

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**CARACTERIZACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS  
DELGADAS (THINLAYS) COMO ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

PRESENTADO POR:

**BOANERGES MAURICIO ALVARADO VELÁSQUEZ**  
**LUIS ANTONIO LÓPEZ LEMUS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2025**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSc JUAN ROSA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

DIRECTOR:

**MSc ELMER ARTURO CARBALLO RUÍZ**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE POSGRADO**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL**

Título :

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS  
DELGADAS (THINLAYS) COMO ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Presentado por:

**BOANERGES MAURICIO ALVARADO VELÁSQUEZ**

**LUIS ANTONIO LÓPEZ LEMUS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**PhD MIGUEL ANGEL DIAZ SANCHEZ**

SAN SALVADOR, ABRIL 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**PhD MIGUEL ANGEL DIAZ SANCHEZ**

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

Queremos agradecer a las instituciones que nos colaboraron de manera especial y desinteresada para la culminación de este trabajo de graduación:

A la Universidad De El Salvador, por habernos brindado la oportunidad de realizar nuestros estudios de postgrado, así como a la escuela de Ingeniería Civil, por la colaboración que nos brindó en todo el proceso del presente.

A la empresa Constructora DISA, S.A de C.V, por habernos brindado el apoyo técnico, económico y bibliográfico en la realización de las pruebas de laboratorio para el desarrollo del trabajo de graduación.

Al PhD Miguel Ángel Diaz, por habernos brindado su tiempo, apoyo técnico y bibliográfico para el desarrollo del trabajo de graduación.

Al MGC Vicente Vanegas Alvarado, por habernos apoyado con su tiempo y gestión como jurado evaluador.

## **DEDICATORIA**

A DIOS TODOPODEROSO: Por haberme dado la vida, salud, sabiduría y guiarme en todas las etapas de mi vida (Eternamente agradecido por lo que soy y lo que tengo).

A MI ESPOSA E HIJOS: Blanca Carolina Rosas, Boanerges Eduardo, Miriam Carolina y Sara Fidelina; por su amor, paciencia y apoyo en los momentos difíciles e importantes de mi vida (Este triunfo es de ustedes).

A MIS PADRES: Boanerges Leopoldo Alvarado (QEPD) y Mirian Nohemy Velásquez; por su apoyo, cariño y amor incondicional que me han brindado en todas las etapas de mi vida.

A MIS HERMANOS: Carlos Eduardo y Mirian Elizabeth; por su apoyo y cariño que siempre me brindaron en todo momento.

A MI TIO MAURICIO ISAIAS VELASQUEZ: Gracias por tus consejos, por guiarme y apoyarme de una u otra forma de manera desinteresada para la obtención de este triunfo.

A MI AMIGO LUIS LOPEZ: por tenernos paciencia y sobrellevar de buena manera los problemas que enfrentamos como grupo y finalizar de manera satisfactoria el proyecto que un día empezó como un sueño.

**Boanerges Mauricio Alvarado Velásquez**

## **DEDICATORIA**

A DIOS TODOPODEROSO: Por haberme dado la vida, salud, sabiduría y guiarme en todas las etapas de mi vida.

A MI ESPOSA HE HIJAS: Por su amor y apoyo en el camino de mi vida, Magaly, Raquel y Victoria.

A MI MADRE Y HERMANO: Por ser el pilar que me sostuvo desde mi niñez hasta mi madurez.

A MI AMIGO BOANERGES ALVARADO: Por quien realmente hemos logrado terminar este trabajo de graduación, quien nunca abandono el camino de luchar.

**Luis Antonio López Lemus**

## INDICE

Índice de tablas .....	1
Índice de figuras .....	2
Introducción .....	3
Antecedentes.....	5
Planteamiento del problema .....	6
Objetivos .....	7
General .....	7
Específico.....	7
Alcances .....	8
CAPITULO II.....	9
MARCO REFERENCIAL .....	9
2.1 Carpeta asfáltica delgada en caliente.....	10
2.2 Historia y evolución carpeta asfáltica delgada .....	10
2.3 Carpeta asfáltica delgada continuos.....	14
2.4 Carpetas asfálticas delgadas discontinuos .....	15
CAPITULO III.....	19
CRITERIOS DE DISEÑO DE CARPETAS ASFALTICAS DELGADAS .....	19
3.1 Criterios de selección del tipo de fórmula de diseño de una carpeta asfáltica delgada. ....	20
3.2 Selección de la graduación de los agregados pétreos para la fórmula de trabajo. ....	22
3.3 Tipo de ligantes asfálticos para una capa asfáltica delgada. ....	23
3.4 Criterios del diseño de mezclas asfáltica para la capa delgada. ....	24
CAPITULO IV .....	25
DESCRIPCION DE TRAMO DE ESTUDIO.....	25

4.1 Ubicación geográfica del tramo de estudio.....	26
4.2 Transito promedio diario anual.....	26
4.3 Índice de condición del pavimento “PCI” .....	29
4.4 Diseño de carpeta asfáltica delgada.....	37
4.5 Estudios de medición de IRI proyecto. ....	38
4.6 Calculo de modulo dinámico de la carpeta asfáltica delgada.....	42
4.7 Calculo de Flow Number o número de flujo de la carpeta asfáltica delgada. ....	45
CAPITULO V .....	47
CONCLUSIONES .....	47
5.1 Conclusiones.....	48
CAPITULO VI .....	51
RECOMENDACIONES.....	51
6.1 Recomendaciones.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	53
CAPITULO VII .....	54
RECOMENDACIÓN DE ESPECIFICACIONES TECNICAS .....	54
CARPETAS ASFÁLTICAS DELGADAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1 Graduación de carpetas asfálticas densas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos .....	22
Tabla 2 Tipos de ligantes asfálticos utilizados para mezclas de capas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos de América .....	23
Tabla 3 Criterio de diseño de las propiedades volumétricas de mezclas asfálticas de capas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos.....	24
Tabla 4 Transito promedio diario anual para el año 2015 tomado del ministerio de obras públicas (MOPT). .....	27
Tabla 5 Transito promedio diario anual proyectado para el año 2019) .....	27
Tabla 6 Parámetros de diseño Marshall para carpetas asfálticas delgadas .....	37
Tabla 7 Parámetros de diseño del asfalto modificado .....	38
Tabla 8 Medición de IRI condición inicial .....	39
Tabla 9 Medición de IRI condición final.....	39
Tabla 10 Ensayo de deflexión con viga Benkelman antes de la colocación de carpeta asfáltica delgada.....	41
Tabla 11 Ensayo de deflexión con viga BenKelman después de la colocación de carpeta asfáltica delgada .....	41
Tabla 12 Relación de cálculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica utilizada para la capa asfáltica delgada, relación modulo y temperatura.....	42
Tabla 13 Densidad Bulk medida a cada muestra de ensayo y relación de vacíos de aire compactado.....	45
Tabla 14 Parámetros del método de ensayo.....	46
Tabla 15 Resultados del ensayo Flow Number de la muestra de carpeta asfáltica delgada colocada en el proyecto .....	46
Tabla 16 Recomendaciones mínimas de los requerimientos de Flow Number .....	49

