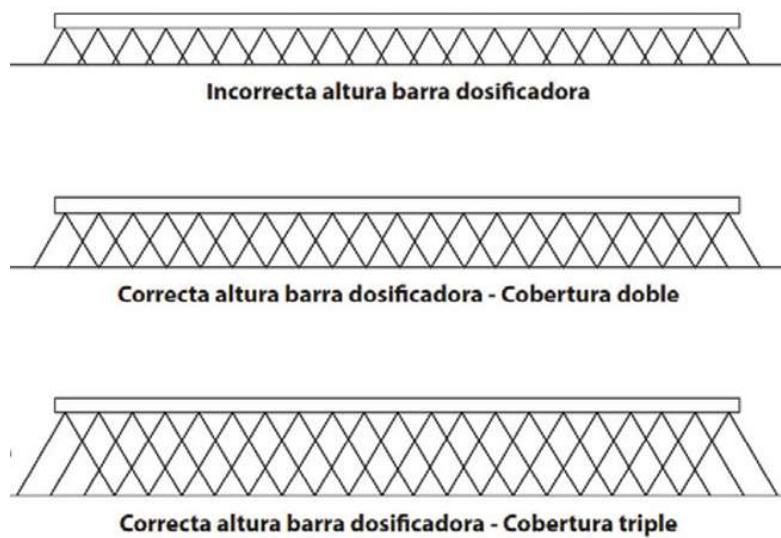
- La temperatura de colocación debe ser mayor a 10°C, sin presentar posibilidad de lluvia o niebla.
- Los aspersores deben de proporcionar una cobertura doble o tripe, sin embargo, a pesar de que se recomienda la cobertura doble, la tiple puede favorecer a llegar a los bordes especialmente cuando se presentan curvas, de igual forma cualquiera de las dos son adecuadas, ejemplo de ello se encuentra en la Figura 3.
- Al realizar una junta, ya sea longitudinal como transversal debido a que se le está dando continuidad a una sección previamente compactada, se debe de asegurar que el corte de las juntas quede completamente vertical y posteriormente debe quedar cubierta del riego de imprimación.
- En la Tabla 414-01 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes [CR-2020] (2022) se muestra que para el riego de imprimación la tasa de aplicación es de 0,45-1,35 L/m<sup>2</sup> con un tiempo de curado mayor a 24 horas.
- Cada 500 m se debe de verificar que la presión de bombeo, este resultando la adecuada observando que el riego se encuentre en la superficie de manera uniforme y continua.
- La velocidad de aplicación dependerá de la velocidad de aplicación del camión dosificador.
- En la Figura 4 se muestra el patrón adecuado que se debe de observar en la superficie, continuo sin que se aprecie como rayas o parches.
- Aunque el riego de imprimación genera adherencia no se debe colocar exceso.
- El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) cuenta con una guía de para la aplicación del riego de imprimación, esta puede ser una herramienta útil en caso de que alguno de los pasos mencionados no haya quedado claro, la misma se adjunta en el Anexo 1.
- Ejemplo de la práctica de colocación del riego de imprimación, se observa en la Figura 5.



### Acciones por realizar en esta etapa:

- En las secciones donde la pendiente sea mayor al 15%, se debe considerar una emulsión asfáltica con polímeros, ya que dan mayor viscosidad (resistencia a fluir y deformarse) lo que favorece que el efecto de la pendiente no arrastre mezcla asfáltica en la dirección contraria a la que se coloca.
- se debe implementar una emulsión asfáltica con las mejores características de adherencia entre la superficie y la capa asfáltica a colocar, para favorecer.

Figura 3. Correcta altura de la barra dosificadora.



Fuente. (Sergio et al., 2019).



**Figura 6.** Como debe de verse el riego de imprimación en la superficie.



**Figura 5.** Colocación de riego de imprimación.



## Recepción de la mezcla asfáltica en caliente

---



- Verificar que la mezcla asfáltica llegue tapada y con una temperatura cercana a los 150 °C, esto puede variar según en planta, puede que indique una temperatura aún más baja, por lo que es importante revisar la fórmula de trabajo (documentado en una ficha o informe).
- La temperatura se verifica idealmente por medio de sensores si la tolva de la vagoneta cuenta con estos, de no ser así un termómetro para asfalto se coloca en la mezcla asfáltica para conocer la temperatura que de recepción.
- Verificar que la mezcla asfáltica no haya sido contaminada o se encuentre sobrecalentada, esto se puede apreciar ya que emane un humo azul.
- Controlar estos aspectos permite que la mezcla asfáltica sea colocada y compactada con la temperatura adecuada.

## Paño de prueba

---



- En el caso donde la ruta presenta tanto secciones planas como montañosas, se debe de realizar un paño de prueba que caracterice ambas situaciones.
- Importante considerar disminuir la longitud del paño de prueba en aquellos casos donde las secciones con pendientes mayores al 15% son pocas (2-3), ya que es importante tener presente que este tipo de medidas incrementan los costos y disminuir la sección del paño de prueba puede mitigar un poco el costo, esto si se considera de importancia este factor.



- Para iniciar con la etapa realizar el paño de prueba, es necesario que se cuenten con el diseño de mezcla y dosificación del riego de imprimación a utilizar, aprobados de igual forma por la administración.
- Se debe de documentar las características del riego de imprimación, temperatura, equipo, maquinaria, personal, velocidad, frecuencia y patrón de compactación con el cual se logró la densidad requerida es decir entre un 92%-96%, para que se realice el proceso de la misma forma con toda la ruta a intervenir.
- La velocidad de colocación y compactación dependerá la capacidad de la maquinaria utilizada, por lo que el patrón de compactación una vez lograda la densidad de campo, brinda un tiempo de aproximado de avance, con el fin de controlar los tiempos de una manera más precisa.
- En la compactación de la mezcla asfáltica, iniciar con la compactación en las orillas para favorecer el confinamiento lateral y evitar el desplazamiento a los bordes.
- La densidad final se obtiene al medir en cuatro puntos de los 100 m del tramo de prueba, después de cada pasada, utilizando como es habitual el decímetro nuclear según la norma AASHTO T 335 y por último con la extracción de los núcleos.
- Para continuar con la etapa de colocación debe de ser aceptada por la administración los resultados obtenidos.

#### **Acciones por realizar en esta etapa:**

- Aplicar el método de compactación por oscilación en el paño de prueba que se realiza en pendiente, para comprobar su aporte para lograr los resultados de densidad de campo.
- Poner en práctica colocar y compactar la mezcla asfáltica en secciones alrededor de los 25 m, con el fin de que la capa colocada funcione como barrera para la mezcla colocada y disminuir así las fuerzas que influyen en el desplazamiento de la mezcla, debido a la pendiente.



## Colocación de la mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña

- ✓ No se debe iniciar con el proceso si hay indicios de lluvia.
- ✓ Si hay presencia de lluvia durante el proceso, la mezcla asfáltica utilizada debe desecharse.
- ✓ La temperatura de colocación se debe encontrar entre 125°C -160°C.
- ✓ En la descarga, se debe evitar lanzar o descargar a gran altura la mezcla asfáltica.
- ✓ Evitar que la mezcla asfáltica sea contaminada con cualquier sustancia externa a ella.
- ✓ Controlar que el espesor, bombeo y peralte de diseño, para esto el encargado puede ir midiendo el espesor manualmente con un instrumento que se introduce en la capa y verifica el espesor conforme se va desplazando la extendedora, para el control del bombeo y peralte el maquinista es quien los controla.



## Compactación de la mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña

- ✓ La temperatura en el proceso de compactación ronda los 125°C siendo el mínimo permitido 85 °C.
- ✓ Lo definido en el Tramo de prueba se debe cumplir al 100%.
- ✓ En pendientes mayores al 15% se debe optar por la combinación de una compactación por el método de vibración y oscilación, por otra parte la compactadora de llanta de hule presenta características mecánicas que favorecen a la compactación en pendientes pronunciadas, por lo que es necesario implementar alguna de estas alternativas en el paño de prueba para lograr la densidad de campo.
- ✓ En el caso de presentar juntas transversales se recomienda un máximo de 3 pasadas de manera perpendicular al sentido de la vía, con un avance 15 cm conforme aumentan las pasadas.
- ✓ En el caso de las juntas longitudinales se recomienda el mismo patrón de compactación de las juntas transversales.
- ✓ En caso de que la compactación que se realiza en pendientes mayores al 15%, si esta se logra alrededor de los 90 °C-100 °C puede favorecerse el enfriamiento (con agua) de la mezcla siempre y cuando se haya logrado la compactación, con el fin de evitar des compactación.
- ✓ Para dar un acabado final se utiliza una compactadora de llanta de hule, para etapa la temperatura debe ser superior al 85°C.
- ✓ Al final de la compactación de la mezcla asfáltica, se verifica la pendiente transversal (bombeo) cuente con el porcentaje de diseño y a su vez cumpla con la densidad de campo, que debe encontrarse entre 92 %-96%.



- ✓ Compactar la mezcla asfáltica hasta que ésta alcance una curva de compactación asintótica, donde se vea que esa es la máxima compactación que puede alcanzar la MAC en una ruta específica, monitoreada por medio de densimetría nuclear.
- ✓ La extracción de los núcleos en campo tiene un plazo mínimo de 7 días naturales para ser analizados, posterior a la compactación.

## Sellado

- Para brindar mejores características a la capa asfáltica colocada, el sellado puede ser una buena opción frente a estas rutas donde las lluvias suelen ser constante, aparte de brindar impermeabilidad favorece la disminución de porcentajes de vacíos.
- Según las características y la experiencia adquirida por ingenieros de campo, el Fog Seal es una de las mejores opciones a considerar, sus pro y contras se adjuntan en el Anexo 2, en conjunto con otros tipos de sellos utilizados en la práctica.



## Referencias

Sergio, G. A., Diego, H. G. L., Guillermo, L. S. L., Mauricio, S. C., Wendy, S. R., & Andrea, Z.

L. (2019, 1 enero). *Guía para Inspectores: Aplicación de Riego de Liga*.

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1420>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [LanammeUCR]. (2021). “Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas de mezcla asfáltica en caliente”. En Universidad de Costa Rica (Segunda Edición).

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2224/gu%C3>

%ADa%20sobrecapas.pdf?sequence=1&isAllowed=y Ministerio de Obras Públicas y

Transporte [MOPT]. (2023). Actualización del CR-2020"Manual de Especificaciones

Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes". En LanammeUCR.

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2366>

Ministerio de Obras Públicas y Transporte [MOPT]. (2022). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes: CR-2020.

Zúñiga, K. (2024). Propuesta de guía para la colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente en condiciones de montaña.



## Apéndice

**Apéndice 1.** Precipitación y temperatura en las regiones climáticas de Costa Rica.

**Apéndice 2.** Parámetros que deben cumplir los proyectos en rutas montañosas.



## Anexos

**Anexo 1.** Guía para la colocación de Riego de Liga.

**Anexo 2.** Sellos utilizados como método de preservación de la capa asfáltica.



**Apéndice 1.** Precipitación y temperatura en las regiones climáticas de Costa Rica.

| <b>Región Pacifico Norte</b>                          |                               |   |                                    |                               |
|---|-------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Península de Nicoya                                   | 2385                          | 23-30                                       | 99                                 | Región lluviosa               |
| Subregión del Pacifico Norte                          | 1800                          | 22-33                                       | 97                                 | Moderadamente lluviosa        |
| Faldas de la Cordillera de Guanacaste y Tilarán       | 2462                          | 17-25                                       | 173                                | Región lluviosa               |
| Cuenca baja de los ríos Barranca y Grande de Tárcoles | 2637                          | 20-30                                       | 111                                | Región lluviosa               |
| <b>Región Pacifico Central</b>                        |                               |   |                                    |                               |
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Valle de Parrita                                      | 3122                          | 17-30                                       | 140                                | Región lluviosa               |
| Cuenca del rio Naranjo, Quepos                        | 3689                          | 22-30                                       | 163                                | Región lluviosa               |
| Cuenca del Rio Barú, Dominical                        | 3923                          | 19-25                                       | 148                                | Región excesivamente lluviosa |
| <b>Región Pacifico Sur</b>                            |                               |   |                                    |                               |
| <b>Subregión</b>                                      | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>          |
| Valle del General y de Coto Brus                      | 3050                          | 18-29                                       | 175                                | Región lluviosa               |
| Valle de Diquís                                       | 3710                          | 22-32                                       | 174                                | Región lluviosa               |
| Valle Coto Colorado                                   | 4820                          | 22-32                                       | 220                                | Región excesivamente lluviosa |
| Península de Osa                                      | 4282                          | 17-30                                       | 192                                | Región excesivamente lluviosa |
| Faldas del Pacifico de la Cordillera de Talamanca     | 3320                          | 17-24                                       | 211                                | Región lluviosa               |

| <b>Región Montañosa del Sur</b>                                      |                               |   |                                    |                        |
|--|-------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Cuenca Alta de los Ríos Turrubares y Tulín, y el Valle de Candelaria | 2370                          | 15-25                                       | 149                                | Región lluviosa        |
| Cuenca Alta del Río Pirrís o Parrita                                 | 2190                          | 8-20  | 147                                | Región lluviosa        |
| <b>Región Valle Central</b>  |                               |   |                                    |                        |
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Valle Central Occidental   | 1950                          | 18-27                                       | 129                                | Moderadamente lluviosa |
| Valle Central Oriental   | 2016                          | 15-26                                       | 128                                | Región lluviosa        |
| Faldas de la Cordillera Volcánica Central (Poás, Barva e Irazú)      | 2820                          | 10-21                                       | 147                                | Región lluviosa        |
| <b>Región Norte</b>  |                               |   |                                    |                        |
| <b>Subregión</b>   | <b>Lluvia media anual(mm)</b> | <b>Temperatura media anual min-máx.(°C)</b> | <b>Promedio de días con lluvia</b> | <b>Clasificación</b>   |
| Faldas Orientales de las Cordilleras de Guanacaste y de Tilarán      | 3100                          | 21-30                                       | 225                                | Región lluviosa        |
| Faldas del Norte de la Cordillera Volcánica Central                  | 3768                          | 17-24                                       | 226                                | Región lluviosa        |
| Llanuras de los Guatusos   | 3722                          | 22-31                                       | 204                                | Región lluviosa        |
| Llanuras de San Carlos   | 3020                          | 20-31                                       | 184                                | Región lluviosa        |
| Llanura de Sarapiquí   | 3710                          | 21-31                                       | 193                                | Región lluviosa        |

## Apéndice 2. Resumen de parámetros que deben cumplir los proyectos en rutas montañosas.

| Tipo de terreno |   |
|-----------------|---|
| Clasificación   | Definición  |
| Montañoso       | Corresponde a terrenos donde la pendiente natural es mayor al 15%, es decir:<br><br>P>15%<br><br>Donde P representa la pendiente. |

| Velocidad de diseño |   |
|---------------------|---|
| Velocidad (KPH)     | Porcentaje de pendiente del terreno (%) |
| 40                  | 15                                      |
| 30                  | 16                                      |
| 20                  | 17                                      |

Nota: Para pendientes mayores al 17% la velocidad de diseño no sobrepasa los 20 KPH.

| Altitud       |  |
|---------------|--|
| Clasificación | Definición   |
| Montañoso     | <ul style="list-style-type: none"><li>Presenta altitudes por arriba de los 1250 m.s.n.m.m</li></ul> No se descarta la posibilidad de se presenten rutas montañosas por debajo de esta altitud. |

| Condición lluviosa |   |
|--------------------|---|
| Clasificación      | Definición  |
| Montañoso          | <ul style="list-style-type: none"><li>Presenta condición lluviosa</li></ul> Es decir, un promedio de lluvia anual entre los 2000mm-4000mm. <ul style="list-style-type: none"><li>Presenta condición extremadamente lluviosa</li></ul> Un promedio de lluvia anual mayor a los 4000mm. |



# *Aplicación de riego de liga*

Guía para Inspectores

**PITRA**

Programa de  
**Infraestructura  
del Transporte**



Guerrero-Aguilera, Sergio<sup>1</sup>; Herra-Gómez, Luis Diego<sup>2</sup>;  
Loría-Salazar, Luis Guillermo<sup>3</sup>; Salas-Chaves, Mauricio<sup>4</sup>;  
Sequeira-Rojas, Wendy<sup>5</sup> y Zúñiga-López, Andrea<sup>6</sup>.

1 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

2 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

3 Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte  
(PITRA) LanammeUCR

4 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

5 Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

6 Asistente, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

Palabras Clave: emulsión asfáltica, riego de liga, prácticas constructivas.