## Índice de figuras

Figura 1 Husos granulométricos de los Sheet Asphalt y Sand Asphalt .....	11
Figura 2 Huso granulométrico del Composable .....	12
Figura 3 Criterios de selección del tipo de mezcla según el nivel de tráfico de servicio	20
Figura 4 Espesores mínimos de la carpeta asfáltica según el tipo de tráfico y tipo de mezcla asfáltica .....	21
Figura 5 Espesores mínimos de la carpeta asfáltica según la posición de la capa en la estructura del pavimento.....	21
Figura 6 Esquema de ubicación geográfica .....	26
Figura 7 Cálculo de cantidad de ESALs.....	28
Figura 8 Piel de Cocodrilo. Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program.....	30
Figura 9 Piel de Cocodrilo. Deterioro Leve, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program .....	30
Figura 10 Piel de Cocodrilo. Deterioro Moderado, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Performance Program .....	31
Figura 11 Piel de Cocodrilo. Deterioro Severo, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program.....	31
Figura 12 Valores Deducidos para un Deterioro del Tipo Piel de Cocodrilo .....	34
Figura 13 Identificación del valor deducido corregido .....	35
Figura 14: Evaluación de la condición del pavimento mediante el calculo del PCI .....	36
Figura 15 Grafico comparativo de IRI antes y después de la intervención .....	40
Figura 16 Grafico comparativo de las deflexiones medidas con la viga Benkelman antes y después de pavimentar.....	42
Figura 17 Datos de modulo dinámico modelo Arrhenius Pitra ImoDin 2.1 .....	43
Figura 18 Grafico Black Space y Cole Cole, modelo de Arrhenius, Pitra ImoDin 2.1 ...	44
Figura 19 Calculo de modulo dinámico, modelo de Arrhenius, Pitra ImoDin 2.1 .....	44
Figura 20 Archilla et al 2007; WsDOT 2011 or as the number of load cycles al which tertiary Flow (i.e. tertiary zone).....	45

## **Introducción**

El presente informe de trabajo de graduación describe el análisis del marco histórico y técnico de diferentes publicaciones de algunas agencias de los Estados Unidos de América, para la guía y selección de diferentes alternativas de diseño de capas asfálticas delgadas, que incluyen la recomendación de la graduación de la estructura pétreo, selección del tipo de cemento asfáltico y los parámetros volumétricos de diseño y control; destacando que cada una de las guías de diseño hacen mención que la correcta selección de la fórmula de trabajo deberá responder a las solicitudes del nivel de tráfico, clima, materiales disponibles en la región y de la planificación del mantenimiento programado de la vía.

Este reporte también muestra el resultado de estudio en la etapa constructiva de una capa asfáltica delgada, construida y diseñada en un proyecto de El Salvador, donde se tomó como guía de diseño las recomendaciones establecidas en la condición técnica del proyecto, para la selección de la fórmula de trabajo, composición granulométrica, clasificación del cemento asfáltico modificado y las propiedades volumétricas; así mismo con fines de investigación y de evaluación se incorporaron diferentes ensayos de caracterización por desempeño medidos en laboratorio, los cuales fueron seleccionados de conformidad a las recomendaciones de las guías de diseño de la National Asphalt Pavement Association, NAPA, de los Estados Unidos de América para capas asfálticas delgadas.

Con la finalidad de establecer mejores criterios de estudio del proyecto para analizar la mayor cantidad de variables posibles que puedan influir en la vida de servicio del proyecto, se muestran los informes de la evaluación sistemática que

incluyen la ubicación geográfica, tipo de nivel de servicio, cantidad de tráfico, velocidad de circulación, temperatura del pavimento, índice de condición del pavimento, medición de IRI inicial y final de un tramo representativo de estudio, así como la respuesta a las deflexiones medidas con la viga Benkelman antes y después de la colocación de la carpeta asfáltica delgada.

Se pretende brindar con este documento la mayor cantidad de información posible en relación al estudio y evaluación de las carpetas asfálticas delgadas, puesto que más información de evaluación asegura incrementar el grado de confiabilidad de las consideraciones de diseño para capas asfálticas delgadas que puedan ser construidas en El Salvador.

## **Antecedentes**

La red vial de un país es imprescindible para su desarrollo económico, pues una nación se mide por la calidad de sus vías de comunicación y crecimiento; las vías son el medio que posibilita el transporte de personas y cargas, generando beneficios económicos y sociales cuando conecta zonas con altos potenciales productivos del marco industrial, comercial, turístico y agrícola.

En Latinoamérica se muestra un problema serio en cuanto a infraestructuras en vías de comunicación y esto representa una seria desventaja competitiva. En países con un adecuado desarrollo los costos de traslado son menores, mientras que en la región los caminos con desvíos permanentes o tramos deteriorados incrementan los costos de traslado.

La red de carreteras permite satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; estas necesidades son las principales actividades de un país. Por ello, para un país es estratégico desarrollar un adecuado sistema vial, porque es el único modo con el que logra satisfacer no solo la obligación de viajar, sino también las necesidades esenciales de la población.

El Salvador actualmente cuenta con un total de 6,979 km de carretera, de ello 4,414 km son vías pavimentadas incluyendo 341 km de autopistas y 2,565 km de vías no pavimentadas. Tomando en consideración la cantidad importante de kilómetros de vías pavimentadas y el limitado recurso económico para mantenerlas en condiciones aceptables de operación, por lo anterior la alternativa de carpetas asfálticas delgadas ofrece una buena opción sostenible para la rehabilitación de vías de bajo volumen de tráfico y el mantenimiento preventivo de vías con alto volumen de tráfico para todas las redes viales de nuestro país.

## **Planteamiento del problema**

En los últimos años ha cobrado un aumento la conciencia ambiental de la administración en proyectos debido al cambio climático, lo que hace cada vez más complicado contar con canteras de explotación, reduciendo así la obtención de materias primas ya sea por restricción ambiental o por falta de áridos de calidad en determinadas zonas geográficas, para el rubro de la construcción incluyendo el área de carreteras.

En la actualidad se busca fomentar técnicas que sean amigables con el medio ambiente y disminuya la explotación de los recursos naturales, como las técnicas de reciclado o la alternativa de carpeta asfáltica delgada, que es una buena opción, ya que permite el mantenimiento de las vías con un menor consumo de materia prima como lo son pétreos y asfalto.