## Resumen

La presente publicación es el resultado de una investigación de literatura tanto nacional como internacional relacionada con la actividad de riego de liga. Tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de aplicación de la emulsión asfáltica. Este documento describe los atributos necesarios en un inspector, conceptos importantes, personal necesario, equipo, maquinaria y materiales requeridos para la actividad. Asimismo, se ilustra y describe en un lenguaje sencillo el procedimiento detallado para la realización de un trabajo eficiente. Se enmarcan recomendaciones especiales para el inspector y se presenta una lista de chequeo. Finalmente, se presentan ejemplos de prácticas adecuadas e inadecuadas. Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR que busca eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la labor de riego de liga, de manera que se garanticen obras de mayor durabilidad y una adecuada inversión de los recursos.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen  | 1  |
| Introducción   | 3  |
| Atributos necesarios de un inspector   | 3  |
| 1. Conceptos   | 4  |
| 2. Personal requerido para aplicación del riego de liga  | 7  |
| 3. Equipo y maquinaria   | 7  |
| 4. Materiales requeridos   | 12 |
| 5. Proceso constructivo  | 14 |
| 5.1. Calibración de equipo   | 14 |
| 5.1.1. Presión del camión dosificador en la aplicación del riego de liga                         | 14 |
| 5.1.2. Temperatura de aplicación del riego de liga   | 15 |
| 5.1.3. Altura de la barra de dosificación  | 16 |
| 5.1.4. Boquillas   | 18 |
| 5.2. Tramo de prueba   | 21 |
| 5.3. Preparación y superficie  | 22 |
| 5.3.1. Limpieza  | 22 |
| 5.3.2 Cuidados en juntas y protección del entorno  | 24 |
| 5.4. Tasa de dosificación a utilizar   | 25 |
| 5.5 Aplicación   | 27 |
| 5.5.1 Riego uniforme   | 27 |
| 5.6 Cálculo de la tasa de emulsión aplicada  | 28 |
| 5.6 Rompimiento y curado   | 32 |
| 5.6.1 Tiempo de rompimiento y curado   | 32 |
| 5.6.2 Arrastre de liga   | 34 |
| 6. Lista de chequeo  | 35 |
| 7. Ejemplos ilustrativos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la aplicación del riego de liga | 42 |
| 7.1 Prácticas adecuadas  | 42 |
| 7.2 Prácticas deficientes  | 48 |
| Referencias  | 60 |

# Introducción

El contenido de la siguiente guía tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de supervisión de la actividad de aplicación del riego de liga.

Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR, que busca con este documento eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la actividad de riego de liga, de manera tal que se garanticen obras de mayor durabilidad.

## Atributos necesarios de un inspector

- Los atributos personales necesarios en un inspector comienzan por la honestidad. El inspector debe ser honesto y debe comportarse de una manera justa y recta, por lo que debe realizar su trabajo con ética.
- En momentos de presión debe mantener su compostura y tomar buenas decisiones. Debe tener sentido común para ejecutar decisiones competentes.
- Debe ser sincero en sus relaciones con las personas, poseer habilidades diplomáticas, ser cortés y capaz de manejar situaciones difíciles sin generar hostilidad. Por encima de todo, debe ser muy observador y ser capaz de llevar registros completos con la información relevante diaria. El inspector deberá trabajar en conjunto con el ingeniero para determinar las intervenciones y prácticas constructivas más adecuadas de acuerdo con la obra a realizar.

# 1. Conceptos

**Asfalto:** es un producto que se obtiene de la destilación del petróleo, es el último residuo que queda, después de extraer del crudo: aceites, diésel, bunker, gasolina, entre otros y sirve para aglutinar (pegar) fuertemente las partículas de agregado en la mezcla asfáltica.

**Asfalto residual:** cantidad de asfalto remanente en la superficie después que la emulsión ha roto y curado, el cual típicamente oscila entre un 45% a un 75% del volumen de la emulsión (Ulloa, 2012).

**Emulsión asfáltica:** material bituminoso líquido, que se define como una dispersión de asfalto y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsionante que a la vez proporciona la unión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso (MOPT, 2010). Uno de los usos de la emulsión asfáltica es el riego liga. La emulsión asfáltica puede ser diluida o no.

**Emulsión asfáltica diluida:** emulsión original que ha sido diluida añadiendo una cantidad de agua igual o menor que el volumen total de emulsión original (Elizondo et al, 2017).

**Emulsión asfáltica no diluida:** corresponde a la emulsión original sin ningún tipo de modificación posterior al proceso de producción.

**Exudación:** es la presencia o ascenso de asfalto en la superficie de la calzada dándole un aspecto negro, liso y brillante. Se producen por defectos de construcción, por riego de adherencia excesivo; o por defectos de formulación de la mezcla asfáltica. Este tipo de deterioro genera un riesgo en la seguridad vial del pavimento debido a la reducción del coeficiente de fricción superficial.

**Riego de imprimación:** Es un riego de emulsión asfáltica colocado sobre una superficie de base granular o estabilizada con el fin de brindarle protección luego de construida.

**Riego de liga:** Aplicación de una capa delgada de emulsión asfáltica por medio de riego a presión sobre una superficie ya sea bituminosa o losa de concreto, previo a la colocación de una capa asfáltica. El riego de liga proporciona una adecuada adherencia entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito a la estructura de pavimento.

**Sobrecapa de mezcla asfáltica:** consiste en la colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente, sobre una capa de rodamiento existente para mejorar las condiciones superficiales del pavimento. Pueden sustituir total o parcialmente el espesor de una capa existente.

**Tasa de dosificación:** corresponde a la tasa de riego de emulsión asfáltica por área, generalmente se reporta en litros sobre metros cuadrados ( $l/m^2$ ).

**Tiempo de rompimiento:** tiempo necesario para que las partículas de agua se separen de la emulsión. En esta etapa ocurre un cambio de coloración en la emulsión de café a negro, aunque todavía hay presencia de agua en la emulsión asfáltica.

**Tiempo de curado o rompimiento total:** tiempo necesario para que el agua introducida en el proceso de producción de la emulsión se evapore completamente. Esta etapa involucra el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas de la emulsión asfáltica por lo que hay mayor habilidad de adherencia entre capas (Asphalt Institute, 2008).

**Tipos de emulsión según tiempo de rompimiento:** las emulsiones asfálticas se pueden clasificar según la tasa relativa en la cual las dos fases se separan al hacer contacto con agregado o suelo. Se establecen cuatro tipos de emulsiones asfálticas según el tiempo que tardan en romper.

- Rompimiento rápido (RS)
- Rompimiento medio (MS)
- Rompimiento lento (SS)
- Rompimiento controlado (QS)



**Figura 1. Rompimiento de emulsión asfáltica**  
**Fuente: LanammeUCR, 2018**

**Tipos de emulsión según polaridad:** Las emulsiones asfálticas son comúnmente categorizadas según la carga eléctrica que rodea la partícula de asfalto, por lo que según la polaridad de la carga se pueden clasificar como catiónicas o aniónicas. (Ulloa, 2012).

- **Catiónicas:** son aquellas cuyo agente emulsificante confiere polaridad electropositiva alrededor de las partículas de asfalto.
- **Aniónicas:** son aquellas cuyo agente emulsificante proporciona polaridad electronegativa alrededor de las partículas del asfalto.

Una recomendación técnica indica que no se deben mezclar las emulsiones aniónicas con las catiónicas. (Asphalt Institute, 2015).

## 2. Personal requerido para aplicación del riego de liga

- Inspector
- Encargado de cuadrilla
- Operadores de maquinaria
- Peones

## 3. Equipo y maquinaria

**Barredora mecánica:** se utilizan para eliminar el polvo y escombro de la superficie expuesta antes de aplicar el riego de liga, sobre la que se colocará la sobrecapa.



Figura 2. Barredora mecánica  
Fuente: LanammeUCR, 2018

**Cepillo, escoba, esponjas o toallas:** se utilizan para limpiar y barrer las superficies difíciles de alcanzar con la barredora mecánica, de manera que queden libres de polvo o agentes contaminantes. También son utilizados en el caso de derrames o excesos de emulsión asfáltica sobre la superficie a intervenir.

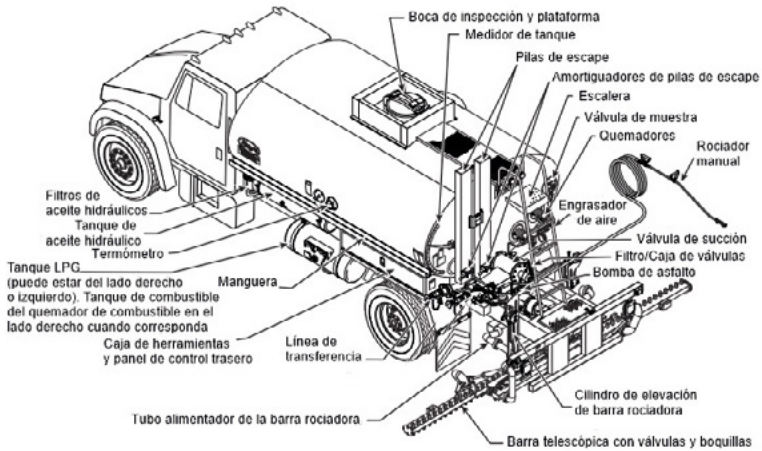


**Figura 3. Cepillo (escobón)**

**Distribuidor de emulsión asfáltica:** Un distribuidor de asfalto es el equipo que usualmente se emplea para la aplicación del riego de liga. El camión distribuidor se compone de varias piezas principales entre las que se pueden mencionar el tanque de emulsión asfáltica, el sistema de calentamiento líquido, el sistema de bombeo, la barra dosificadora con el sistema de boquillas de aspersión, el dispositivo de aspersión manual y el panel de control. El adecuado funcionamiento y condición del camión dosificador es para obtener riegos homogéneos.

En la siguiente figura se muestran los sistemas y piezas que conforman el camión dosificador.

## Localización e identificación de componentes Componentes laterales y posteriores



**Figura 4. Elementos de un camión distribuidor de asfalto**  
Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2012

**Sistema de calentamiento:** Los distribuidores están equipados con quemadores, que se utilizan para mantener la emulsión asfáltica en la temperatura adecuada para asegurar la viscosidad correcta para su aplicación (ver cuadro 2).



**Figura 5. Termómetro del sistema de calentamiento**

**Sistema de bombeo:** Los camiones distribuidores tienen dos sistemas de bombeo para asegurar la presión de rocío de la emulsión asfáltica a diferentes tasas y temperaturas de aplicación. El primer sistema contempla la presión automatizada del equipo, es decir, una presión variable de acuerdo con la velocidad de aplicación. El segundo mecanismo corresponde a una magnitud de presión constante a la cual debe ajustarse la velocidad de operación del camión dosificador.

**Barra dosificadora:** Se encuentra en la parte posterior del distribuidor, detrás de las ruedas traseras del camión. La emulsión asfáltica se aplica a la superficie del pavimento mediante boquillas aspersores en la barra dosificadora. La mayoría de camiones cuentan con extensiones de la barra dosificadora para aumentar el ancho de aplicación del riego de liga, estas extensiones son opcionales y simplemente son levantadas cuando el ancho de aplicación no lo requiere.

Se recomienda que la barra dosificadora de aplicación tenga un ancho mínimo de 4,5 m. (MOPT, 2010).



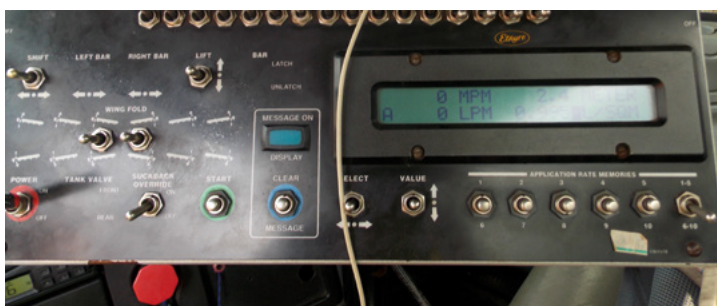
**Figura 6. Barra dosificadora**  
**Fuente: LanammeUCR, 2018**

**Boquillas:** Aberturas posicionadas en la barra dosificadora del camión distribuidor a través de las cuales la emulsión asfáltica es expulsada sobre la superficie de la carretera, usualmente distanciadas 10 cm entre sí.



**Figura 7. Boquilla de barra rociadora**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

**Panel de control o sistema informático:** El camión dosificador cuenta con un tablero de control para la activación de los sistemas que componen el equipo distribuidor, así como para la regulación de la tasa de dosificación, presión de aplicación, altura, posición de la barra y cantidad de boquillas a utilizar.



**Figura 8. Tablero de control a bordo del camión dosificador**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

**Tanquetas o distribuidores manuales:** Se pueden utilizar aspersores manuales para la aplicación del riego de liga siempre

y cuando se logre una distribución adecuada sobre la superficie y se cumpla con las demás especificaciones definidas para esta actividad.



**Figura 9. Distribuidor manual de emulsión asfáltica**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

## 4. Materiales requeridos

- Papel para construcción de juntas y protección de exteriores
- Emulsión asfáltica

En Costa Rica la emulsión asfáltica usualmente utilizada para la aplicación del riego de liga es la CRS-1 (catiónica de rompimiento rápido de baja viscosidad).



**Figura 10. Muestra de emulsión asfáltica**  
**Fuente: LanammeUCR, 2013**

A nivel internacional existen diferentes tipos de emulsión para la aplicación de riego de liga, como se puede observar en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Emulsiones asfálticas utilizadas en la aplicación del riego de liga**

| <b>Emulsiones asfáltica en riego de liga</b> |         |            |        |
|--|---------|------------|--------|
| Aniónicas                                    | RS-1    | Cationicas | CRS-1  |
|  | RS-2    |            | CRS-2  |
|  | MS-1    |            | CSS-1  |
|  | HFMS-1  |            | CSS-1h |
|  | HFMS-2h |            | CQS-1h |
|  | SS-1    |            | CRS-2P |
|  | SS-1h   |            | CRS-2L |

**Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2018**

## 5. Proceso constructivo

*Si bien la secuencia constructiva de la actividad de aplicación del riego de liga no es compleja, el inspector debe velar por el cumplimiento y corroboración de diversos aspectos durante su labor, con el fin de alcanzar una correcta aplicación del material asfáltico y así asegurar la adherencia de la capa asfáltica que se desea ligar a la estructura de pavimento existente.*

Se detallan a continuación los principales aspectos que el inspector debe verificar durante la aplicación del riego de liga.

### 5.1. Calibración de equipo

#### 5.1.1. Presión del camión dosificador en la aplicación del riego de liga

El distribuidor de emulsión asfáltica deberá tener la capacidad de desarrollar la presión para que el material asfáltico salga expulsado a presión constante y uniforme por cada una de las boquillas de la barra rociadora en forma de abanico hacia la superficie.

La presión aplicada en la barra dosificadora para la expulsión de la emulsión asfáltica está directamente ligada al tamaño y orientación de boquillas por lo que son un parámetro a considerar.

Una presión demasiado baja dará como resultado un riego discontinuo por la descarga desigual del material en las boquillas individuales. Mientras que una presión demasiado alta deformará el abanico de riego, generando patrones de riegos no uniformes. En la sección 7 de esta guía se pueden encontrar ejemplos de riegos discontinuos y no uniformes.

*El inspector puede verificar la presión de la aplicación de la emulsión asfáltica, en el panel de control del equipo. En caso de detectar riegos de liga no uniformes por problemas de presión del equipo, podrá sugerir la regulación de la presión aplicada o de la velocidad de aplicación*

## 5.1.2. Temperatura de aplicación del riego de liga

Los camiones dosificadores de emulsión asfáltica deben tener la capacidad de mantener la temperatura de la emulsión para asegurar una adecuada viscosidad y flujo del material a través de las boquillas de la barra rociadora.

*El inspector debe conocer el rango de temperatura a la cual se debe trabajar la emulsión asfáltica ya que un exceso de calentamiento sobre el material bituminoso podría causar el rompimiento de la emulsión estando aún dentro del tanque del camión dosificador causando obstrucciones o comprometiendo la adherencia del material.*

La temperatura de almacenamiento y aplicación del material dependerá del tipo de emulsión que esté aplicando.

**Cuadro 2 . Emulsiones asfálticas utilizadas en la aplicación del riego de liga**

| Tipo y grado de emulsión             | Temperatura de aplicación °C | Temperatura de almacenamiento °C |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| RS-,SS-1, SS-1h, CRS-1, CSS-1,CSS-1h | 20 -70                       | 20-60                            |
| RS-2, CRS-2                          | 60-85                        | 50-85                            |
| Emulsiones con polímeros             | 60-80                        | 50-55                            |

**Fuente: National Asphalt Pavement Association, 2013**

Usualmente en Costa Rica la emulsión CRS-1 es aplicada en rangos entre 50°C y 70°C.

*El inspector deberá verificar la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica, en el termómetro del equipo, así como la temperatura de los quemadores con el fin de asegurar la adecuada circulación del material para su expulsión.*



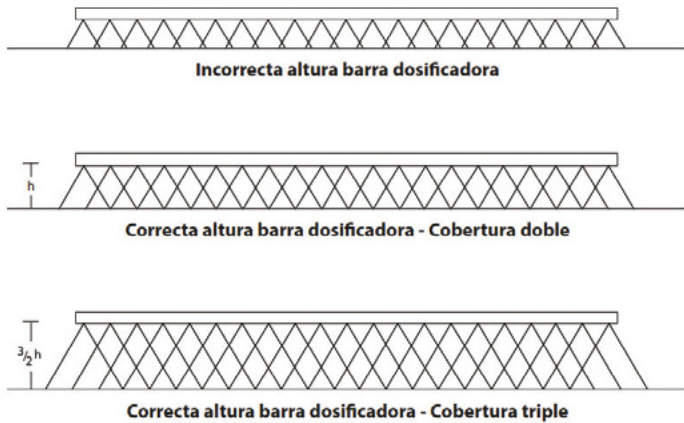
**Figura 11. Termómetro para verificar temperatura de almacenamiento y aplicación de la emulsión**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

### 5.1.3. Altura de la barra de dosificación

La elevación de la barra rociadora debe ajustarse a la altura suficiente para permitir el adecuado rocío del material bituminoso. Un rocío adecuado provee el traslape del ligante asfáltico necesario para alcanzar una aplicación uniforme y una cobertura suficiente de la superficie.

La altura de la barra dependerá de la velocidad de operación del camión, configuración de boquillas y la presión del riego.

Se recomienda ajustar la barra dosificadora a un patrón de rocío con cubrimiento doble o triple para alcanzar una aplicación del riego de liga uniforme con un porcentaje de cobertura total de la superficie. El cubrimiento doble considera que la base del abanico que se forma al salir el material de la boquilla cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua. Por otro lado, el cubrimiento triple considera que la base del abanico de una boquilla cubrirá dos terceras partes de la base del abanico de la boquilla continua. En la Figura 12 se muestran los tipos de cobertura según la altura de la barra (Instituto del Asfalto, 2014).



**Figura 12. Diagrama de altura de barra rociadora para cobertura deseada**  
**Fuente: Instituto del Asfalto, 2014**

*El inspector debe identificar que, si la barra rociadora está demasiado baja, el riego de liga resultará en forma de líneas o rayas, o si la barra está excesivamente alta resultará en una cobertura transversal no uniforme.*

También debe considerarse que conforme el volumen de emulsión contenido en el tanque distribuidor disminuye durante la aplicación del riego, la altura de la barra rociadora debe regularse hasta ajustar el tipo de riego seleccionado. Otro aspecto a considerar en relación con la altura de la barra es el factor viento, el cual podría incidir en el patrón de rocío del riego.

Como parámetro de referencia, la barra dosificadora usualmente se coloca a 30 cm de la superficie, sin embargo, la altura de la barra deberá ajustarse según las necesidades y factores que influyen en la posición de la barra dosificadora.

*El inspector deberá verificar la altura de la barra dosificadora antes de dar inicio al riego de liga. Así como sugerir la modificación de la altura de la barra en casos donde no se observe el traslape del abanico con el fin de asegurar una adecuada cobertura del material. Esto se puede verificar por medio de riegos de prueba.*



**Figura 13. Medición de la altura de la barra rociadora con cinta métrica**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

#### 5.1.4. Boquillas

Los tamaños de boquillas y ángulos de posicionamiento se deben seleccionar para las condiciones de la obra y tasa de dosificación aplicada. Las boquillas que se usen deben estar limpias y en buen estado.

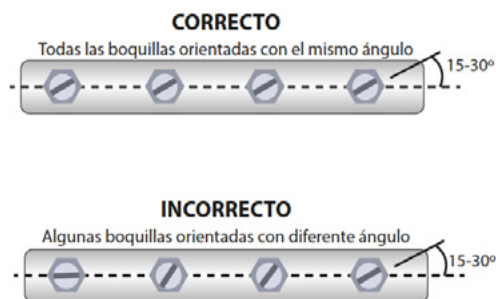
##### a. Ángulo

El ángulo de las boquillas con respecto al eje longitudinal de la barra dosificadora propicia la orientación de la salida del abanico de emulsión asfáltica hacia la superficie.

Para asegurar una cobertura uniforme del material sobre la totalidad de la superficie a intervenir, todas las boquillas de la barra rociadora deben mostrar el mismo patrón de rocío por lo que deberán ser del mismo tamaño, estar abiertas, libres de obstrucciones y alineadas a un mismo ángulo en el momento de la aplicación.

El ángulo de las boquillas se recomienda sea entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ , y es medido con respecto al eje longitudinal de la barra.

Si el ángulo de las boquillas no está alineado durante la aplicación



**Figura 14. Alineamiento y ángulo de boquillas**  
Fuente: NCHRP, 2012



**Figura 15. Efecto orientación de boquillas en riego de liga.**  
Fuente: Asphalt Institute, 2014.

del riego de liga, el patrón de rocío de uno de los nodos puede interferir con el patrón de rocío de los nodos adyacentes, por lo que algunas de las áreas de la superficie recibirán un exceso de emulsión asfáltica mientras la sección continua del abanico tendrá insuficiente cobertura.

*El inspector deberá verificar la orientación de las boquillas de manera que estas tengan la misma configuración respecto al eje longitudinal de la barra dosificadora con el fin de garantizar el mismo patrón de rocío de la emulsión asfáltica.*

## **b. Tamaño**

El tamaño de las boquillas para la aplicación del riego de liga varía significativamente en función de la tasa de emulsión que se desea aplicar.

Cada fabricante de distribuidores tiene recomendaciones específicas para el tamaño de las boquillas de la barra que deben utilizarse en las diferentes aplicaciones. La utilización de boquillas mayores en relación a una presión de bombeo del material resultará en una distribución no uniforme de la emulsión en la superficie de colocación.



**Figura 16. Variación en tamaño de boquilla de acuerdo al fabricante**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

*El inspector debe verificar que el tamaño del diámetro de boquilla a utilizar sea el adecuado para la tasa de riego según las especificaciones del manual del camión, esto para garantizar una adecuada presión en la expulsión del material. Además, se debe verificar que todas las boquillas sean del mismo tamaño.*

### **c. Mantenimiento**

Cuando las emulsiones son expulsadas de las boquillas a temperaturas superiores a la del ambiente, el residuo de asfalto suele obstruir las boquillas del distribuidor a medida que este se enfría; es por esto que el mantenimiento diario del equipo se vuelve importante para evitar que la emulsión se atasque en las boquillas de la barra rociadora y afecte de manera parcial o total la salida a presión de la emulsión y en consecuencia la aplicación del riego de liga resulte no uniforme.

Para evitar el bloqueo de las boquillas es importante que el operador al final de cada día de operación limpie: el sistema de circulación, barra de riego, válvulas y boquillas empleando un agente limpiador compatible con el material utilizado.

*El inspector debe revisar cada mañana el estado de las boquillas para identificar posibles obstrucciones. En caso de detectar boquillas bloqueadas en el proceso de aplicación, se deberá sugerir la limpieza o sustitución de las mismas para continuar con el proceso de aplicación del riego de liga.*

## 5.2. Tramo de prueba

Es recomendable antes de dar inicio a la actividad del riego de liga, realizar una prueba de riego con el camión dosificador, con el fin de verificar que la altura de la barra rociadora, los ángulos de las boquillas, presión, velocidad de aplicación y condiciones climáticas sean las adecuadas para que el material asfáltico sea aplicado de manera uniforme.

*En la realización del paño de prueba, el inspector en caso de observar un riego de liga no uniforme o excesivo, debe solicitar la calibración del equipo previo a la colocación del material asfáltico.*

Es importante que el inspector conozca que existen pruebas para la comprobación de la tasa de dosificación que pueden ser realizadas tanto en el tramo de prueba como en el proceso de aplicación del riego de liga.

La norma ASTM D2995 (American Society for Testing Materials, 2009) registra dos métodos para corroborar la cobertura del riego de emulsión asfáltica. Ambos métodos implican la fijación de parches de geotextil en la superficie donde se aplicará la emulsión asfáltica. Los parches del geotextil se pesan antes y después de la aplicación del riego de liga para determinar la tasa de aplicación en l/m<sup>2</sup>.

El método A estima la tasa de aplicación transversal, longitudinal y la variabilidad de la aplicación de la emulsión asfáltica en la superficie del pavimento. Mientras que el método B estima la tasa de aplicación transversal y longitudinal y la variabilidad en términos del asfalto residual.

*El inspector podrá solicitar al laboratorio encargado de control o verificación de calidad el resultado in situ de la tasa de aplicación obtenida en el ensayo según el método aplicado, para corroborarla con la tasa de dosificación seleccionada por el contratista o ingeniería de proyecto.*



**Figura 17. Ensayos para verificar uniformidad de riego y determinar la cantidad de emulsión aplicada**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

## 5.3. Preparación y superficie

### 5.3.1. Limpieza

Las buenas prácticas de ingeniería consideran la aplicación del riego de liga sobre una superficie seca y limpia, con el fin de optimizar la adherencia entre capas, y así disminuir el riesgo de fallas por deslizamiento o delaminación entre capas de mezcla asfáltica.

El área de aplicación antes de realizar el riego de liga debe estar libre de cualquier sustancia o residuo que pueda inhibir la adherencia de la emulsión. La aplicación de la emulsión asfáltica sobre una superficie con polvo o sucia podría generar que el material del

riego de liga se adhiera al polvo y no a la superficie sobre la que se coloca el riego de manera que la misma se vuelve a susceptible a deterioros prematuros.

Por otro lado, la emulsión asfáltica al adherirse al polvo es más susceptible a que se puedan presentar pérdidas de cobertura en la superficie por el arrastre de emulsión asfáltica en los neumáticos de las vagonetas, debido a la manipulación de vehículos en el área de trabajo, (National Cooperative Highway Research Program, 2018).

La humedad de la superficie es un factor que también puede comprometer la adecuada adherencia entre las capas, por lo que previo a la aplicación debe prestarse especial atención a cúmulos de agua o humedad sobre la superficie, los cuales deberán ser eliminados previo a la aplicación del riego de liga. (NCHRP, 2012).



**Figura 18. Limpieza de la superficie a intervenir con barredora mecánica**  
Fuente: LanammeUCR, 2016

*El inspector previo a la aplicación del riego de liga deberá inspeccionar que la superficie se encuentre limpia, libre de polvo, humedad o cualquier sustancia que pueda inhibir la adherencia del riego, especialmente en lugares propensos a la acumulación de polvo y humedad como lo son: esquinas, juntas y secciones donde se haya realizado perfilado.*

### **5.3.2 Cuidados en juntas y protección del entorno**

Se debe tener especial cuidado con la concentración o derrame excesivo de emulsión en secciones como juntas o bordes donde se colocarán capas asfálticas y traslapes entre un riego de liga y el próximo, ya que se podrían generar problemas de exudación de la capa asfáltica.

En las juntas transversales, es recomendable antes de iniciar un nuevo riego, colocar tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de manera que se genere una distancia suficiente para que cuando la barra de riego comience a dosificar la emulsión asfáltica, a la potencia exigida, el nuevo riego inicie con el patrón de rocío adecuado al término del papel de construcción colocado y la emulsión asfáltica previa sea retirada al levantarse el papel, evitando el traslape o exceso del material asfáltico.

Otro aspecto por el que el inspector de obra debe velar es que, previamente al riego de liga, las estructuras de la carretera o contiguas, que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, tales como banquetas, postes, barreras separadoras, entre otros, se protegerán con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección, se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en que se hallaban. (NCTRCAR, 2000)



**Figura 19. Colocación de papel en juntas**  
Fuente: [pavementinteractive.org](http://pavementinteractive.org)

*El inspector debe velar por que no se generen excesos de emulsión asfáltica en juntas transversales, bordes y en el traslape de riegos de emulsión asfáltica. En el caso de exceso o pozos de emulsión, se deberá exigir el barrido del área, eliminando los excesos generados.*

#### **5.4. Tasa de dosificación a utilizar**

Si bien la selección del tipo de emulsión y la tasa de dosificación del riego de liga no es una responsabilidad total del inspector, el mismo deberá conocer el rango de aplicación que se debe colocar, así como verificar que la tasa que se está aplicando corresponde a la señalada por el contratista o la ingeniería de proyecto.

Por lo anterior, es necesario que el inspector conozca algunos conceptos básicos sobre la tasa de dosificación del riego de liga:

- La tasa de dosificación del riego de liga puede ser especificada en función del asfalto residual, emulsión asfáltica no diluida o diluida.

- El rango de aplicación de la tasa de dosificación será definido por el tipo de superficie sobre la cual se aplique el riego de liga. Así, por ejemplo, superficies más porosas tal como una superficie perfilada, demandará una mayor cantidad de emulsión asfáltica en comparación con una capa asfáltica nueva.
- Otra de las consideraciones a tomar en cuenta en la definición de la tasa de dosificación del riego de liga es el tipo de mezcla asfáltica, debido a que las mezclas de graduación abiertas requieren tasas más altas que las mezclas densas.

A nivel nacional, el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 2010), especifica tasas de dosificación para la actividad del riego de liga entre 0,15 litros por metro cuadrado a 0,70 litros por metro cuadrado.

En el Cuadro 3 se muestran recomendaciones generales de tasas de dosificación por distintas Agencias de Transporte de Estados Unidos, para la aplicación del riego de liga según el tipo de superficie. Los rangos mostrados en la tabla corresponden a valores de referencia para que el inspector identifique diferentes tasas de aplicación según el tipo de superficie.

**Cuadro 3. Tasas de dosificación emulsiones asfálticas según tipo de superficie**

| Tipo de pavimento existente               | FHWA Tech Brief         |                         | NCHRP Report 712        |                         | NAPA QIP 128            |                         |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|   | Asfalto residual        | Diluida 1:1 con agua    | Asfalto residual        | Diluida 1:1 con agua    | Asfalto residual        | Diluida 1:1 con agua    |
|   | litros / m <sup>2</sup> | litros / m <sup>2</sup> | litros / m <sup>2</sup> | litros / m <sup>2</sup> | litros / m <sup>2</sup> | litros / m <sup>2</sup> |
| <b>Capa nueva mezcla asfáltica</b>        | 0,09 -0,23              | 0,27-0,63               | 0,16                    | 0,54                    | 0,14 -0,18              | 0,41-0,54               |
| <b>Capa de mezcla asfáltica oxidada</b>   | 0,18-0,32               | 0,54-1,0                | 0,25                    | 0,81                    | 0,18-0,27               | 0,54-0,81               |
| <b>Capa de mezcla asfáltica perfilada</b> | 0,18-0,36               | 0,54-1,09               | 0,25                    | 0,81                    | 0,14-0,23               | 0,41-0,68               |
| <b>Pavimento rígido</b>                   | 0,14-0,23               | 0,45-0,72               | 0,20                    | 0,68                    | 0,18-0,27               | 0,54-0,81               |

**Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2018**

*El inspector deberá solicitar al contratista o a la ingeniería de proyecto la tasa de dosificación a aplicar en l/m<sup>2</sup>, así como conocer si la dosificación corresponde a asfalto residual, emulsión asfáltica no diluida o diluida.*

## 5.5 Aplicación

### 5.5.1 Riego uniforme

La cobertura y la uniformidad de aplicación del riego de liga constituyen el factor preponderante para garantizar una adecuada adherencia.

Una adecuada aplicación de riego de liga es aquella que exhibe una cobertura y dosificación uniforme a lo largo de toda la capa que se desea intervenir tanto en el plano horizontal como en juntas y cortes verticales.

Como se mencionó anteriormente, existen diversos factores relacionados con el funcionamiento, calibración y mantenimiento del equipo que pueden generar aplicaciones de riegos de liga no uniformes en el área de intervención.

La no uniformidad de un riego de liga contribuye a la pérdida de resistencia por adherencia entre la capa existente y la nueva capa colocada.



*El inspector debe verificar que el riego de liga se distribuya uniformemente sobre toda el área a intervenir y en caso contrario debe procurar que se cubran las zonas con ausencia del material.*

**Figura 20. Riego de liga uniforme con cobertura total**  
**Fuente: LanammeUCR, 2016**

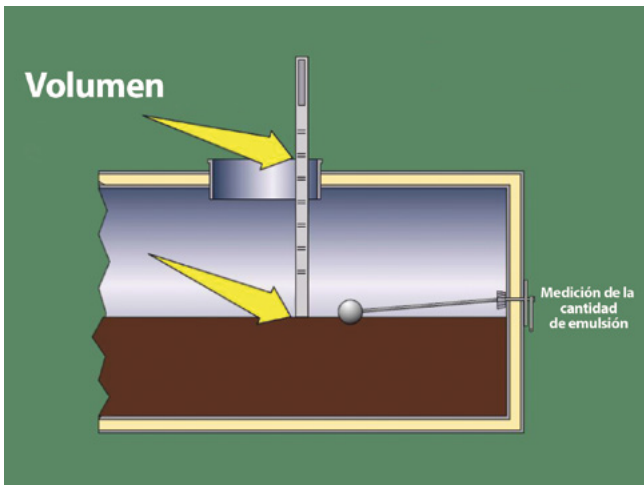
## 5.6 Cálculo de la tasa de emulsión aplicada

Como se mencionó anteriormente, el inspector puede conocer la tasa de dosificación utilizada de forma puntual mediante los ensayos anteriormente mencionados. Sin embargo, los resultados de los ensayos no dependen directamente del inspector. Es por eso que existen otros métodos para controlar la tasa aplicada, así como la cantidad de emulsión asfáltica aplicada al final de la jornada de trabajo. Los dos procedimientos principales para determinar la tasa de aplicación de emulsión asfáltica en campo, se explican a continuación.

## 1. Por volumen:

El inspector podrá determinar la tasa de dosificación aplicada en función del consumo del volumen de emulsión asfáltica en el tanque distribuidor.

La mayoría de camiones distribuidores de emulsión cuentan con un medidor volumétrico que se encuentra en la parte posterior del camión distribuidor, el mismo está conectado a una barra graduada y precalibrada que mide el volumen de emulsión en el tanque del camión, tal como se muestra en la figura a continuación.