## **Objetivos**

### **General**

Realizar un análisis integral de las carpetas asfálticas delgadas como estrategia de rehabilitación de vías de bajo volumen de tráfico y como técnica de conservación para el mantenimiento preventivo de pavimentos de alto volumen de tráfico en El Salvador; enfocándose en los materiales disponibles en El Salvador, procedimientos constructivos y los resultados tangibles como el aporte estructural que contribuirá con el desempeño esperado del pavimento.

### **Específico**

1. Evaluar el desempeño de una carpeta asfáltica delgada mediante ensayos reológicos al cemento asfáltico que se utilizó para su fabricación y así determinar en laboratorio el desempeño esperado en función del nivel de tráfico al que estará sometida la vía.
2. Evaluar el comportamiento de una carpeta asfáltica delgada mediante ensayos de desempeño en laboratorio: Modulo Dinámico; Flow Number y Fatiga con viga de cuatro puntos.
3. Medir en campo el aporte estructural para un proyecto de estudio con carpeta asfáltica delgada evaluada, a partir del ensayo de Deflexiones con la viga Benkelman para un periodo de estudio de seis meses, después de la apertura al tráfico.
4. Proponer una especificación técnica para la construcción de carpetas delgadas en El Salvador.

## **Alcances**

En el mundo actual existen muchas especificaciones con diferentes técnicas de mantenimientos en el área de carreteras, las cuales se describen de acuerdo a las condiciones geográficas de cada región; además pueden seleccionarse diferentes alternativas según el índice de condición del pavimento en estudio, así como las solicitudes del nivel de tráfico, clima y materiales disponibles.

En el presente trabajo se ha realizado un análisis técnico y racional, a partir de los diferentes resultados de los ensayos de laboratorio realizados a la mezcla asfáltica utilizada para la construcción de una carpeta asfáltica delgada en El Salvador, así como los ensayos de caracterización de los materiales que la componen, más un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las diferentes especificaciones técnicas de algunas agencias estatales de los Estados Unidos de América, con el fin de proponer una especificación de una carpeta asfáltica delgada, que incluya la caracterización de materiales, equipos de laboratorio y control de calidad disponibles en la zona para el diseño, con la finalidad de establecer parámetros alcanzables y medibles ajustados a la experiencia local para cualquier empresa del sector de la construcción.

# **CAPITULO II**

## **MARCO REFERENCIAL**

## **2.1 Carpeta asfáltica delgada en caliente**

No existe definición oficial de lo que es una carpeta asfáltica delgada en caliente, algunos lo relacionan con el tamaño máximo del pétreo empleado en su fabricación y consideran que es entre 10 ó 12 mm el tamaño máximo, que marca la diferencia entre la carpeta asfáltica delgada y la carpeta asfáltica tradicional; para otros es el espesor y las funciones propias de la capa los que marcan la diferencia. La carpeta asfáltica delgada en caliente puede definirse como ***“aquellas mezclas bituminosas con pétreo de tamaño máximo 12 mm que se fabrican y ponen en obra en caliente ( $T > 120^{\circ}\text{C}$ ) en capa de espesor medio inferior o igual a los 3,5 cm”*** según documento Gordillo, J. (1997), Microaglomerados en caliente. Evolución, tipos, características y campos de aplicación. Revista Carreteras, Vol. 91, p. 24-43.

Aunque por su espesor no permiten resolver problemas estructurales de los pavimentos, proporcionan características superficiales (resistencia al deslizamiento, drenabilidad superficial, sonoridad, etc.) que contribuyen a optimizar el funcionamiento de todo el paquete del pavimento, mejorando notablemente la comodidad y seguridad del usuario, con un costo reducido en proporción a su pequeño espesor. La aplicación de una capa delgada contribuye de alguna manera a mejorar la capacidad estructural del pavimento debido a que proporciona una impermeabilización al soporte.

## **2.2 Historia y evolución carpeta asfáltica delgada**

La técnica de las carpetas asfálticas delgadas ha sido empleada desde hace años en la pavimentación de carreteras, no sólo en frío con las tradicionales lechadas bituminosas que, con tanta abundancia y éxito, se han empleado en la conservación y pavimentación de carreteras, sino también en caliente. Estos últimos comenzaron a utilizarse en los años 40 principalmente en trabajos de

conservación de vías urbanas. Consistían en mezclas muy finas, compuestas por filler y arenas naturales en las que se utilizaban como ligantes betunes blandos, betunes fluidificados (cut-backs) o incluso alquitranes según documento Gordillo, J. (1997), Microaglomerados en caliente. Evolución, tipos, características y campos de aplicación. Revista Carreteras, Vol. 91, p. 24-43.

Se trataba de morteros asfálticos de textura fina entre los que se encontraban los denominados “Sand Asphalt” y “Sheet Asphalt” americanos (Figura 1), los “Fine Cold Asphalt” ingleses y los morteros activados comercialmente conocidos con los nombres de Tapisable y Composable (Figura 2).

*Figura 1 Husos granulométricos de los Sheet Asphalt y Sand Asphalt*

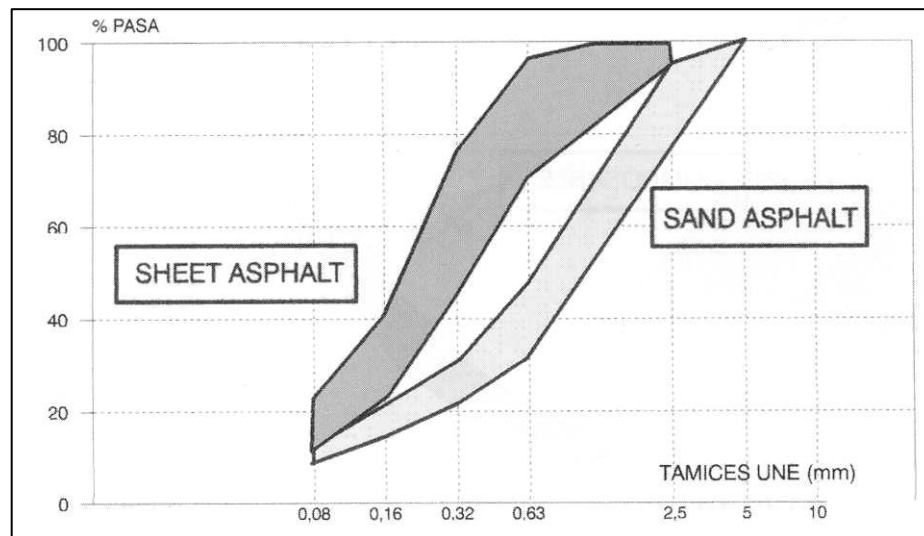
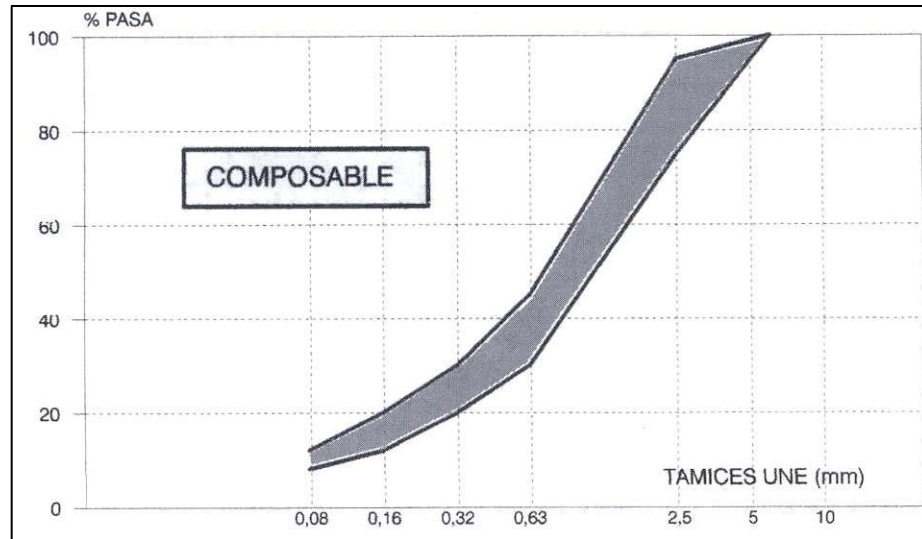


Figura 2 Huso granulométrico del Composable



“Sand Asphalt” es un micro aglomerado de macro textura fina compuesto por una arena total o parcialmente triturada, con un porcentaje que pasa por el tamiz 8 comprendido entre el 50 y el 60%, un porcentaje de filler variable entre los valores 3-12%. El betún utilizado era normalmente blando, de penetración 100/200, empleándose betunes más duros del tipo 60/70 cuando se esperaba tráfico pesado. El contenido de ligante en la mezcla era elevado en el orden del 7 al 10% sobre el árido.

En los primeros “Fine Cold Asphalt” ingleses se utilizaban igualmente pétreos finos, arenas procedentes de escorias de alto horno e inicialmente alquitrán como ligante.

En Francia y en España fueron muy utilizados en los años 60 los morteros activados Tapisable o Composable. En su fabricación se empleaban pétreos duros generalmente silíceos, el esqueleto mineral contenía una proporción muy elevada de arenas naturales (cerca del 60 - 65%). Se caracterizaban por su

granulometría continua, su elevado contenido en filler (8 -12%) y su elevado porcentaje en ligante (6 - 8%).

Se aplicaban en capas de 15 a 20 mm de espesor con dotaciones alrededor de los 30 - 50 kg/m<sup>2</sup> y se empleaban básicamente en trabajos de regularización de pavimentos antiguos, así como en la pavimentación urbana debido a su flexibilidad, baja sonoridad y agradable aspecto externo.

Estos morteros en caliente poseían una serie de características muy interesantes, entre las que se destacaban las siguientes:

- ✓ Su elevada capacidad de autor reparación, su buen comportamiento a fatiga y su elevada flexibilidad.
- ✓ Su textura micro rugosa áspera, muy adecuada para vías de baja velocidad como por ejemplo vías urbanas.
- ✓ Muy bajo nivel sonoro.

Sin embargo, adolecían de una serie de importantes inconvenientes entre los que se encontraban los siguientes:

- ✓ Su baja estabilidad mecánica, con riesgo de fluencia plástica.
- ✓ Su baja resistencia al deslizamiento, especialmente frente a velocidades elevadas.
- ✓ Su mala resistencia al punzonamiento.

Estos inconvenientes hacían que el empleo de estos tipos de mezclas se circunscribiese, casi exclusivamente, a la pavimentación de vías urbanas o bien a trabajos de conservación en carreteras secundarias.

### **2.3 Carpeta asfáltica delgada continuos**

La técnica de las carpetas asfálticas delgadas ha evolucionado a lo largo de los últimos años de manera notable para mejorar los aspectos negativos, especialmente la deficiente rugosidad ante tráficos rápidos y las bajas características mecánicas. Por lo que respecta a la macro rugosidad, dos líneas de solución han sido llevadas a cabo: la modificación del esqueleto mineral por un lado y la incrustación de gravillas por el otro según documento Gordillo, J. (1997), Microaglomerados en caliente. Evolución, tipos, características y campos de aplicación. Revista Carreteras, Vol. 91, p. 24-43.

En lo que se refiere al primer punto, se han sustituido las arenas naturales por arenas trituradas de buen coeficiente de pulido acelerado, aumentando el tamaño máximo del árido con el objetivo de conseguir al menos un 15% de árido superior a 6 - 8 mm. Éstos se caracterizan por tener una textura más rugosa que los anteriores morteros, una superior estabilidad mecánica, una buena impermeabilidad y un bajo nivel sonoro. Sus características mecánicas pueden mejorarse sustituyendo los betunes tradicionales utilizados por betunes modificados o incorporando fibras al esqueleto mineral.

La otra línea para mejorar la macro textura y en consecuencia la resistencia al deslizamiento de los antiguos morteros, ha sido la seguida por los ingleses con sus conocidos y tradicionales "Fine Cold Asphalt", en donde se incrustan áridos gruesos pre envueltos en el mortero constituido por finos y betún.

En esta línea se encuentran también las "Sables Enrobé Couté" francesas y los asfaltos fundidos o "Gussasphalt" alemanes. Son mezclas que no necesitan compactación a elevadas temperaturas y cuya resistencia mecánica depende exclusivamente de la cohesión que proporciona la viscosidad del mastico. Sin embargo, su precio es elevado al tener una elevada proporción de betún y su

extensión es difícilmente mecanizable, lo que encarece aún más el producto. Finalmente, presentan el inconveniente de su muy baja macro textura, lo que obliga a la incrustación de gravillas pre envueltas para mejorar su resistencia al deslizamiento, generalmente de tamaño 2/5 mm o 5/8 mm con dotaciones variables entre 5 - 8 kg/m<sup>2</sup> y 15 - 18 kg/m<sup>2</sup> según documento Kraemer, C., Morilla, I., del Val, M.A. (1999), *Carreteras II*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.

La incrustación de gravillas en estos morteros o carpetas asfálticas delgadas densas, aunque mejora la rugosidad y por tanto la adherencia, no resuelve de manera satisfactoria y simultánea el otro problema grave que presentaban los primitivos micro aglomerados o carpetas asfálticas delgadas en caliente, esto es, su cohesión insuficiente para resistir elevadas cargas de tráfico sin que se produzca la fluencia plástica.

Conseguir unificar en una mezcla las dos características contradictorias de los micro aglomerados clásicos, resistencia a la deformación plástica frente a la resistencia a la fatiga y macro textura rugosa frente a pequeño tamaño máximo de árido empleado, es el objetivo buscado y conseguido con los micro aglomerados discontinuos actuales.