**Figura 21. Diagrama del funcionamiento de la barra graduada y precalibrada**  
Fuente: Asphalt Institute, 2015



**Figura 22. Medidor volumétrico del tanque distribuidor**  
**Fuente: LanammeUCR, 2018**

Las mediciones de volumen se deben hacer antes y después del riego, la diferencia del volumen inicial y final será la cantidad de emulsión aplicada. Antes de realizar la medición de cantidad de material aplicado por diferencia volumétrica, se debe verificar que el tanque del camión distribuidor esté nivelado.

*Para determinar la tasa de emulsión asfáltica en  $l/m^2$ , el inspector debe conocer el ancho y el largo de la superficie en la cual se aplicará o aplicó el riego de liga, ya que el valor de volumen o peso aplicado dividido entre el área de aplicación constituyen la tasa de aplicación tal como se muestra en la siguiente fórmula.*

$$\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{\text{medición volumen inicial}(L) - \text{medición volumen final } (L)}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendida}(m)}$$

Otra forma en que el inspector puede verificar la cantidad de litros aplicados, la longitud y área de la superficie donde se aplicó la emulsión es mediante el tablero electrónico con el que cuentan algunos camiones. Para esto es importante que el inspector verifique que los contadores estén en ceros al inicio de la jornada laboral.

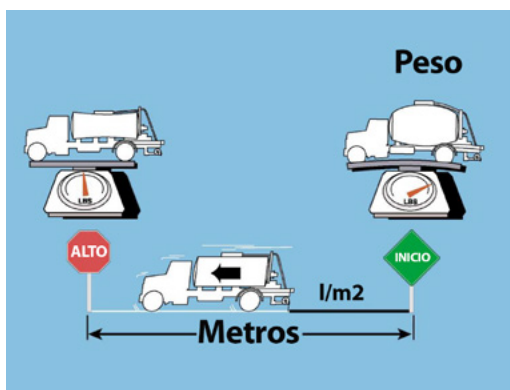


**Figura 23. Medidor volumétrico a bordo**  
Fuente: LanammeUCR, 2018

Las lecturas de volumen serán afectadas por la temperatura a la que se encuentre el material, por lo que es necesario registrar las temperaturas inicial y final para poder convertir el volumen a cualquier otra temperatura en caso de ser necesario.

## 2. Por peso:

El segundo método, menos común, consiste en pesar el camión distribuidor antes de dar inicio al riego de liga y volver a pesarlo una vez finalizado el proceso, la diferencia de pesos será la masa de emulsión aplicada.



**Figura 24. Medición de tasa de aplicación por peso**  
Fuente: Asphalt Institute, 2015

Al igual que el caso anterior, si el inspector desea conocer la tasa de emulsión asfáltica en  $l/m^2$  se debe conocer tanto el ancho como el largo de la superficie en la cual se aplicará o aplicó el riego de liga y aplicar la ecuación:

$$\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{(\text{peso inicial}(kg) - \text{peso final}(kg)) / \text{densidad } \left(\frac{kg}{m^3}\right) 1000}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendida}(m)}$$

## 5.6 Rompimiento y curado

### 5.6.1 Tiempo de rompimiento y curado

Una vez que la emulsión asfáltica es aplicada sobre la superficie, el inspector debe velar que la emulsión rompa o cure previo a la colocación de la capa asfáltica.

El inspector como mínimo debe garantizar el cumplimiento del tiempo de rompimiento de la emulsión como el necesario para iniciar la pavimentación.

Ahora bien, el tiempo de curado o rompimiento total no debe verse como una demora para la realización de la colocación de la so-

brecapa, más bien debe considerarse como una práctica correcta para disminuir el efecto de la adherencia de la emulsión del riego de liga a las llantas de la vagoneta que entra a la zona de obra.

El inspector debe conocer que existen diversos factores que pueden afectar el tiempo de rompimiento y curado de la emulsión asfáltica. Los mismos deben considerarse en el momento de la aplicación del material como lo son:

- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.
- Velocidad del viento.
- Temperatura de la superficie del pavimento donde se colocará el riego de liga.
- Temperatura de aplicación del riego de liga.
- Tasa de dosificación.
- Tipo de emulsión.
- Dilución de la emulsión

Debido a estos numerosos factores es difícil establecer un tiempo preciso para el rompimiento y curado de la emulsión.

A manera de referencia el reporte NCHRP 712 (National Cooperative Highway Research Program, 2012), define un tiempo de curado de una emulsión asfáltica entre un rango de 30 minutos a 2 horas, haciendo la salvedad que dependerá de la tasa de aplicación y condiciones ambientales como se explicó anteriormente.

*El inspector como mínimo debe garantizar el cumplimiento del tiempo de rompimiento de la emulsión como el necesario para iniciar la pavimentación.*

## 5.6.2 Arrastre de liga

El arrastre del riego de liga es un problema ocasionado en el área de trabajo por el tránsito de las llantas de las vagonetas para descargar la mezcla asfáltica a la pavimentadora o por el tránsito de vehículos, generando la pérdida del asfalto residual en la superficie donde fue aplicado el riego y comprometiendo la adherencia en la sección sin cobertura del material asfáltico. Este es un problema constructivo común en los frentes de colocación de sobrecapas asfálticas cuando no se cuenta con dispositivos de transferencia de mezcla asfáltica hacia la pavimentadora o cuando no se cuenta con un adecuado control de tránsito en obra (ver Figura 25).



**Figura 25. Arrastre riego de liga debido al tránsito de vehículos sobre la emulsión**  
Fuente: Asphalt Institute, 2014

El inspector debe conocer que el problema de arrastre de riego de liga es generado por múltiples factores entre los que se pueden mencionar:

- Tipo de emulsión
- Suciedad y humedad en el área de intervención

- Falta de tiempo suficiente para que la emulsión rompa totalmente
- Maniobras excesivas de vagonetas en el área de intervención
- Entrada de vagonetas sucias al riego de liga

En relación con el arrastre el riego de liga debe contemplar las siguientes consideraciones:

*El inspector debe sugerir que las áreas donde se haya presentado el problema de arrastre del riego de liga en forma excesiva sean corregidas, reaplicando la tasa de la emulsión asfáltica en las zonas donde se haya perdido el riego.*

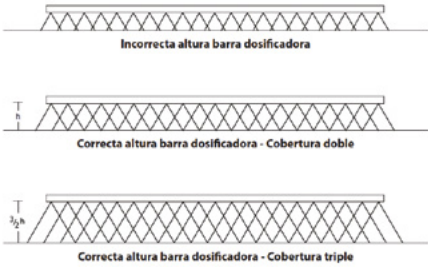

*El inspector tampoco debe permitir las maniobras excesivas de las vagonetas sobre la superficie intervenida, así como el estacionamiento sobre el área con riego de liga.*

## 6. Lista de chequeo

Se muestra a continuación una lista de chequeo que puede ser de utilidad para los inspectores de obra en la ejecución de sus labores durante la aplicación del riego de liga.

### Cuadro 4 Evaluación de prácticas constructivas durante la colocación del riego de liga

| Datos del proyecto   |              |        |
|--|--------------|--------|
| Ítem   | Resultado    |        |
| Ruta y sección de control  |              |        |
| Estación de inicio y final del tramo evaluado:   | Inicio       | Final  |
|  |              |        |
| Longitud atendida (m)  |              |        |
| Ancho promedio(m)  |              |        |
| Material utilizado   |              |        |
| Ítem   | Resultado    |        |
| Tipo de emulsión   |              |        |
| La emulsión es diluida o no  |              |        |
| Tasa de dosificación a aplicar (suministrada por ingeniero de proyecto o contratista)        |              |        |
| Temperatura de la emulsión asfáltica   |              |        |
| Calibración del equipo   |              |        |
| Ítem   | Resultado    |        |
| Camión dosificador o tanqueta  |              |        |
| Anote la marca y modelo del distribuidor de asfalto  |              |        |
| ¿Han sido calibrados todos los dispositivos de medición tales como tacómetros y termómetros? | Sí           | No     |
| ¿Están los calentadores y sistema de bombeo en buenas condiciones?                           | Sí           | No     |
| ¿Se observan fugas de emulsión asfáltica en el camión dosificador?                           | Sí           | No     |
| ¿Se utiliza el sistema de bombeo automatizado o manual?                                      | automatizado | manual |

| Barra dosificadora  |                     |    |
|---|---------------------|----|
| ¿Está limpia la barra dosificadora?   | Sí                  | No |
| ¿Está alineada la barra en forma que la aplicación sea la correcta?   | Sí                  | No |
| ¿Se usan las extensiones de las barra dosificadora y están alineadas en relación con la barra dosificadora?   | Sí                  | No |
| <p><b>Anote la altura de la barra de dosificación con respecto al suelo (cm):</b></p>  |                     |    |
| Boquillas   |                     |    |
| ¿Se dio mantenimiento el día anterior a las boquillas?  | Sí                  | No |
| ¿Están limpias las boquillas?   | Sí                  | No |
| <b>Anote el código o número de boquilla</b>   |                     |    |
| ¿La abertura de boquilla es adecuada según el riego seleccionado, (revisar en manual de camión)?  | Sí                  | No |
| ¿Están alineadas las boquillas en forma que la aplicación sea la correcta?  | Sí                  | No |
| <b>Ángulo de las boquillas</b>  | <b>Marque con X</b> |    |
|    |                     |    |



### Condición superficial y ambiental

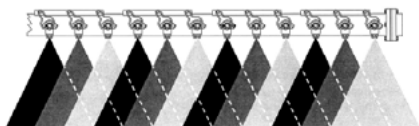
| Ítem   | Resultado |    |
|--|-----------|----|
| ¿El proyecto cuenta con la adecuada señalización de la zona de trabajo?  |           |    |
| Tipo de superficie sobre la que se coloca el riego de liga   |           |    |
| ¿La superficie donde se aplicará el riego de liga está limpia y barrida libre de polvo?                              | Sí        | No |
| ¿La superficie donde se aplicará el riego de liga está seca y libre de acumulaciones de humedad?                     | Sí        | No |
| ¿Hora en la que se aplica el riego de liga: se aplica de noche o de día?   |           |    |
| Anote la temperatura ambiente y humedad a la que se aplica el riego de liga  |           |    |
| ¿Se presentan condiciones climáticas de lluvia antes y/o durante el proceso de aplicación del riego de liga?         | Sí        | No |
| ¿Se presentan condiciones climáticas de viento durante el proceso de aplicación del material?                        | Sí        | No |
| Tramo de prueba  |           |    |
| Ítem   | Resultado |    |
| ¿Se realizó tramo de prueba?   | Sí        | No |
| ¿Se ajustaron y calibraron parámetros del camión dosificador para asegurar un riego uniforme con adecuada cobertura? | Sí        | No |

|  |                  |    |
|--|------------------|----|
| ¿Se realizaron ensayos para determinar la tasa de dosificación?  | Sí               | No |
| En caso de realizarse pruebas de laboratorio, consulte e indique la tasa de dosificación obtenida por el laboratorio   |                  |    |
| <b>Aplicación del riego de liga</b>  |                  |    |
| <b>Ítem</b>  | <b>Resultado</b> |    |
| <b>Datos del camión dosificador</b>  |                  |    |
| Anote la tasa de dosificación indicada en el tablero de control del camión en caso de que este cuente con el mismo   |                  |    |
| Anote las revoluciones del motor del camión durante el riego de liga (rpm) y presión (psi):  |                  |    |
| Anote el ancho de trabajo promedio empleado por el operario del camión   |                  |    |
| <b>Estimación de la tasa de dosificación</b>   |                  |    |
| Indique el volumen inicial del tanque de emulsión asfáltica  |                  |    |
| Indique el volumen final de la emulsión asfáltica  |                  |    |
| Indique el área total en la cual fue aplicada el riego de liga   |                  |    |
| Determine la tasa de emulsión asfáltica aplicada<br>$\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{\text{medición volumen inicial}(L) - \text{medición volumen final } (L)}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendido}(m)}$ |                  |    |
| ¿La tasa estimada coincide con la tasa registrada en el panel del camión dosificador?  | Sí               | No |

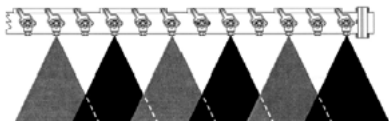
|   |    |    |
|---|----|----|
| ¿La tasa estimada coincide con la tasa sugerida por la ingeniería de proyecto o contratista?  | Sí | No |
| ¿Se realizaron ensayos en sitio para verificar la tasa de dosificación?                       | Sí | No |
| Indique la tasa de dosificación obtenida por el laboratorio en caso de realizarse los ensayos |    |    |

### Uniformidad y cobertura del riego de liga

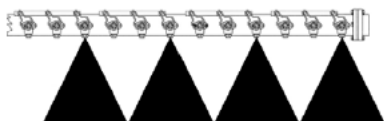
Cobertura del abanico del camión dosificador



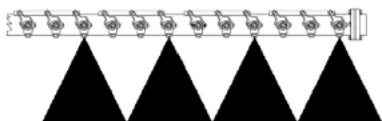
Compuesto triple



Compuesto doble



Simple



Rayado

|   |    |    |
|---|----|----|
| ¿La cobertura del riego de liga es uniforme y presenta buena cobertura?                         | Sí | No |
| Indique el porcentaje de cobertura aproximada del riego   |    |    |
| ¿Se corrigieron las zonas con poca cobertura de riego de liga?                                  | Sí | No |
| ¿Se observaron pozos o acumulaciones de emulsión asfáltica en el riego aplicado? (tomar fotos)  | Sí | No |
| En caso de haber exceso de riego de liga, ¿estos fueron eliminados?                             | Sí | No |
| ¿Se observó buena cobertura en juntas longitudinales y transversales?                           | Sí | No |
| ¿En las juntas se observó la utilización de papel para proteger el riego existente?             | Sí | No |
| <b>Rompimiento y curado del riego de liga</b>   |    |    |
| Indique el tiempo promedio entre la colocación de riego de liga y el inicio de la pavimentación |    |    |
| ¿La emulsión asfáltica rompió (cambio de coloración de café a negro)?                           | Sí | No |
| ¿Se brinda un tiempo adicional a la emulsión después del rompimiento?                           | Sí | No |
| ¿Se produce el ingreso prematuro de vagonetas al área con riego de liga antes del rompimiento?  | Sí | No |
| ¿Hay vagonetas estacionadas sobre el riego de liga?   | Sí | No |
| ¿Se observa arrastre de riego de liga en las llantas de las vagonetas?                          | Sí | No |

## 7. Ejemplos ilustrativos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la aplicación del riego de liga

### 7.1 Prácticas adecuadas



Figura 26. Ensayos para verificar que el riego sea uniforme y determinar la cantidad de emulsión aplicada



Figura 27. Limpieza de la superficie a intervenir con cepillos o barredora mecánica



Figura 28. Limpieza y buen estado del equipo



Figura 29. Selección de boquillas de acuerdo con las características del camión dosificador y la tasa de dosificación deseada



Figura 30. Orientación de boquillas colocadas en la misma dirección



Figura 31. Medición de la altura de la barra rociadora respecto a la superficie



Figura 32. La aplicación del riego de liga es uniforme y homogénea, con paredes recubiertas



Figura 33. Cobertura triple del material, re aplicación de emulsión en área donde se perdió el riego de liga



Figura 34. Adecuada cobertura en cortes de junta longitudinal



Figura 35. Eliminación del exceso de riego de liga, el excedente se debe retirar con esponjas, toallas o cepillos



Figura 36. Tiempo de curado antes de la colocación de la sobrecapa



Figura 37. Protección del camión dosificador para evitar salpicaduras de emulsión asfáltica



Figura 38. Vagonetas estacionadas fuera del riego de liga

## 7.2 Prácticas deficientes



Figura 39. Riego de liga sobre superficie sucia y empolvada



**Figura 40. Riego de liga excesivo para compensar superficie empolvada**



**Figura 41. Aplicación de riego de liga sobre superficie con grietas sin sellar**



Figura 42. Ausencia de limpieza y obstrucción de boquillas



Figura 43. Riego de liga no uniforme y sin adecuada cobertura, producto del uso de boquillas con una abertura mayor según tasa de dosificación aplicada  
Fuente: LanammeUCR, 2016



Figura 44. Ángulo de boquillas distinto entre ellas, modifica patrón de riego en borde



Figura 45. Altura de barra excesiva hasta 50 cm de altura



Figura 46. Variación de la altura a lo largo de la barra rociadora



Figura 47. La presión de rocío no es suficiente para que la expulsión de la emulsión asfáltica sea en forma de abanico. El patrón de rocío no es el mismo para todas las boquillas



**Figura 48. Cobertura no uniforme (riego de liga en rayas) producto de incorrecta altura de la barra rociadora y/o inadecuada presión del bombeo de emulsión**



**Figura 49. Riego de liga heterogéneo y sin cobertura total de la superficie**

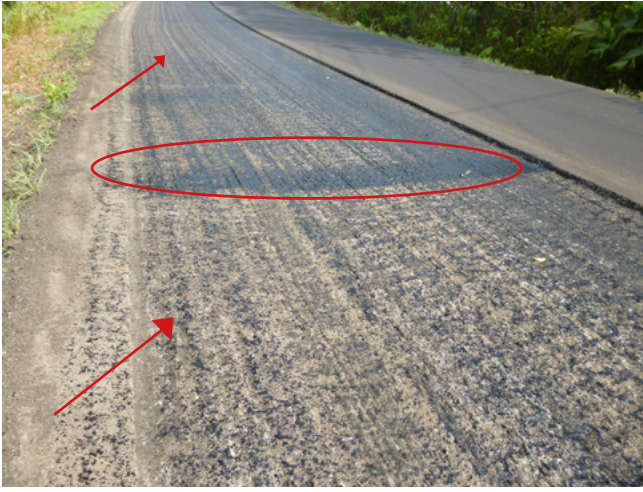


Figura 50. Patrones de riego de liga distintos en la misma sección donde se realiza intervención