#### **2.4 Carpetas asfálticas delgadas discontinuos**

Se trata de mezclas asfálticas utilizadas en capas de pequeño o muy pequeño espesor, con macro textura rugosa áspera, excelente comportamiento mecánico, gran durabilidad y sin problemas de incremento de sonoridad.

Conseguir una buena macro textura utilizando áridos de tamaño pequeño, ha sido posible gracias a la modificación de la granulometría. Para ello se han sustituido las curvas granulométricas continuas tradicionales por otras de tipo discontinuo mediante la eliminación total o parcial de alguna fracción del árido.

Atendiendo al contenido de árido grueso, dos son los tipos de mezclas discontinuas más utilizados en Europa: los denominados “Hot Rolled Asphalt” (HRA) ingleses, constituidos por un 30% de árido grueso y un 70% de árido fino (inferior a 2 mm), y las mezclas muy ricas en árido grueso (65 - 80%) y contenido en mortero entre el 20 y 35% según documento Gordillo, J. (1997), Microaglomerados en caliente. Evolución, tipos, características y campos de aplicación. *Revista Carreteras*, Vol. 91, p. 24-43.

Las mezclas HRA son densas, impermeables, con gran resistencia a la fatiga, de muy baja macro rugosidad y fabricadas con betunes duros 40/50. En ella es necesario la incrustación de gravillas pre envueltas de tamaño 18 mm normalmente con la finalidad de mejorar la resistencia al deslizamiento.

En las segundas, el alto contenido en árido grueso y la discontinuidad granulométrica, son los responsables de la elevada macro rugosidad de estas nuevas mezclas. La impermeabilidad se consigue por la fracción fina con elevada relación fíller - betún, ayudando a un incremento en la adherencia. El contenido en ligante es elevado (5 -7%) con el objeto de formar juntamente con el fíller un buen mastico que proporcione a la mezcla una adecuada cohesión y resistencia a la abrasión.

En lo que se refiere a la mejora de las características mecánicas de estos modernos micro aglomerantes, que son necesarias para poder ser utilizados ante tráfico importantes e incluso pesados. se consigue por la utilización de arenas procedentes de trituración en lugar de las arenas naturales empleadas en los antiguos morteros, con la utilización de fibras naturales o artificiales incorporadas al esqueleto mineral o mediante el empleo de betunes modificados con polímeros en sustitución de los betunes tradicionales.

Tanto si se añaden fibras o si se trabaja con ligantes modificados, hay que evitar los áridos con absorción elevada según documento Del Pozo, J. (1998), Experiencia de ACESA en las mezclas discontinuas en caliente para capas finas. *Revista Carreteras*, Vol. 96, p. 34-45. Las fibras incorporadas al esqueleto mineral ejercen un doble papel. Inicialmente permiten fijar un mayor contenido en ligante debido al aumento que producen en la superficie específica a envolver, lo cual se traduce en una película de ligante más gruesa sin riesgo de escurrimiento, interesante desde el punto de vista del envejecimiento y favorable por tanto a la durabilidad de la mezcla. Asimismo, mejora el comportamiento a la acción del agua y se otorga al micro aglomerante una cierta capacidad de auto reparación, interesante desde el punto de vista de su comportamiento frente a soportes fatigados y fisurados.

La fibra ejerce también un papel estructural aportando una armadura al mortero, mejorando su cohesión, su resistencia a la tracción, a la deformación plástica y a la fatiga. Igualmente, mejora la estabilidad del conjunto generando un mástico de gran calidad “armado” con la fibra que confiere a la mezcla unas excelentes prestaciones.

Las fibras utilizadas para este fin suelen tener distintas procedencias: mineral (amianto, vidrio, lana de roca), orgánicas (celulosa) o sintéticas (polipropileno, poliésteres, acrílicas). Se han utilizado las fibras de amianto, su probada toxicidad ha hecho que su empleo esté prohibido en numerosos países. Utilizándose en su lugar las fibras orgánicas y sintéticas. Se suelen emplear en pequeñas proporciones, oscilando alrededor del 0,3 al 0,5% sobre el peso de los áridos (0,3 - 0,5% celulosa, 0,5 - 0,6% poliéster y 0,8 - 0,9% fibras minerales).

La otra línea para mejorar las características mecánicas de las carpetas asfálticas delgadas ha sido la utilización de ligantes modificados, fundamentalmente con polímeros elastómeros. Con la incorporación de polímeros a los betunes se

consiguen ligantes de reología mejorada principalmente lo que respecta a una menor susceptibilidad térmica, aumento de su elasticidad, viscosidad y cohesión interna. La gran variedad de polímeros comerciales, las posibilidades de modificación de los ligantes con polímeros son muy grandes. No obstante, el campo se reduce porque no todos los polímeros son compatibles con los ligantes bituminosos. Los polímeros empleados de forma más generalizada para modificar los betunes asfálticos son los elastómeros termoplásticos del tipo SBS (estireno- butadieno - estireno) lineales, ramificados o estrellados, junto con los copolímeros del tipo etileno acetato de vinilo (EVA). Con EVA se consigue elevar la resistencia a las deformaciones plásticas, empleándose a veces también para mejorar la trabajabilidad a baja temperatura ambiente, el SBS suele pretender mejorar la flexibilidad, disminuir la susceptibilidad térmica y en ocasiones mejorar la adhesividad con los áridos según documento Kraemer, C., Morilla, I., del Val, M.A. (1999), Carreteras II. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.

**CAPITULO III**  
**CRITERIOS DE DISEÑO DE CARPETAS**  
**ASFALTICAS DELGADAS**

### 3.1 Criterios de selección del tipo de fórmula de diseño de una carpeta asfáltica delgada.

Una guía básica de selección que proporciona a los diseñadores algunos métodos probados y validados en los Estados Unidos de América para seleccionar los tipos de mezcla asfáltica apropiados teniendo en cuenta factores como el tráfico, el medio ambiente, estructura del pavimento adyacente, condición y preparación del pavimento existente, así como las consideraciones de los factores económicos del proyecto en estudio, se muestran en la publicación de la NAPA denominada “National Asphalt Pavement Association, Serie 128, HMA Pavement Mix Type Selection Guide”. Ver Imagen 2. Criterios de selección del tipo de mezcla según el nivel de tráfico de servicio y la imagen 3 y 4. Espesores mínimos de la carpeta asfáltica según el tipo de tráfico y tipo de mezcla asfáltica.