Figura 51. Aplicación manual no uniforme del riego de liga. Los patrones de riego de liga son distintos en el área de aplicación



Figura 52. Tasas de aplicación de emulsión asfáltica menores a las señaladas por la ingeniería de proyecto. La cobertura del riego de liga de las áreas ensayadas es deficiente



Figura 53. Cobertura deficiente en las juntas longitudinales y transversales



Figura 54. Aplicación manual del riego de liga sin equipo de seguridad



Figura 55. Riego de liga excesivo



Figura 56. Concentración de riego de liga por traslape entre aplicaciones en tramos adyacentes



Figura 57. Derrame de emulsión asfáltica debido a fugas en la barra rociadora del camión dosificador



Figura 58. Aplicación manual de emulsión asfáltica sobre zonas con presencia de humedad y polvo



Figura 59. Vagonetas estacionadas sobre el riego de liga



Figura 60. Arrastre del riego de liga por vagonetas en la colocación de asfalto



Figura 61. Colocación de mezcla asfáltica sobre emulsión sin romper y con humedad



**Figura 62. Colocación mezcla asfáltica en emulsión sin romper**

## Referencias

- Asphalt Institute. (2008). *Basic Asphalt Emulsion Manual MS-19, Fourth Edition, USA.* Asphalt Institute. (2015). *Tack Coat Best Practices.* USA.
- Department of Transportation of California. (2009). *Tack Coat Guidelines.* State of California.
- Elizondo-Arrieta, F., Torres-Linares, P., Rodríguez-Castro, E, Aguiar-Moya, J., Loría-Salazar, L. (2017). *Evaluación de la adhesión de emulsiones asfálticas utilizada en riegos de liga para pavimentos asfálticos LM-PI-UMP-066-R1.* LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.
- Flexible Pavements of Ohio. (2012). *Technical Bulletin: Proper Tack Coat Application,* Columbus, Ohio.
- Federal Highway Administration (2005). *Guidelines for using prime and tack coats, Publication No. FHWA-CFL/TD-05-002.* U.S. Department of Transportation
- Instituto Mexicano del Transporte (2000), *Norma N-CTR-CAR-1-04-005/00, CTR. Construcción,* México.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010,* San José Costa Rica.
- Mohammad, L., Raqib, M., Huang, B. (2002). *Influence of Asphalt Tack Coat Materials on Interface Shear Strength.* Transportation Research Record, Transportation Research Board. No 1789, Washington, D.C.
- National Cooperate Highway Research Program. (2012). *NCHRP Report 712, Optimization of Tack Coat for HMA Placement,* Mohammad, et. al. Transportation Research Board Washington, D.C.
- National Cooperate Highway Research Program. (2018). *NCHRP Synthesis 516, Tack Coat Specifications, Materials, and Construction Practices,* Mohammad, et. al. Transportation Research Board Washington, D.C.
- Ulloa, A. (2012). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. Métodos y Materiales, Volumen 2,* LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, San Pedro Costa Rica.



# Unidad de Auditoría Técnica-LanammeUCR


Centro de Transferencia Tecnológica

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana /

Óscar Rodríguez Quintana. Enero, 2019.


Guía para inspectores: Aplicación de Riego de Liga

## Información de contacto

 (506) 2511-2500

 [direccion.lanamme@ucr.ac.cr](mailto:direccion.lanamme@ucr.ac.cr)

 [www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)

 (506) 2511-4440

 Código Postal: 11501-2060

## LanammeUCR

Laboratorio Nacional de  
**Materiales y Modelos Estructurales**


## Anexo 2. Sellos utilizados como método de preservación de la capa asfáltica.

| Técnica de Preservación   | Ventajas   | Desventajas   | Equipo   |
|---|--|---|--|
| <b>Sello de niebla "Fog Seal"</b><br>Es la aplicación de emulsión asfáltica, en la superficie del pavimento, con o sin arena. La emulsión es diluida para propiciar una adecuada adherencia y lograr cubrir la superficie completamente.  | Mas económicos comparados con otros tratamientos superficiales.<br>Únicamente se necesita un distribuidor para aplicar el sello.   | La vida de servicio es más corta, comparada con la de tratamientos superficiales.<br>Si se aplica en un espesor muy grueso, podría generar superficies con falta de fricción.   | El equipo necesario es un distribuidor para aplicar la emulsión esparciéndola y un distribuidor de arena (si se aplica arena).   |
| <b>Sello de arena "Sand Seal"</b><br>Es la aplicación de emulsión asfáltica y una cubierta de arena limpia o agregado fino. Un compactador de "llantas de hule", es usado después de aplicar la arena, posteriormente el exceso se remueve de la superficie.  | Proporciona generalmente una capa más gruesa en la superficie del pavimento comparado con el "fog seal", dando como resultado una mayor vida de servicio.<br>En superficies con agregados pulidos, puede proporcionar una resistencia mayor ante el deslizamiento.                                 | Solamente se llenan las grietas finas y las grietas más gruesas tienden a reaparecer en un período aproximadamente de un año.   | El equipo es un distribuidor para esparcir la emulsión del asfalto y un distribuidor para esparcir la cubierta de arena.<br>Se emplea un rodillo "llanta de hule" para compactar y luego una barredora para retirar el exceso de arena.  |
| <b>Sello de barrido "Scrub Seal"</b><br>Consiste en arrastrar un mecanismo de barrido (rastrillo) sobre la superficie del pavimento, luego de que ha aplicado la emulsión asfáltica. Una capa de arena o agregado se aplica sobre la emulsión, seguida de otro arrastre del mecanismo de barrido (rastrillo), forzando a la arena a unirse a la emulsión y rellenar las fisuras y los vacíos. | El método de sellado de barrido puede rellenar fisuras de hasta 12.7 mm (0.5 pulg) de ancho, que normalmente se han rellenado con sellador de grietas.   | Muchos contratistas están poco familiarizados con el método de sellado de barrido. Se necesitan realizar pruebas para determinar cuál emulsión, normal o modificada con polímero, trabaja con los rastrillos.   | El equipo es el mismo que se utiliza para la colocación de los tratamientos superficiales, con la excepción del dispositivo de barrido que se necesita luego de que la emulsión y el agregado han sido aplicados.  |
| <b>Tratamientos superficiales "Chip Seal"</b><br>Es la aplicación de asfalto seguido por una cubierta de agregado. El asfalto que se aplica generalmente es en caliente, un asfalto "rebajado", o un asfalto emulsionado. Inmediatamente después de que el ligante se aplica, el agregado se coloca sobre el asfalto, antes de que el ligante caliente se enfríe o que la emulsión rompa.     | Es la técnica más utilizada, debido a que la ruta se puede abrir al tránsito de baja velocidad, después de la aplicación del agregado.   | Requiere del cuidado constante y ajuste frecuente de la tasa de aplicación del agregado, y especialmente del asfalto, para reducir al mínimo la pérdida de agregados, la exudación, etc.<br>Los parabrisas de los vehículos se pueden dañar por el agregado suelto que queda antes de que se quite el exceso, y además se genera mucho polvo durante el proceso de barrido. | Un distribuidor esparce la emulsión asfáltica, el ligante asfáltico, o el asfalto rebajado.<br>Un distribuidor coloca el agregado.<br>Un compactador de "llanta de hule" reorienta y/o compacta las partículas de agregado.<br>Una barredora mecánica para quitar el exceso de agregado. |
| <b>Lechada asfáltica "Slurry Seal"</b><br>Es una mezcla de emulsión asfáltica de rompimiento lento o acelerado, agregado fino, relleno mineral, aditivos y agua.  | Provee una superficie más uniforme comparada con un tratamiento "chip seal", con todas las ventajas asociadas a esta condición, por ejemplo confort, seguridad y disminución de la posibilidad de ocurrencia de otros deterioros.  | El equipo para aplicarlo no es tan común como los equipos para la aplicación de "chip seal", debido a que es un equipo especializado para la fabricación (mezclado y colocación).   | Para todas las aplicaciones es necesario un camión especial para mezclar y para aplicar la mezcla es necesario el uso de un aditamento especial llamado "spreader box".  |
| <b>Sello de capa "Cape Seal"</b><br>Es un sello que involucra la colocación de un "chip seal". Este proceso se desarrolló en la provincia de Cape en Sudáfrica y de ahí proviene su nombre.   | Aumenta la vida de un "chip seal", recubriendo mejor las partículas de agregado y protegiendo la superficie.<br>Disminuye la posibilidad de desprendimiento de agregados y crea una superficie más densa.  | El equipo para el tratamiento incluye tanto el equipo para la construcción del "chip seal" como el equipo para la construcción de "slurry seal".  | Se necesita el equipo mencionado para la construcción del "chip seal" y para el "slurry seal".   |
| <b>Microcapas "Microsurfacing"</b><br>Es similar a un "slurry seal", sin embargo, utiliza una emulsión modificada con polímeros, mezclada con agregado quebrado, relleno mineral (cemento, cal, polvo de piedra caliza, cenizas volantes), agua, y aditivos. Los aditivos influyen en el tiempo de mezclado y de curado de la mezcla.   | Se puede colocar en una capa más gruesa que un "slurry seal" y, por lo tanto, se puede utilizar para llenar roderas y corregir problemas menores de nivelación.<br>Tiene un tiempo de curado menor que un slurry seal, por lo tanto, el tránsito se puede abrir en un período de tiempo más corto. | Requiere equipo especial que es más pesado y más robusto que una máquina mezcladora para "slurry seal".<br>El costo es más alto que un tratamiento "slurry seal" ó "chip seal".   | Se utiliza una máquina autopropulsada especial.  |
| <b>Recubrimiento para pavimentos "Pavement dressing"</b><br>El recubrimiento para pavimentos es de emulsiones asfálticas o brea de carbón (coal tar), o una combinación de ambos. Estos pueden incluir rejuvenecedores y una variedad de rellenos, tales como fibras o rellenos minerales.  | Puede ser aplicado en pequeñas cantidades, en accesos o caminos peatonales.<br>La superficie tratada es lisa similar a la lechada asfáltica.   | Cuando se compara esta técnica con otros tipos de tratamientos de superficie, no resulta tan efectiva desde el punto de vista de costo.   | No requiere equipo especial para su construcción.  |


Fuente.(Jiménez et al., 2009)

Anexo 1. Resultado de los ensayos realizados en cada uno de los proyectos analizados.

**Resultado de los realizados en el proyecto Esparza, Calle Artieda.**

| Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.   |               | Cheques de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |      |                   |      |                        |  |  |  |  |  |
|--|---------------|---|------|-------------------|------|------------------------|--|--|--|--|--|
|  |               |   |      |                   |      |                        |  |  |  |  |  |
| Número de Prueba   | Ubicación     | Lectura Densímetro                                  |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |  |  |  |  |  |
|  |               | No.1  | No.2 | No.1              | No.2 |                        |  |  |  |  |  |
| 1  | Calle Artieda | 2 291   | N.A  | 93,5              | N.A  | 93,5                   |  |  |  |  |  |
| 2  |               | 2 260   | N.A  | 92,2              | N.A  | 92,2                   |  |  |  |  |  |
| 3  |               | 2 324   | N.A  | 94,9              | N.A  | 94,9                   |  |  |  |  |  |
| 4  |               | 2 338   | N.A  | 95,4              | N.A  | 95,4                   |  |  |  |  |  |
| 5  |               | 2 265   | N.A  | 92,4              | N.A  | 92,4                   |  |  |  |  |  |
| 6  |               | 2 260   | N.A  | 92,2              | N.A  | 92,2                   |  |  |  |  |  |
| 7  |               | 2 278   | N.A  | 93,0              | N.A  | 93,0                   |  |  |  |  |  |
| 8  |               | 2 271   | N.A  | 92,7              | N.A  | 92,7                   |  |  |  |  |  |
| 9  |               | 2 269   | N.A  | 92,6              | N.A  | 92,6                   |  |  |  |  |  |
| 10   |               | 2 260   | N.A  | 92,2              | N.A  | 92,2                   |  |  |  |  |  |


  


| Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.   |                  | Análisis de Núcleos de Asfalto (MB-13) |      |               |                    |               |            |       |                               |                     |               |                 |                |        |                |
|--|------------------|--|------|---------------|--------------------|---------------|------------|-------|-------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|----------------|--------|----------------|
|  |                  |  |      |               |                    |               |            |       |                               |                     |               |                 |                |        |                |
| Núcleo Número  | Fecha Colocación | Localización                           | Lado | Peso Seco (g) | Peso SSS final (g) | Peso Simarido | Diferencia | Gbs   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | % Absorción de Agua | Espesor Campo | Espesor Cortado | Máxima Teórica | Vacíos | % Compactación |
| 7  | 2023-09-30       | CALLE ARTIEDA                          | LI   | 935,0         | 939,9              | 525,9         | 414,0      | 2,258 | 2292                          | 1,18                | 60            | 53              | 2,450          | 7,8    | 92,2           |
| 8  | 2023-09-30       | CALLE ARTIEDA                          | LD   | 1041,0        | 1043,6             | 592,0         | 451,6      | 2,305 | 2299                          | 0,58                | 70            | 60              | 2,450          | 5,9    | 94,1           |
| 9  | 2023-09-30       | CALLE ARTIEDA                          | LI   | 1106,2        | 1108,0             | 631,1         | 476,9      | 2,320 | 2313                          | 0,38                | 62            | 61              | 2,450          | 5,3    | 94,7           |

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 6,32           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,94           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pasillas                              | 2,359          | ****   | Dis. 2,342     |
| Máxima Teórica                            | 2,450          | ****   | Dis. 2,440     |
| Vacíos                                    | 3,7            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 13,9           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 73             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,029          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva                     | 2,684          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,56           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,47           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,4            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,579          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Resultado de los realizados al proyecto Esparza, San Juan Grande.**

|  <b>Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.</b><br>Chequeos de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |                       |                    |      |                   |      |                        |
|---|-----------------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|   |                       |                    |      |                   |      |                        |
| Número de Prueba  | Ubicación             | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|   |                       | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1   | Calle San Juan Grande | 2 285              | N.A  | 93,0              | N.A  | 93,0                   |
| 2   |                       | 2 289              | N.A  | 93,2              | N.A  | 93,2                   |
| 3   |                       | 2 307              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 4   |                       | 2 293              | N.A  | 93,4              | N.A  | 93,4                   |
| 5   |                       | 2 300              | N.A  | 93,6              | N.A  | 93,6                   |
| 6   |                       | 2 305              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 7   |                       | 2 298              | N.A  | 93,6              | N.A  | 93,6                   |
| 8   |                       | 2 295              | N.A  | 93,4              | N.A  | 93,4                   |
| 9   |                       | 2 294              | N.A  | 93,4              | N.A  | 93,4                   |
| 10  |                       | 2 310              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 11  |                       | 2 315              | N.A  | 94,3              | N.A  | 94,3                   |

|  <b>Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.</b><br>Chequeos de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |                       |                    |      |                   |      |                        |
|---|-----------------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|   |                       |                    |      |                   |      |                        |
| Número de Prueba  | Ubicación             | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|   |                       | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1   | Calle San Juan Grande | 2 269              | N.A  | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 2   |                       | 2 256              | N.A  | 92,1              | N.A  | 92,1                   |
| 3   |                       | 2 261              | N.A  | 92,3              | N.A  | 92,3                   |
| 4   |                       | 2 249              | N.A  | 91,8              | N.A  | 91,8                   |
| 5   |                       | 2 264              | N.A  | 92,4              | N.A  | 92,4                   |
| 6   |                       | 2 269              | N.A  | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 7   |                       | 2 286              | N.A  | 93,3              | N.A  | 93,3                   |
| 8   |                       | 2 276              | N.A  | 92,9              | N.A  | 92,9                   |





| Núcleo Número | Fecha Colocación | Localización    | Lado | Peso Seco (g) | Peso SSS final (g) | Peso Sumergido | Diferencia | Gbs   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | % Absorción de Agua | Espesor Campo | Espesor Cortado | Máxima Teórica | Vacios | % Compactación |
|---------------|------------------|-----------------|------|---------------|--------------------|----------------|------------|-------|-------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|----------------|--------|----------------|
| 1             | 2023-10-02       | SAN JUAN GRANDE | LI   | 981,4         | 985,4              | 555,0          | 430,4      | 2,280 | 2274                          | 0,93                | 60            | 55              | 2,456          | 7,2    | 92,8           |
| 2             | 2023-10-02       | SAN JUAN GRANDE | LD   | 1209,0        | 1212,1             | 690,3          | 521,8      | 2,317 | 2310                          | 0,59                | 75            | 65              | 2,456          | 5,7    | 94,3           |
| 3             | 2023-10-02       | SAN JUAN GRANDE | LI   | 955,3         | 959,6              | 537,0          | 422,6      | 2,261 | 2254                          | 1,02                | 60            | 57              | 2,456          | 8,0    | 92,0           |

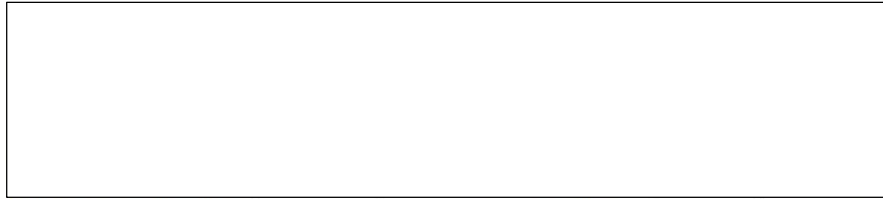
| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | <b>5,95</b>    | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | <b>5,62</b>    | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pasillas                              | <b>2,352</b>   | ****   | Dis.2.342      |
| Máxima Teórica                            | <b>2,456</b>   | ****   | Dis. 2.440     |
| Vacios                                    | <b>4,2</b>     | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | <b>13,8</b>    | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | <b>69</b>      | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | <b>1,029</b>   | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva                     | <b>2,677</b>   | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | <b>1,54</b>    | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | <b>4,17</b>    | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | <b>1,4</b>     | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | <b>2,574</b>   | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

## Resultado de los ensayos realizados en el proyecto Vara Blanca, La Legua.

|  <b>Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.</b><br>Chequeos de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |           |                    |      |                   |      |                        |
|---|-----------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|   |           |                    |      |                   |      |                        |
| Número de Prueba  | Ubicación | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|   |           | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1   | Est.9+945 | 2 318              | N.A  | 94,4              | N.A  | 94,4                   |
| 2   | Est.9+900 | 2 283              | N.A  | 93,0              | N.A  | 93,0                   |
| 3   | Est.9+850 | 2 300              | N.A  | 93,7              | N.A  | 93,7                   |
| 4   | Est.9+800 | 2 290              | N.A  | 93,3              | N.A  | 93,3                   |
| 5   | Est.9+750 | 2 285              | N.A  | 93,1              | N.A  | 93,1                   |
| 6   | Est.9+725 | 2 276              | N.A  | 92,7              | N.A  | 92,7                   |
| 7   | Est.9+700 | 2 303              | N.A  | 93,8              | N.A  | 93,8                   |
| 8   | Est.9+925 | 2 288              | N.A  | 93,2              | N.A  | 93,2                   |
| 9   | Est.9+875 | 2 281              | N.A  | 92,9              | N.A  | 92,9                   |
| 10  | Est.9+775 | 2 286              | N.A  | 93,1              | N.A  | 93,1                   |

|  <b>Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.</b><br>Chequeos de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |                        |                        |       |                   |      |                        |
|---|------------------------|------------------------|-------|-------------------|------|------------------------|
|   |                        |                        |       |                   |      |                        |
| Número de Prueba  | Ubicación              | Lectura Densímetro     |       | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|   |                        | No.1                   | No.2  | No.1              | No.2 |                        |
| 1   | Est. 9+670 a Est.9+500 | 2 268                  | N.A   | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 2   |                        | 2 278                  | N.A   | 93,0              | N.A  | 93,0                   |
| 3   |                        | 2 267                  | N.A   | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 4   |                        | 2 254                  | N.A   | 92,0              | N.A  | 92,0                   |
| 5   |                        | 2 324                  | N.A   | 94,9              | N.A  | 94,9                   |
| 6   |                        | 2 271                  | N.A   | 92,7              | N.A  | 92,7                   |
| 7   |                        | 2 272                  | N.A   | 92,8              | N.A  | 92,8                   |
| 8   |                        | 2 286                  | N.A   | 93,3              | N.A  | 93,3                   |
| 9   |                        | 2 312                  | N.A   | 94,4              | N.A  | 94,4                   |
| 10  |                        | 2 365                  | N.A   | 96,6              | N.A  | 96,6                   |
| 11  |                        | 2 301                  | N.A   | 94,0              | N.A  | 94,0                   |
| 12  |                        | 2 281                  | N.A   | 93,1              | N.A  | 93,1                   |
| 13  |                        | 2 360                  | N.A   | 96,4              | N.A  | 96,4                   |
| 14  |                        | 2 279                  | N.A   | 93,1              | N.A  | 93,1                   |
| 15  |                        | 2 229                  | N.A   | 91,0              | N.A  | 91,0                   |
| 16  |                        | 2 252                  | N.A   | 92,0              | N.A  | 92,0                   |
| 17  |                        | 2 315                  | N.A   | 94,5              | N.A  | 94,5                   |
| 18  |                        | 2 296                  | N.A   | 93,8              | N.A  | 93,8                   |
| 19  |                        | 2 358                  | N.A   | 96,3              | N.A  | 96,3                   |
| 20  |                        | 2 251                  | N.A   | 91,9              | N.A  | 91,9                   |
| 21  |                        | Est. 9+450 a Est.9+350 | 2 159 | N.A               | 88,2 | N.A                    |
| 22  | 2 167                  |                        | N.A   | 88,5              | N.A  | 88,5                   |
| 23  | 2 190                  |                        | N.A   | 89,4              | N.A  | 89,4                   |
| 24  | 2 210                  |                        | N.A   | 90,2              | N.A  | 90,2                   |
| 25  | 2 205                  |                        | N.A   | 90,0              | N.A  | 90,0                   |
| 26  | 2 310                  |                        | N.A   | 94,3              | N.A  | 94,3                   |
| 27  | Est.9+975 a Est.10+000 |                        | 2 252 | N.A               | 92,0 | N.A                    |
| 28  |                        | 2 245                  | N.A   | 91,7              | N.A  | 91,7                   |



| Número de Prueba | Ubicación             | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|------------------|-----------------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|                  |                       | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1                | Est.9+129 a Est.9+024 | 2 338              | N.A  | 95,2              | N.A  | 95,2                   |
| 2                |                       | 2 295              | N.A  | 93,4              | N.A  | 93,4                   |
| 3                |                       | 2 259              | N.A  | 92,0              | N.A  | 92,0                   |
| 4                |                       | 2 308              | N.A  | 94,0              | N.A  | 94,0                   |
| 5                |                       | 2 308              | N.A  | 94,0              | N.A  | 94,0                   |
| 6                |                       | 2 380              | N.A  | 96,9              | N.A  | 96,9                   |
| 7                |                       | 2 311              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 8                |                       | 2 334              | N.A  | 95,0              | N.A  | 95,0                   |
| 9                |                       | 2 307              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 10               |                       | 2 306              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 11               |                       | 2 299              | N.A  | 93,6              | N.A  | 93,6                   |
| 12               |                       | 2 257              | N.A  | 91,9              | N.A  | 91,9                   |
| 13               |                       | 2 285              | N.A  | 93,0              | N.A  | 93,0                   |
| 14               |                       | 2 227              | N.A  | 90,7              | N.A  | 90,7                   |
| 15               |                       | 2 291              | N.A  | 93,3              | N.A  | 93,3                   |
| 16               |                       | 2 328              | N.A  | 94,8              | N.A  | 94,8                   |
| 17               |                       | 2 279              | N.A  | 92,8              | N.A  | 92,8                   |
| 18               |                       | 2 336              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 19               |                       | 2 298              | N.A  | 93,6              | N.A  | 93,6                   |
| 20               |                       | 2 280              | N.A  | 92,8              | N.A  | 92,8                   |



| Número de Prueba | Ubicación | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|------------------|-----------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|                  |           | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1                | Est.8+616 | 2 287              | N.A  | 93,0              | N.A  | 93,0                   |
| 2                |           | 2 256              | N.A  | 91,7              | N.A  | 91,7                   |
| 3                |           | 2 279              | N.A  | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 4                |           | 2 348              | N.A  | 95,4              | N.A  | 95,4                   |
| 5                |           | 2 252              | N.A  | 91,5              | N.A  | 91,5                   |
| 6                |           | 2 320              | N.A  | 94,3              | N.A  | 94,3                   |
| 7                |           | 2 256              | N.A  | 91,7              | N.A  | 91,7                   |
| 8                | Est.8+700 | 2 327              | N.A  | 94,6              | N.A  | 94,6                   |
| 9                |           | 2 379              | N.A  | 96,7              | N.A  | 96,7                   |
| 10               |           | 2 292              | N.A  | 93,2              | N.A  | 93,2                   |
| 11               | Est.8+715 | 2 271              | N.A  | 92,3              | N.A  | 92,3                   |
| 12               |           | 2 301              | N.A  | 93,5              | N.A  | 93,5                   |
| 13               | Est.9+024 | 2 255              | N.A  | 91,7              | N.A  | 91,7                   |
| 14               |           | 2 307              | N.A  | 93,8              | N.A  | 93,8                   |
| 15               |           | 2 305              | N.A  | 93,7              | N.A  | 93,7                   |
| 16               |           | 2 228              | N.A  | 90,6              | N.A  | 90,6                   |
| 17               | Est.9+000 | 2 310              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 18               |           | 2 250              | N.A  | 91,5              | N.A  | 91,5                   |
| 19               |           | 2 238              | N.A  | 91,0              | N.A  | 91,0                   |
| 20               |           | 2 273              | N.A  | 92,4              | N.A  | 92,4                   |
| 21               |           | 2 270              | N.A  | 92,3              | N.A  | 92,3                   |
| 22               | Est.8+900 | 2 337              | N.A  | 95,0              | N.A  | 95,0                   |
| 23               |           | 2 306              | N.A  | 93,7              | N.A  | 93,7                   |
| 24               |           | 2 330              | N.A  | 94,7              | N.A  | 94,7                   |
| 25               |           | 2 346              | N.A  | 95,4              | N.A  | 95,4                   |
| 26               |           | 2 352              | N.A  | 95,6              | N.A  | 95,6                   |
| 27               | Est.8+950 | 2 314              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 28               |           | 2 321              | N.A  | 94,3              | N.A  | 94,3                   |
| 29               |           | 2 279              | N.A  | 92,6              | N.A  | 92,6                   |
| 30               | Est.8+800 | 2 373              | N.A  | 96,5              | N.A  | 96,5                   |
| 31               |           | 2 286              | N.A  | 92,9              | N.A  | 92,9                   |
| 32               | Est.8+750 | 2 301              | N.A  | 93,5              | N.A  | 93,5                   |
| 33               |           | 2 253              | N.A  | 91,6              | N.A  | 91,6                   |
| 34               |           | 2 290              | N.A  | 93,1              | N.A  | 93,1                   |
| 35               |           | 2 245              | N.A  | 91,3              | N.A  | 91,3                   |
| 36               | Est.8+700 | 2 314              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 37               |           | 2 331              | N.A  | 94,8              | N.A  | 94,8                   |
| 38               |           | 2 271              | N.A  | 92,3              | N.A  | 92,3                   |
| 39               |           | 2 336              | N.A  | 95,0              | N.A  | 95,0                   |
| 40               |           | 2 333              | N.A  | 94,8              | N.A  | 94,8                   |

| Número de Prueba | Ubicación       | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|------------------|-----------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|                  |                 | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1                | Est.8+825       | 2 340              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 2                |                 | 2 331              | N.A  | 94,8              | N.A  | 94,8                   |
| 3                |                 | 2 274              | N.A  | 92,4              | N.A  | 92,4                   |
| 4                | Est.8+875       | 2 340              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 5                |                 | 2 340              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 6                |                 | 2 326              | N.A  | 94,6              | N.A  | 94,6                   |
| 7                |                 | 2 316              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 8                |                 | 2 244              | N.A  | 91,2              | N.A  | 91,2                   |
| 9                |                 | 2 281              | N.A  | 92,7              | N.A  | 92,7                   |
| 10               |                 | 2 314              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 11               |                 | 2 324              | N.A  | 94,5              | N.A  | 94,5                   |
| 12               | 2 265           | N.A                | 92,1 | N.A               | 92,1 |                        |
| 13               | Cheques Previos | 2 283              | N.A  | 92,8              | N.A  | 92,8                   |
| 14               |                 | 2 259              | N.A  | 91,8              | N.A  | 91,8                   |
| 15               |                 | 2 233              | N.A  | 90,8              | N.A  | 90,8                   |
| 16               |                 | 2 242              | N.A  | 91,1              | N.A  | 91,1                   |
| 17               |                 | 2 237              | N.A  | 90,9              | N.A  | 90,9                   |

| Núcleo Número | Fecha Colocación | Localización | Lado | Peso Seco (g) | Peso SIS Inal (g) | Peso Sumergido | Diferencia | Gbs   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | % Absorción de Agua | Espeor Campo | Espeor Cofado | Máxima Teórica | Vaciós | % Compactación |
|---------------|------------------|--------------|------|---------------|-------------------|----------------|------------|-------|-------------------------------|---------------------|--------------|---------------|----------------|--------|----------------|
| 1             | 2023-07-07       | EST 9+740    | LI   | 1296,0        | 1297,6            | 747,3          | 550,3      | 2,355 | 2348                          | 0,29                | 80           | 70            | 2,459          | 4,2    | 95,8           |
| 2             | 2023-07-07       | EST 9+720    | LD   | 960,7         | 965,6             | 545,1          | 418,5      | 2,296 | 2289                          | 0,69                | 65           | 50            | 2,459          | 6,6    | 93,4           |
| 3             | 2023-07-07       | EST 9+900    | LI   | 922,8         | 927,4             | 526,4          | 401,0      | 2,301 | 2295                          | 1,15                | 65           | 50            | 2,459          | 6,4    | 93,6           |
| 4             | 2023-07-07       | EST 9+680    | LC   | 785,2         | 789,4             | 447,1          | 342,3      | 2,294 | 2287                          | 1,23                | 55           | 43            | 2,459          | 6,7    | 93,3           |
| 5             | 2023-07-07       | EST 9+860    | LI   | 1045,6        | 1049,0            | 597,1          | 451,9      | 2,314 | 2307                          | 0,75                | 65           | 57            | 2,459          | 5,9    | 94,1           |
| 6             | 2023-07-07       | EST 9+800    | LD   | 960,4         | 966,2             | 543,4          | 422,8      | 2,272 | 2265                          | 1,37                | 60           | 55            | 2,459          | 7,6    | 92,4           |
| 7             | 2023-07-07       | EST 9+760    | LI   | 1487,8        | 1494,6            | 843,5          | 651,1      | 2,285 | 2278                          | 1,04                | 95           | 80            | 2,459          | 7,1    | 92,9           |
| 8             | 2023-07-07       | EST 9+740    | LD   | 1215,9        | 1220,7            | 694,5          | 526,2      | 2,311 | 2304                          | 0,91                | 80           | 67            | 2,459          | 6,0    | 94,0           |
| 9             | 2023-07-07       | EST 9+720    | LI   | 1060,7        | 1064,9            | 605,6          | 459,3      | 2,309 | 2303                          | 0,91                | 65           | 60            | 2,459          | 6,1    | 93,9           |
| 10            | 2023-07-07       | EST 9+700    | LD   | 917,2         | 924,5             | 525,0          | 399,5      | 2,296 | 2289                          | 1,83                | 60           | 55            | 2,459          | 6,6    | 93,4           |

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 6,10           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,75           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas                             | 2,355          | ****   | Dis. 2.350     |
| Máxima Teórica                            | 2,459          | ****   | Dis. 2.448     |
| Vacios                                    | 4,2            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 14,0           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 70             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,035          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva                     | 2,684          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,54           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,30           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,4            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,581          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