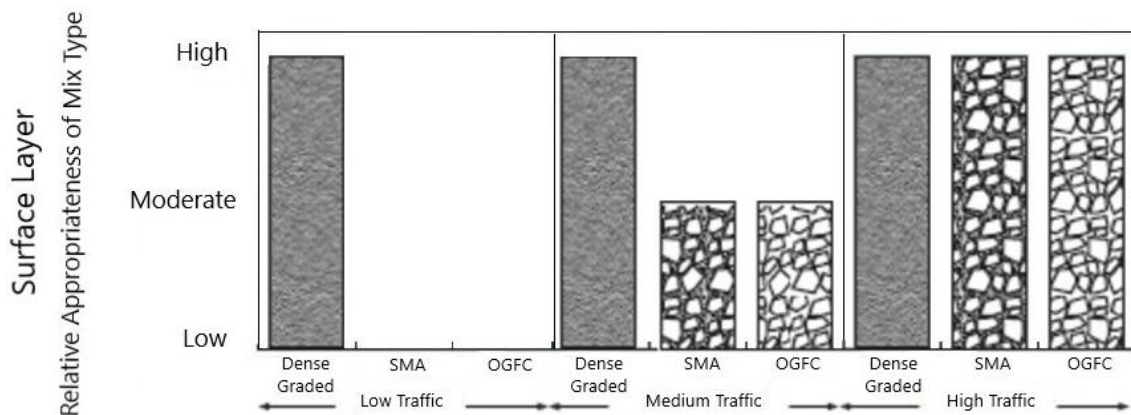


Figura 3 Criterios de selección del tipo de mezcla según el nivel de tráfico de servicio

Fuente: National Asphalt Pavement Association, Serie 128, HMA Pavement Mix Type Selection

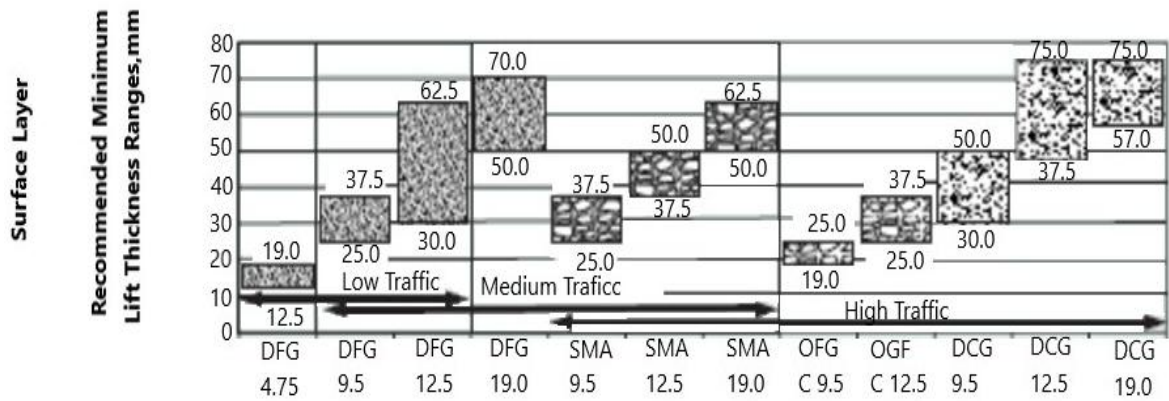


Figura 4 Espesores mínimos de la carpeta asfáltica según el tipo de tráfico y tipo de mezcla asfáltica

Fuente: National Asphalt Pavement Association, Serie 128, HMA Pavement Mix Type Selection.

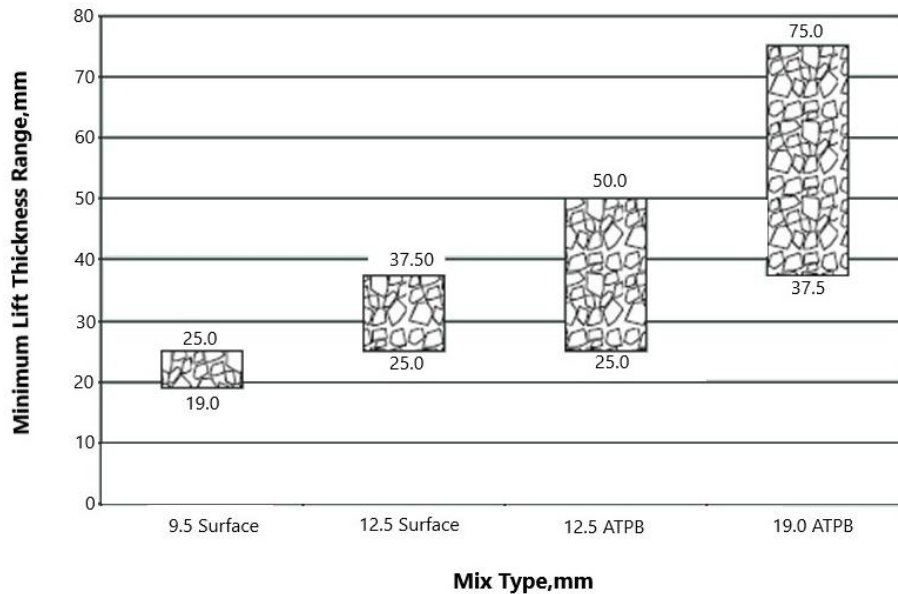


Figura 5 Espesores mínimos de la carpeta asfáltica según la posición de la capa en la estructura del pavimento

Fuente: National Asphalt Pavement Association, Serie 128, HMA Pavement Mix Type Selection.

De conformidad con la publicación 128, HMA Pavement Mix Type Selection, antes mencionada, se puede identificar que una carpeta asfáltica delgada puede

ser utilizada para diferentes tipos de niveles de tráfico, siempre y cuando se tenga la consideración del tipo de graduación de la mezcla asfáltica seleccionada.

### 3.2 Selección de la graduación de los agregados pétreos para la fórmula de trabajo.

La graduación de los agregados pétreos que componen una carpeta asfáltica delgada, así como la especificación de sus propiedades volumétricas y su caracterización del ligante asfáltico, dependen de cada una de las agencias de cada región, tomado del documento **WRSC-UNR-TAO-201601, Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, sección graduación y propiedades de los agregados para carpetas asfálticas delgadas**. Ver Tabla 1 Graduación de carpetas asfálticas densas delgadas para agencias de Estados Unidos de América.

*Tabla 1 Graduación de carpetas asfálticas densas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos*

Tamaño de Tamiz	Porcentaje en peso que pasa							
	Tamaño Máximo Nominal							
	1/2 pulgadas (12.5mm)		3/8 pulgadas (9.5mm)				N°4 (4.75mm)	
	Alabama	North Carolina	Utah	Nevada	Georgia	Ohio	New York	Maryland
3/4" 19mm	100	100						
1/2" 12.5mm	90 - 100	85 - 100	100	100	100	100		
3/8" 9.5mm	< 90	60 - 80	90 - 100	85 - 100	90 - 100	95 - 100	100	100
N°4 4.75mm		28 - 38	< 90	50 - 75	75 - 95	85 - 95	90 - 100	80 - 100
N°8 2.36mm	28 - 58	19 - 32	32 - 67		60 - 65	53 - 63	30 - 70	36 - 76
N°50 0.300mm		8 - 13			20 - 50	4 - 19		
N°200 0.075mm	2 - 10	4 - 7	2 - 10	3 - 8	4 - 12	3 - 8	2 - 10	2 - 12

Fuente: Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, section Aggregate *Gradation and Properties*.