**Ensayos realizados en el proyecto Cutrís, San Carlos.**

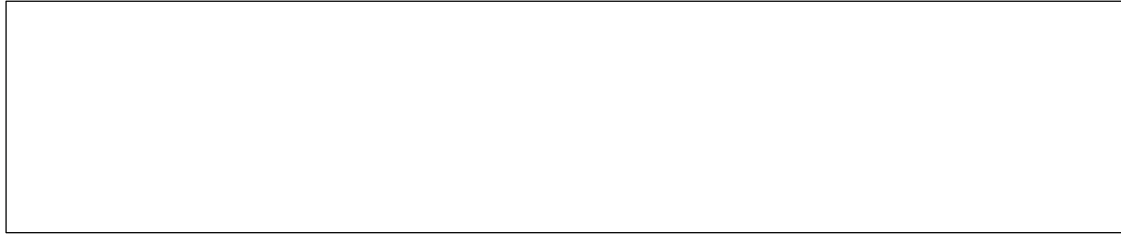


*Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A.*

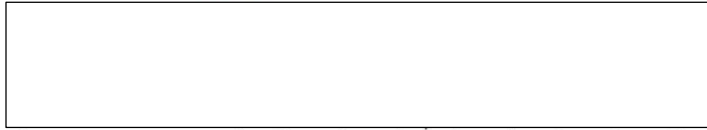
**Cheques de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20)**



| Número de Prueba | Ubicación  | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|------------------|------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|                  |            | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1                | Est. 4+000 | 2 330              | N.A  | 94,4              | N.A  | 94,4                   |
| 2                | Est. 3+950 | 2 318              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 3                | Est. 3+900 | 2 346              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 4                | Est. 3+850 | 2 334              | N.A  | 94,6              | N.A  | 94,6                   |
| 5                | Est. 3+800 | 2 333              | N.A  | 94,5              | N.A  | 94,5                   |
| 6                | Est. 3+750 | 2 354              | N.A  | 95,4              | N.A  | 95,4                   |
| 7                | Est. 3+700 | 2 322              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 8                | Est. 3+650 | 2 331              | N.A  | 94,4              | N.A  | 94,4                   |
| 9                | Est. 3+600 | 2 300              | N.A  | 93,2              | N.A  | 93,2                   |
| 10               | Est. 3+550 | 2 326              | N.A  | 94,2              | N.A  | 94,2                   |
| 11               | Est. 3+500 | 2 322              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 12               | Est. 3+450 | 2 333              | N.A  | 94,5              | N.A  | 94,5                   |



| Número de Prueba | Ubicación  | Lectura Densímetro |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|------------------|------------|--------------------|------|-------------------|------|------------------------|
|                  |            | No.1               | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1                | Est. 3+400 | 2 343              | N.A  | 95,1              | N.A  | 95,1                   |
| 2                | Est. 3+350 | 2 296              | N.A  | 93,1              | N.A  | 93,1                   |
| 3                | Est. 3+300 | 2 354              | N.A  | 95,5              | N.A  | 95,5                   |
| 4                | Est. 3+250 | 2 320              | N.A  | 94,1              | N.A  | 94,1                   |
| 5                | Est. 3+200 | 2 310              | N.A  | 93,7              | N.A  | 93,7                   |
| 6                | Est. 3+150 | 2 307              | N.A  | 93,6              | N.A  | 93,6                   |
| 7                | Est. 3+100 | 2 339              | N.A  | 94,9              | N.A  | 94,9                   |
| 8                | Est. 3+050 | 2 316              | N.A  | 94,0              | N.A  | 94,0                   |
| 9                | Est. 2+950 | 2 306              | N.A  | 93,5              | N.A  | 93,5                   |
| 10               | Est. 2+950 | 2 315              | N.A  | 93,9              | N.A  | 93,9                   |
| 11               | Est. 2+900 | 2 358              | N.A  | 95,7              | N.A  | 95,7                   |
| 12               | Est. 2+850 | 2 349              | N.A  | 95,3              | N.A  | 95,3                   |
| 13               | Est. 2+830 | 2 335              | N.A  | 94,7              | N.A  | 94,7                   |



| Núcleo Número | Fecha Colocación | Localización | Lado | Peso Seco (g) | Peso 555 final (g) | Peso Sumergido (g) | Diferencia | Gbs   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | % Absorción de Agua | Espesor Campo (mm) | Espesor Cortada (mm) | Máxima Teórica | Vacios | % Compactación |
|---------------|------------------|--------------|------|---------------|--------------------|--------------------|------------|-------|-------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------|----------------|
| 1             | 2023-07-05       | 3+900        | LD   | 669,9         | 672,0              | 377,8              | 294,2      | 2,277 | 2,270                         | 0,71                | 40                 | 39                   | 2,468          | 7,7    | 92,3           |
| 2             | 2023-07-05       | 3+600        | LI   | 664,1         | 665,4              | 376,9              | 288,5      | 2,302 | 2,295                         | 0,45                | 40                 | 38                   | 2,468          | 6,7    | 93,3           |
| 3             | 2023-07-06       | 3+300        | LD   | 748,3         | 749,4              | 427,6              | 321,8      | 2,325 | 2,318                         | 0,34                | 42                 | 40                   | 2,465          | 5,7    | 94,3           |
| 4             | 2023-07-06       | 3+000        | LI   | 903,1         | 904,7              | 519,7              | 385,0      | 2,346 | 2,339                         | 0,42                | 50                 | 45                   | 2,465          | 4,8    | 95,2           |

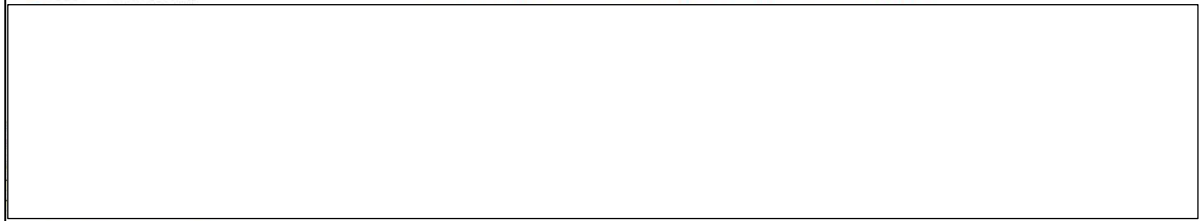
| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 6,34           | %      | 5,65%-6,78%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,96           | %      | 5,35%-6,35%    |
| Gbs Pastillas                             | 2,368          | ****   | ****           |
| Máxima Teórica                            | 2,462          | ****   | ****           |
| Vacios                                    | 3,8            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 14,79          | %      | Min. 13 %      |
| VFA                                       | 74,19          | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,031          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Efectiva                     | 2,699          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,26           | %      | ****           |
| Asfalto Efectivo                          | 4,78           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,13           | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,613          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

## Ensayos realizados en el proyecto de Monte Verde.

| INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS                      |           | Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A. |      |                   |      |                        |
|--|-----------|--|------|-------------------|------|------------------------|
| Chequeos de Compactación de Mezcla Asfáltica (MB-20) |           |  |      |                   |      |                        |
|  |           |  |      |                   |      |                        |
| Número de Prueba                                     | Ubicación | Lectura Densímetro                       |      | % de Compactación |      | Compactación Reportada |
|  |           | No.1                                     | No.2 | No.1              | No.2 |                        |
| 1  | Est.1+000 | 2 286                                    | N.A  | 92,8              | N.A  | 92,8                   |
| 2  | Est.0+050 | 2 288                                    | N.A  | 92,9              | N.A  | 92,9                   |
| 3  | Est.1+100 | 2 329                                    | N.A  | 94,6              | N.A  | 94,6                   |
| 4  | Est.1+150 | 2 311                                    | N.A  | 93,8              | N.A  | 93,8                   |
| 5  | Est.1+200 | 2 383                                    | N.A  | 96,8              | N.A  | 96,8                   |
| 6  | Est.1+250 | 2 295                                    | N.A  | 93,2              | N.A  | 93,2                   |
| 7  | Est.1+300 | 2 272                                    | N.A  | 92,2              | N.A  | 92,2                   |

| INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS        |                  | Ingeniería Técnica de Proyectos ITP S.A. |      |                     |                             |                               |              |              |                               |                     |                    |                      |                |        |                |
|--|------------------|--|------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------|----------------|
| Análisis de Núcleos de Asfalto (MB-13) |                  |  |      |                     |                             |                               |              |              |                               |                     |                    |                      |                |        |                |
|  |                  |  |      |                     |                             |                               |              |              |                               |                     |                    |                      |                |        |                |
| Núcleo Número                          | Fecha Colocación | Localización                             | Lado | Peso Seco (g)       | Peso SIS final (g)          | Peso Sumergido                | Diferencia   | Gbs          | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | % Absorción de Agua | Espesor Campo      | Espesor Cortado      | Máxima Teórica | Vacios | % Compactación |
| 1                                      | 2023-11-08       | 0+950                                    | LI   | 2130,6              | 2137,6                      | 1198,5                        | 939,1        | 2,269        | 2262                          | 0,75                | 165                | 135                  | 2,463          | 7,9    | 92,1           |
| 2                                      | 2023-11-08       | 1+000                                    | LD   | 1466,5              | 1472,0                      | 827,9                         | 644,1        | 2,277        | 2270                          | 0,85                | 120                | 95                   | 2,463          | 7,6    | 92,4           |
| 3                                      | 2023-11-08       | 1+050                                    | LI   | 1278,9              | 1286,1                      | 723,5                         | 562,6        | 2,273        | 2267                          | 1,28                | 100                | 85                   | 2,463          | 7,7    | 92,3           |
| 4                                      | 2023-11-08       | 1+100                                    | LD   | 1147,8              | 1159,3                      | 645,5                         | 513,8        | 2,234        | 2228                          | 2,24                | 90                 | 70                   | 2,463          | 9,3    | 90,7           |
| 5                                      | 2023-11-08       | 1+150                                    | LI   | 773,1               | 776,1                       | 437,8                         | 340,3        | 2,272        | 2265                          | 1,47                | 60                 | 60                   | 2,463          | 7,8    | 92,2           |
| 6                                      | 2023-11-08       | 1+200                                    | LD   | 940,2               | 946,8                       | 532,0                         | 414,8        | 2,267        | 2260                          | 1,59                | 75                 | 50                   | 2,463          | 8,0    | 92,0           |
| 7                                      | 2023-11-08       | 1+250                                    | LI   | 756,8               | 761,0                       | 427,3                         | 333,7        | 2,268        | 2261                          | 1,26                | 60                 | 50                   | 2,463          | 7,9    | 92,1           |
| Núcleos con Parafina                   |                  |  |      |                     |                             |                               |              |              |                               |                     |                    |                      |                |        |                |
| Núcleo Número                          | Fecha Colocación | Localización                             | Lado | Peso Seco final (g) | Peso Parafinado al Aire (g) | Peso Parafinado Sumergido (g) | Diferencia 1 | Diferencia 2 | Diferencia Muestra            | Gbs                 | Espesor Campo (mm) | Espesor Cortado (mm) | Máxima Teórica | Vacios | % Compactación |
| 4                                      | 2023-11-08       | 1+100                                    | LD   | 1147,8              | 1166,6                      | 640,6                         | 526,0        | 20,63        | 505,37                        | 2,271               | 90                 | 70                   | 2,463          | 7,8    | 92,2           |



| Número de pasadas | Modo de compactador | Lectura densímetro |       |       |       |      | % de Compactación |      |      |      |      | Compactación Reportada |
|-------------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|------|-------------------|------|------|------|------|------------------------|
|                   |                     | No.1               | No.2  | No.3  | No.4  | No.5 | No.1              | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 |                        |
| 2                 | Pasadas estáticas   | 2 125              | 2 121 | 2 128 | 2 135 | -    | 86,3              | 86,1 | 86,4 | 86,7 | -    | 86,4                   |
| 2                 | Pasadas vibradas    | 2 204              | 2 190 | 2 195 | 2 219 | -    | 89,5              | 88,9 | 89,1 | 90,1 | -    | 89,4                   |
| 1                 | Pasada Vibrada      | 2 251              | 2 241 | 2 254 | 2 266 | -    | 91,4              | 91,0 | 91,5 | 92,0 | -    | 91,5                   |
| 1                 | Pasada Vibrada      | 2 291              | 2 283 | 2 305 | 2 310 | -    | 93,0              | 92,7 | 93,6 | 93,8 | -    | 93,3                   |

| Características Volumétricas de la Mezcla |                |        |                |
|---|----------------|--------|----------------|
| ITEM                                      | Valor Obtenido | Unidad | Especificación |
| Asfalto s/agregado                        | 5,71           | %      | 5,71%-6,84%    |
| Asfalto s/mezcla                          | 5,40           | %      | 5,40% - 6,40%  |
| Gbs Pastillas                             | 2,349          | ****   | Dis. 2,350     |
| Máxima Teórica                            | 2,456          | ****   | Dis. 2,448     |
| Vacios                                    | 4,4            | %      | 3,0% - 5,0%    |
| VMA                                       | 14,4           | %      | Min. 14 %      |
| VFA                                       | 70             | %      | 65%-75%        |
| GBS Asfalto (Recope)                      | 1,029          | ****   | ****           |
| Grav. Espec. Electiva.                    | 2,667          | ****   | ****           |
| Absorción de Asfalto                      | 1,09           | %      | ****           |
| Asfalto Electivo                          | 4,37           | %      | ****           |
| Relación Polvo/Asfalto                    | 1,3            | ****   | 0,6% - 1,6%    |
| GBS Ponderado Agregados                   | 2,594          | ****   | ****           |

Fuente. Ingeniería Técnica de Proyectos [ITP] (2023).

## Anexo 2. Ficha técnica de pavimentadora AP1055.

### Pavimentadora de Asfalto Cat® AP1055

#### Especificaciones técnicas

| Tren de fuerza                                       |           |         |
|--|-----------|---------|
| Modelo del motor                                     | C7.1 Cat  |         |
| Potencia nominal a 2.200 rpm                         | 168 kW    | 225 hp  |
| Emisiones globales: Tier 4 final de la EPA de EE.UU. |           |         |
| Velocidad de pavimentación                           | 64 mpm    | 210 fpm |
| Velocidad de pavimentación con reglón de pisón       | 25 mpm    | 82 fpm  |
| Velocidad de desplazamiento                          | 14,5 km/h | 9 mph   |

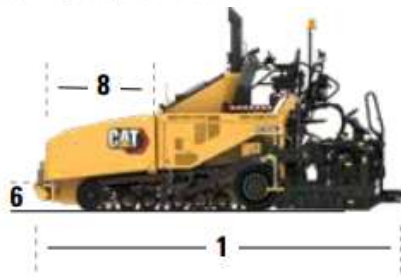
| Peso de la máquina                |            |            |
|-----------------------------------|------------|------------|
| Solo la pavimentadora (embarque)  | 16.691 kg* | 36.800 lb* |
| Con Reglón SE60 FM (operación)    | 20.571 kg* | 45.352 lb* |
| Con Reglón SE60 V (operación)     | 20.451 kg* | 45.087 lb* |
| Con Reglón SE60 V XW (operación)  | 21.125 kg* | 46.573 lb* |
| Con Reglón SE60 VT XW (operación) | 21.591 kg* | 47.600 lb* |

Los pesos en orden de trabajo son aproximados e incluyen refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno y un operador de 75 kg (165 lb).  
\* Suma 324 kg (714 lbs) cuando esté equipada con techo

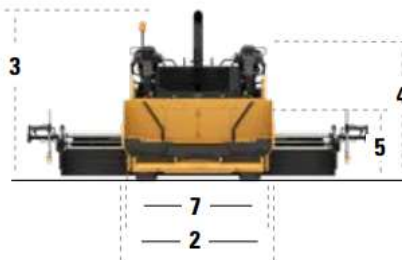
| Capacidades de llenado de servicio           |                     |                   |
|--|---------------------|-------------------|
| Capacidad de producción máxima               | 1.602 tons métricas | 1.766 tons EE.UU. |
| Sistema de enfriamiento                      | 45 L                | 12 gal EE.UU.     |
| Fluido de escape de combustible diésel (DEF) | 19,1 L              | 5 gal EE.UU.      |
| Aceite del motor                             | 16 L                | 4,2 gal EE.UU.    |
| Tanque de combustible                        | 348 L               | 92 gal EE.UU.     |
| Tanque hidráulico                            | 219 L               | 58 gal EE.UU.     |
| Tanque de rocío de lavado                    | 30 L                | 7,9 gal EE.UU.    |

| Alcance de pavimentación con extensiones |                |              |
|--|----------------|--------------|
| Reglón SE60 FM                           | 3,05 m - 7,8 m | 10' - 25' 6" |
| Reglón SE60 V*                           | 3,0 m - 7,65 m | 9' 10" - 25' |
| Reglones SE60 V XW, VT XW                | 3,0 m - 10,0 m | 10' - 33'    |
| Profundidad de pavimentación             | 305 mm         | 12"          |

\* El alcance de pavimentación incluye una zapata de extremo ancho



| Dimensiones |  |          |         |
|-------------|--|----------|---------|
| 1           | Longitud de operación con el Reglón SE60 FM                            | 6.608 mm | 21' 9"  |
|             | Longitud de embarque con el Reglón SE60 FM                             | 6.375 mm | 20' 11" |
|             | Ancho de embarque con el Reglón SE60 FM                                | 3.592 mm | 11' 10" |
|             | Longitud de operación con el Reglón SE60 V                             | 6.800 mm | 22' 4"  |
|             | Longitud de embarque con el Reglón SE60 V                              | 6.635 mm | 21' 10" |
|             | Ancho de embarque con compuertas de extremo: SE60 V                    | 3.211 mm | 10' 6"  |
|             | Ancho de embarque con compuertas de extremo plegadas: SE60 V           | 3.000 mm | 9' 10"  |
|             | Longitud de operación con los Reglones SE60 V XW, VT XW                | 7.034 mm | 23' 1"  |
|             | Longitud de embarque con los Reglones SE60 V XW, VT XW                 | 6.910 mm | 22' 8"  |
|             | Ancho de embarque con compuertas de extremo: SE60 V XW, VT XW          | 3.211 mm | 10' 6"  |
|             | Ancho de embarque con compuertas de extremo plegadas: SE60 V XW, VT XW | 3.000 mm | 9' 10"  |
| 2           | Ancho de operación (tolva de entrada estándar)                         | 3.306 mm | 10' 10" |
| 3           | Altura de operación (tubo de escape vertical)                          | 3.732 mm | 12' 3"  |
|             | Altura de operación con toldo  | 3.861 mm | 12' 4"  |
| 4           | Altura de embarque   | 2.929 mm | 9' 7"   |
|             | Altura de embarque con techo retraído                                  | 3.056 mm | 10'     |
| 5           | Altura de operación de la plataforma                                   | 1.792 mm | 5' 11"  |
| 6           | Altura de entrada del camión (tolva de entrada estándar)               | 570 mm   | 23"     |
| 7           | Ancho de entrada del camión (tolva de entrada estándar)                | 3.224 mm | 10' 7"  |
| 8           | Longitud de la tolva con rodillo de empuje extendido                   | 2.414 mm | 7' 11"  |
|             | Diámetro del sinfín  | 406 mm   | 16"     |



Fuente. (Pavimentadora AP1055, s. f.)