### 3.3 Tipo de ligantes asfálticos para una capa asfáltica delgada.

La selección del tipo de ligante asfáltico dependerá principalmente de dos condiciones, el clima y el nivel tráfico, **WRSC-UNR-TAO-201601, Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, section, Asphalt Binder.**

*Tabla 2 Tipos de ligantes asfálticos utilizados para mezclas de capas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos de América*

<b>Agencias Estatales</b>	<b>Asphalt Binder Type</b>
Minnesota	Straight asphalt binder
New Jersey	Polymer-modified PG 76-22
New York (downstate region)	Polymer-modified PG 76-22
New York (upstate region)	Polymer-modified PG 76-22
North Carolina (ESAL level: highest)	Polymer-modified PG 76-22
North Carolina (ESAL level: lowest)	Polymer-modified PG 64-22
Ohio	Polymer-modified PG64-22 or PG 76-22

Fuente: Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, section Asphalt Binder

De conformidad con la tabla 2, se puede determinar que la mayoría de las agencias de los Estados Unidos de América, recomiendan el uso de asfaltos modificados específicamente para las capas asfálticas delgadas condición que también es mencionada por la “National Asphalt Pavement Association, Serie 128, HMA Pavement Mix Type Selection Guide, General Recommendation”, dado que la modificación de los asfaltos aumenta la durabilidad y funcionalidad.

### 3.4 Criterios del diseño de mezclas asfáltica para la capa delgada.

Así como existen muchos criterios para la selección del tipo de graduación y del tipo de cemento asfáltico que compone la carpeta asfáltica delgada, también existen diferentes propuestas de diseño de las mezclas asfálticas de capa delgada, tales como las descritas a continuación, las cuales corresponden a la disponibilidad de ensayos adicionales y disponibles por cada región que les permiten conocer los desempeños a través de ensayos de laboratorio; como por ejemplo Georgia, Illinois, North Carolina, Ohio, Texas and Washington, que incluyen los ensayos de: Asphalt Pavement Analyzer (APA) or the Hamburg Wheel-Tracking Device (HWTD). **WRSC-UNR-TAO-201601, Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, section Mix Design.**

*Tabla 3 Criterio de diseño de las propiedades volumétricas de mezclas asfálticas de capas delgadas según las agencias estatales de Estados Unidos*

Property	Alabama	Georgia	Maryland	Nevada	New York	North Carolina	Ohio	Utah
Design Number of gyrations, Ndesign-based on traffic level	60	50	50 - 65	N/A	75		50 - 75	50 - 125
Design Air Voids (%)		4 - 7	4	3-6	4		3.5	3.5
VMA (%)	15.5 min			12 - 22	16 min		15 min	
VFA (%)		50-80			70 - 78			70-80
Asphalt Content (%)	5.5 min	6.0 - 7.5	5.0 - 8.0			4.6 - 5.6	6.4 min	

Fuente: Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada, RENO, section Mix Design.

**CAPITULO IV**  
**DESCRIPCION DE TRAMO DE ESTUDIO**

#### 4.1 Ubicación geográfica del tramo de estudio.

El tramo de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cuscatlán, el cual forma parte de la carretera Panamericana que conduce de San Salvador a San Vicente; su clasificación es interdepartamental primaria, que cuenta con dos carriles de circulación vehicular por sentido, dicho proyecto fue desarrollado bajo el contrato denominado: Mantenimiento periódico de la ruta CA01E: DV. de San Rafael Cedros - DV de San Esteban Catarina, bajo la administración del Fondo de Conservación Vial en el año 2019.

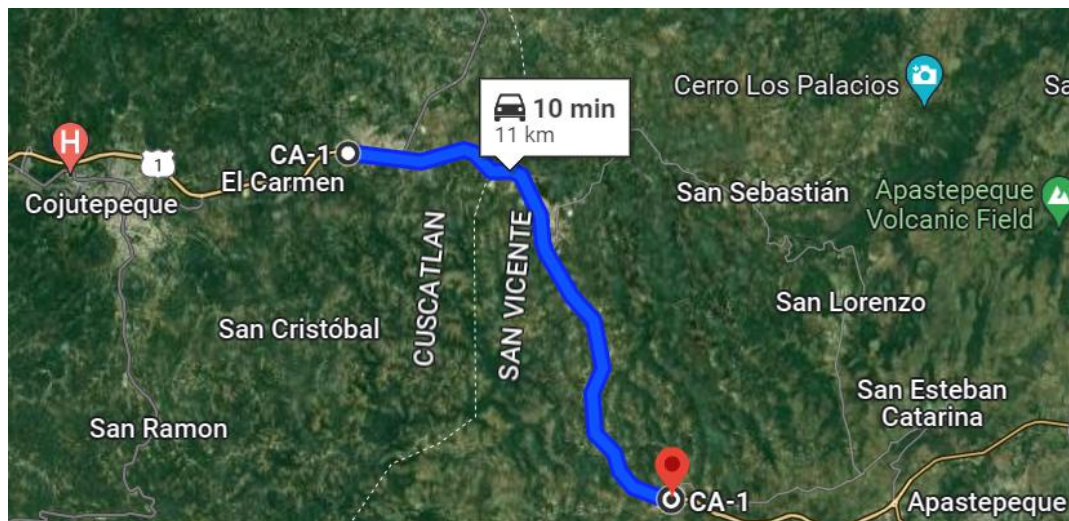


Figura 6 Esquema de ubicación geográfica

Fuente Google Maps 2023

#### 4.2 Transito promedio diario anual

El estudio de tráfico fue tomado del levantamiento realizado por el Ministerio de obras públicas en la Dirección de Planificación de la Obra Pública, Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales área de estudios de tránsito del 2015, el cual fue proyectado para el año de estudio de 2019 con una tasa de crecimiento anual de 3.0%.

Tabla 4 Transito promedio diario anual para el año 2015 tomado del ministerio de obras públicas (MOPT).