### Anexo 3. Ficha técnica de la compactadora CB54 XW.

| Dimensiones                 | CB54                        | CB54 XW                      | CB64                        |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 longitud total            | —                           | 4934 milímetros 194 pulgadas | —                           |
| 2 Ancho total               | 1905 milímetros 75 pulgadas | 2205 milímetros 87 pulgadas  | 2335 milímetros 92 pulgadas |
| 3 Ancho del tambor          | 1700 milímetros 67 pulgadas | 2000 milímetros 79 pulgadas  | 2130 milímetros 84 pulgadas |
| Grosor del casco del tambor | 17 mm 0,67 pulgadas         | 17 mm 0,67 pulgadas          | 20 mm 0,79 pulgadas         |
| Diámetro del tambor         | —                           | 1300 milímetros 51 pulgadas  | —                           |
| 4 Altura total en ROPS/FOPS | —                           | 3071 milímetros 121 pulgadas | —                           |
| 5 distancia entre ejes      | —                           | 3640 mm 143 pulg 868 mm      | —                           |
| 6 Espacio libre en la acera | —                           | 34 pulg                      | —                           |
| 7 Distancia al suelo        | —                           | 217 milímetros 8,5 pulgadas  | —                           |

#### Pesos operativos

|                                      |                               |                               |                             |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Máquina estándar con ROPS            | 10 804 kg 23 818 libras 11    | 11 898 kg 26 230 libras 12    | 12 980 kg 28 616 libras     |
| Máquina máxima                       | 757 kg 25 920 libras 31,8 kg/ | 842 kg 28 312 libras 29,7 kg/ | 13 740 kg 30 291 libras     |
| Carga lineal estática (en el tambor) | cm 178 libras/pulgada         | cm 166 libras/pulgada         | 30,5 kg/cm 170 libras/pulg. |

\* El peso máximo de la máquina incluye todos los accesorios, todos los líquidos y un operador de 80 kg (175 lb).

\* Los pesos operativos estándar incluyen lubricantes, refrigerante, operador de 80 kg (175 lb), tanque de combustible lleno, sistema hidráulico lleno y 1/2 lleno. depósito de agua.

#### Misceláneas

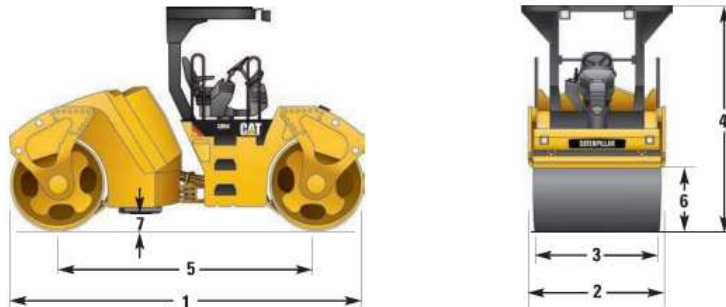
|                                       |                           |                                    |                            |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Dirección (borde interior del tambor) | 4,15 m 13 pies 8 pulgadas | 4,0 m 13 pies 1 pulgada            | 3,94 m 12 pies 11 pulgadas |
| Velocidad: (baja)                     | —                         | 0 - 7,3 km/h 0 - 4,5 mph 0 - 8 mph | —                          |
| (alta)                                | —                         | 0 - 13 kilómetros por hora         | —                          |

#### Capacidades de recarga

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Depósito de combustible         | 191 litros 50 galones    |
| Sistema de refrigeración        | 22 litros 5,8 galones    |
| Aceite de motor con filtro      | 9 litros 2,4 galones     |
| Tanque hidráulico               | 58,7 litros 15,5 galones |
| Rodamiento vibratorio           | 20 litros 5,3 galones    |
| Tanque de pulverización de agua | 1100 litros 291 galones  |

#### Equipamiento opcional

- Aceite biodegradable
- Cubiertas de tambor
- Kit de protección contra congelamiento (rociador de agua)
- Grupo de iluminación (HID)
- Grupo de iluminación (borde del tambor)
- Espejos (CB54)
- Enlace de producto
- Sistema Vibratorio (Amplitud Dual, Frecuencia dual: CB54, CB54 XW)
- Sistema vibratorio (Versa Vibe™)
- Baliza de advertencia
- Tapetes de Distribución de Agua (Cacao)



Fuente. (Peterson CAT, s. f.)

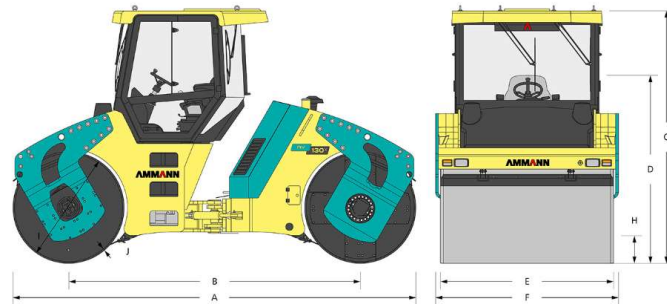
#### Anexo 4. Ficha técnica de la compactadora llanta de hule Hamm GRW 15.

|  |        | GRW 10                    | GRW 15                   |
|--|--------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Pesos</b>   |        |                           |                          |
| Peso en vacío sin cabina, sin peso operativo             | kg     | 8475                      | 10985                    |
| ROPS. con cabina, con ROPS peso máximo carga por eje,    | kg     | 9170                      | 11680                    |
| delantera/trasera carga por neumático, delantera/trasera | kg     | 20000                     | 24000                    |
|  | kg     | 4025/5145                 | 5220/6460                |
|  | kg     | 1006,25/1286,25           | 1305/1615                |
| <b>Dimensiones de la máquina</b>                         |        |                           |                          |
| Ancho máximo de trabajo                                  | máxima | 1986                      | 1986                     |
| Radio del círculo del cantil, interior                   | máxima | 5900                      | 5900                     |
| Tamaño de neumáticos, delantero/trasero                  |        | 11.00-R20/11.00-R20       | 11.00-R20/11.00-R20      |
| <b>motor diesel</b>                                      |        |                           |                          |
| Fabricante   |        | DEUTZ                     | DEUTZ                    |
| tipo   |        | TCD 2012 L04 2V 4         | TCD 2012 L04 2V 4        |
| Cilindros, número  |        | 4                         | 4                        |
| Ley ISO 14396, kW/CV/RPM                                 |        | 85,0/115,6/2300           | 85,0/115,6/2300          |
| Potencia SAE J1349, kW/CV/RPM                            |        | 85,0/113,9/2300           | 85,0/113,9/2300          |
| Nivel de emisiones UE/EE.UU.                             |        | III/Nivel 3               | III/Nivel 3              |
| <b>unidad de tracción</b>                                |        |                           |                          |
| Unidad de viaje hidrodinámico                            |        | insinuar                  | insinuar                 |
| velocidad, funcionamiento                                | km/h   | 0-5,2/0-11,5              | 0-5,2/0-11,5             |
| Velocidad, transportes                                   | km/h   | 0-21,2                    | 0-21,2                   |
| Capacidad de escalada, con/sin lastre.                   | %      | 25/35                     | 25/35                    |
| <b>direccion</b>   |        |                           |                          |
| Dirección, Arte  |        | Dirección hidrostática    | dirección de 2 puntos    |
| Dirección, accionamiento                                 | *      | de 2 puntos, volante 30 4 | hidrostático, volante 30 |
| Ángulo de dirección +/-                                  | *      |                           | 4                        |
| Ángulo del péndulo +/-                                   |        |                           |                          |
| <b>Sistema de frenos</b>                                 |        |                           |                          |
| Freno de servicio, efecto                                |        | Freno de zapata interior  | Freno de zapata interior |
| Freno de servicio, accionamiento                         |        | pedal de freno            | pedal de freno           |
| Freno de estacionamiento, efecto                         |        | freno de banda            | freno de banda           |
| Freno de estacionamiento, accionamiento                  |        | palanca de freno de mano  | palanca de freno de mano |
| Freno auxiliar, efecto                                   |        | freno de banda            | freno de banda           |
| Freno auxiliar, accionamiento                            |        | palanca de freno de mano  | palanca de freno de mano |
| <b>Sistema de rociadores</b>                             |        |                           |                          |
| Aspersión de agua, Arte                                  |        | Presión                   | Presión                  |
| Actuación, aspersión de agua                             |        | a mano                    | manual                   |
| Tanque de agua, parada                                   |        | 750                       | 750                      |



Fuente. (Hamm GRW 15, s. f.)

## Anexo 5. Ficha técnica de compactadora AMMANN AV 130 X



| APISONADORA DE ASFALTO AV 130 X (EU Stage IIIA / U.S. EPA Tier 3) |                                 |
|---|---------------------------------|
| <b>DIMENSIONES</b>  |                                 |
| A = LONGITUD DE LA MÁQUINA  | 4875 mm                         |
| B = BASE DE RUEDAS  | 3525 mm                         |
| C = ALTURA DE LA MÁQUINA  | 3060 mm                         |
| D = ALTURA DE LA MÁQUINA (TRAS RETIRAR LA CABINA/ROPS)            | 2390 mm                         |
| E = ANCHURA DEL TAMBOR  | 2100 mm                         |
| F = ANCHURA DE LA MÁQUINA   | 2222 mm                         |
| H = ALTURA LIBRE  | 335 mm                          |
| I = DIÁMETRO DEL TAMBOR   | 1350 mm                         |
| J = GROSOR DEL TAMBOR   | 20 mm                           |
| <b>VARIOS</b>   |                                 |
| <b>PESO Y PROPIEDADES DE MARCHA</b>                               |                                 |
| PESO DE FUNCIONAMIENTO  | 13 080 kg                       |
| PESO MÁXIMO   | 13 870 kg                       |
| CARGA LINEAL ESTÁTICA DEL RODETE DELANTERO                        | 31.5 kg/cm                      |
| CARGA LINEAL ESTÁTICA DEL RODETE TRASERO                          | 30.8 kg/cm                      |
| VELOCIDAD MÁXIMA DE TRANSPORTE                                    | 11.4 km/h                       |
| VELOCIDAD MÁXIMA DE TRABAJO                                       | -                               |
| FUERZA ASCENSIONAL CON / SIN VIBRACIÓN                            | 30 % / 40 %                     |
| RADIO DE GIRO, INTERIOR (EXTREMO)                                 | 4670 mm                         |
| MODO CRAB   | 160 mm                          |
| <b>MOTOR</b>  |                                 |
| FABRICANTE  | Cummins QSB4.5-C130             |
| POTENCIA SEGÚN ISO 3046-1   | 97 kW (130 HP)                  |
| MOMENTO DE TORSIÓN MÁXIMO   | 512/1600 Nm/rpm                 |
| MOTOR CUMPLE LAS PRESCRIPCIONES DE EMISIONES                      | EU Stage IIIA / U.S. EPA Tier 3 |

Fuente. (Ammann Group, 2021)

## Anexo 6. Técnicas de prevención.

| Técnica de Preservación   | Ventajas   | Desventajas   | Equipo   |
|---|--|---|--|
| <b>Sello de niebla "Fog Seal"</b><br>Es la aplicación de emulsión asfáltica, en la superficie del pavimento, con o sin arena. La emulsión es diluida para propiciar una adecuada adherencia y lograr cubrir la superficie completamente.  | Mas económicos comparados con otros tratamientos superficiales.<br>Únicamente se necesita un distribuidor para aplicar el sello.   | La vida de servicio es más corta, comparada con la de tratamientos superficiales.<br>Si se aplica en un espesor muy grueso, podría generar superficies con falta de fricción.   | El equipo necesario es un distribuidor para aplicar la emulsión esparciéndola y un distribuidor de arena (si se aplica arena).   |
| <b>Sello de arena "Sand Seal"</b><br>Es la aplicación de emulsión asfáltica y una cubierta de arena limpia o agregado fino. Un compactador de "llantas de hule", es usado después de aplicar la arena, posteriormente el exceso se remueve de la superficie.  | Proporciona generalmente una capa más gruesa en la superficie del pavimento comparado con el "fog seal", dando como resultado una mayor vida de servicio.<br>En superficies con agregados pulidos, puede proporcionar una resistencia mayor ante el deslizamiento.                                 | Solamente se llenan las grietas finas y las grietas más gruesas tienden a reaparecer en un período aproximadamente de un año.   | El equipo es un distribuidor para esparcir la emulsión del asfalto y un distribuidor para esparcir la cubierta de arena.<br>Se emplea un rodillo "llanta de hule" para compactar y luego una barredora para retirar el exceso de arena.  |
| <b>Sello de barrido "Scrub Seal"</b><br>Consiste en arrastrar un mecanismo de barrido (rastrillo) sobre la superficie del pavimento, luego de que ha aplicado la emulsión asfáltica. Una capa de arena o agregado se aplica sobre la emulsión, seguida de otro arrastre del mecanismo de barrido (rastrillo), forzando a la arena a unirse a la emulsión y rellenar las fisuras y los vacíos. | El método de sellado de barrido puede rellenar fisuras de hasta 12.7 mm (0.5 pulg) de ancho, que normalmente se han rellenado con sellador de grietas.   | Muchos contratistas están poco familiarizados con el método de sellado de barrido. Se necesitan realizar pruebas para determinar cuál emulsión, normal o modificada con polímero, trabaja con los rastrillos.   | El equipo es el mismo que se utiliza para la colocación de los tratamientos superficiales, con la excepción del dispositivo de barrido que se necesita luego de que la emulsión y el agregado han sido aplicados.  |
| <b>Tratamientos superficiales "Chip Seal"</b><br>Es la aplicación de asfalto seguido por una cubierta de agregado. El asfalto que se aplica generalmente es en caliente, un asfalto "rebajado", o un asfalto emulsionado. Inmediatamente después de que el ligante se aplica, el agregado se coloca sobre el asfalto, antes de que el ligante caliente se enfríe o que la emulsión rompa.     | Es la técnica más utilizada, debido a que la ruta se puede abrir al tránsito de baja velocidad, después de la aplicación del agregado.   | Requiere del cuidado constante y ajuste frecuente de la tasa de aplicación del agregado, y especialmente del asfalto, para reducir al mínimo la pérdida de agregados, la exudación, etc.<br>Los parabrisas de los vehículos se pueden dañar por el agregado suelto que queda antes de que se quite el exceso, y además se genera mucho polvo durante el proceso de barrido. | Un distribuidor esparce la emulsión asfáltica, el ligante asfáltico, o el asfalto rebajado.<br>Un distribuidor coloca el agregado.<br>Un compactador de "llanta de hule" reorienta y/o compacta las partículas de agregado.<br>Una barredora mecánica para quitar el exceso de agregado. |
| <b>Lechada asfáltica "Slurry Seal"</b><br>Es una mezcla de emulsión asfáltica de rompimiento lento o acelerado, agregado fino, relleno mineral, aditivos y agua.  | Provee una superficie más uniforme comparada con un tratamiento "chip seal", con todas las ventajas asociadas a esta condición, por ejemplo confort, seguridad y disminución de la posibilidad de ocurrencia de otros deterioros.  | El equipo para aplicarlo no es tan común como los equipos para la aplicación de "chip seal", debido a que es un equipo especializado para la fabricación (mezclado y colocación).   | Para todas las aplicaciones es necesario un camión especial para mezclar y para aplicar la mezcla es necesario el uso de un aditamento especial llamado "spreader box".  |
| <b>Sello de capa "Cape Seal"</b><br>Es un sello que involucra la colocación de un "chip seal". Este proceso se desarrolló en la provincia de Cape en Sudáfrica y de ahí proviene su nombre.   | Aumenta la vida de un "chip seal", recubriendo mejor las partículas de agregado y protegiendo la superficie. Disminuye la posibilidad de desprendimiento de agregados y crea una superficie más densa.   | El equipo para el tratamiento incluye tanto el equipo para la construcción del "chip seal" como el equipo para la construcción de "slurry seal".  | Se necesita el equipo mencionado para la construcción del "chip seal" y para el "slurry seal".   |
| <b>Microcapas "Microsurfacing"</b><br>Es similar a un "slurry seal", sin embargo, utiliza una emulsión modificada con polímeros, mezclada con agregado quebrado, relleno mineral (cemento, cal, polvo de piedra caliza, cenizas volantes), agua, y aditivos. Los aditivos influyen en el tiempo de mezclado y de curado de la mezcla.   | Se puede colocar en una capa más gruesa que un "slurry seal" y, por lo tanto, se puede utilizar para llenar roderas y corregir problemas menores de nivelación.<br>Tiene un tiempo de curado menor que un slurry seal, por lo tanto, el tránsito se puede abrir en un período de tiempo más corto. | Requiere equipo especial que es más pesado y más robusto que una máquina mezcladora para "slurry seal".<br>El costo es más alto que un tratamiento "slurry seal" ó "chip seal".   | Se utiliza una máquina autopropulsada especial.  |
| <b>Recubrimiento para pavimentos "Pavement dressing"</b><br>El recubrimiento para pavimentos es de emulsiones asfálticas o brea de carbón (coal tar), o una combinación de ambos. Estos pueden incluir rejuvenecedores y una variedad de rellenos, tales como fibras o rellenos minerales.  | Puede ser aplicado en pequeñas cantidades, en accesos o caminos peatonales.<br>La superficie tratada es lisa similar a la lechada asfáltica.   | Cuando se compara esta técnica con otros tipos de tratamientos de superficie, no resulta tan efectiva desde el punto de vista de costo.   | No requiere equipo especial para su construcción.  |

Fuente.(Jiménez et al., 2009)