Red vial pavimentada		Livianos		Pesados						TPDA
		Pasajero	carga	Pasajero		Carga				
Código ruta	Tramo	auto	Pick up	microbús	bus	C2	C3	T3-S2	T3-S3	
CA1AE	Desvío San Esteban Catarina – Desvío San Vicente	5,522	4,831	165	542	1,122	117	431	263	12,993
	Desvío San Sebastian – Desvío San Esteban Catarina	5,522	4,831	165	542	1,122	117	431	263	12,993

Tabla 5 Transito promedio diario anual proyectado para el año 2019)

Red vial pavimentada		Livianos		Pesados						TPDA
		Pasajero	carga	Pasajero		Carga				
Código ruta	Tramo	auto	Pick up	microbús	bus	C2	C3	T3-S2	T3-S3	
CA1AE	Desvío San Esteban Catarina – Desvío San Vicente	6,215	5,437	186	610	1,263	132	485	296	14,624
	Desvío San Sebastian – Desvío San Esteban Catarina	6,215	5,437	186	610	1,263	132	485	296	14,624







En la imagen siguiente se presenta el cálculo de la cantidad de Esals que transitan en la vía de estudio, cálculo realizado haciendo uso del software WinPas12 de la guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

**Total ESALs by Vehicle Type**

Estimated Rigid Thickness **4.00**      Design Life **5** years  
 Estimated Asphalt SN **3.00**      Annual Growth Rate **3.00** %  
 Terminal Serviceability **2.50**      Traffic Input By (M/D/Y) **Day**

Save and Close  
Help

**Vehicle Load and Volume Data**

Vehicle	Axle Load	Axle Type	Number	Vehicle	Axle Load	Axle Type	Number
P 	2.2	Single		SU3 	11	Single	
	0	Single			11	Single	
	2.2	Single	11,652		22	Single	485
SU 	2.2	Single		WB-50 	11	Single	
	0	Single			22	Single	
	11	Single	2,059		36.6	Tandem	296
BUS, SU2 	11	Single		WB-60 	0	Single	
	0	Single			0	Tandem	
	19.8	Single	132		0	Tandem	
					0	Single	
				0	Single	0	

Total Rigid ESALs **1,618,073**      Total Flexible ESALs **1,410,382**

Figura 7 Cálculo de cantidad de ESALs

Fuente software WinPas 12

### **4.3 Índice de condición del pavimento “PCI”**

Se realizó un estudio de la cuantificación y clasificación de los deterioros presentes en la estructura del pavimento, previo a la intervención; el tramo de estudio corresponde al estacionamiento comprendido de 7+680 a 7+980.

El procedimiento realizado fue desarrollado de conformidad a los métodos siguientes:

- ✓ Manual Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program, Federal Highway Administration, publication 2003.
- ✓ Norma ASTM D 6433-18 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”.

De la evaluación realizada se identificó únicamente la presencia de grietas piel de cocodrilo en niveles de deterioros leves, medios y severos.

#### **Procedimiento de Clasificación.**

##### ***Falla por Fatiga***

Descripción: Este tipo de falla ocurre en áreas sometidas a cargas de tráfico repetidas (trayectos donde pasan las ruedas). Se identifican fácilmente porque son grietas interconectadas en las primeras etapas de desarrollo, comúnmente son denominadas piel de cocodrilo.

Niveles de gravedad

*LEVE:* Un área de grietas poco visibles con sólo unas pocas grietas de conexión.

*MEDIO:* Un área de grietas interconectadas que forman un patrón completo; Las grietas pueden ligeramente visualizarse.

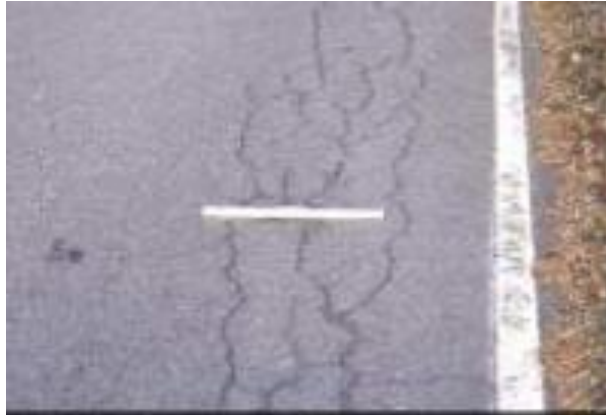
*SEVERO*: Un área de grietas interconectadas moderada o severamente dañadas por completo; Las piezas pueden moverse cuando están sometidas al tráfico.



*Figura 8 Piel de Cocodrilo. Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*



*Figura 9 Piel de Cocodrilo. Deterioro Leve, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*



*Figura 10 Piel de Cocodrilo. Deterioro Moderado, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Performance Program*



*Figura 11 Piel de Cocodrilo. Deterioro Severo, Fuente Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*

#### **4.3.1 Procedimiento de evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

Se identificó que el principal deterioro de la estructura de pavimento en estudio corresponde a la falla del tipo Piel de Cocodrilo. Por lo que el criterio de clasificación de su nivel de severidad fue desarrollado según la nomenclatura siguiente:

### ***Cuantificación de Áreas Deterioradas del tramo en estudio***

Longitud total de estudio: 300.00 ml

Ancho de la vía: 7.30 ml

Área total evaluada: 2,190.0 m<sup>2</sup>

Área con Piel de Cocodrilo con Deterioro Leve: 125.00 m<sup>2</sup>

Área con Piel de Cocodrilo con Deterioro Medio: 45.00 m<sup>2</sup>

Área con Piel de Cocodrilo con Deterioro Severo: 10.00 m<sup>2</sup>

### **Terminología de evaluación del PCI**

Las terminologías citadas a continuación corresponden a la clasificación del procedimiento de evaluación del Índice de Condición del Pavimento según los documentos:

- ✓ Manual Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program, Federal Highway Administration, publication 2003.
- ✓ Norma ASTM D 6433-18 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”.

Densidad: Es el porcentaje obtenido de la división del área total de daño entre el área total de la unidad de muestreo.

DV: Valor Deducido, es el valor obtenido mediante cada tipo de daño y su nivel de severidad, en su interpolación en las curvas de “Valor Deducido del Daño”.

TDV: Valor Deducido Total, es la suma de todos los valores independientes de CD para una unidad de muestreo.

q: Número de DV mayores que dos, en una unidad de muestreo.

CDV: Valor Deducido Corregido, es la corrección del CDT interpolándolo con el número q para cada unidad de muestreo en la curva de “Corrección del Valor Deducido”.

mi: Número Máximo de Valores deducidos considerados el cual es calculado utilizando la ecuación 1. Ver a continuación:

$$mi = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDVi) \text{ Ecuación 1.}$$

Dónde: HDVi es el máximo valor deducido.

### **Densidad de Áreas Deterioradas**

Con las áreas identificadas y cuantificadas se procedió a la determinación del nivel de densidad por unidad de área de la incidencia de cada nivel de deterioro:

Densidad Deterioro Leve: 5.71 %

Densidad Deterioro Medio: 2.05 %

Densidad Deterioro Severo: 0.46 %

Con la Densidad del nivel de deterioro identificado, se procedió a la determinación de cada valor deducido. Ver Gráfico 2.

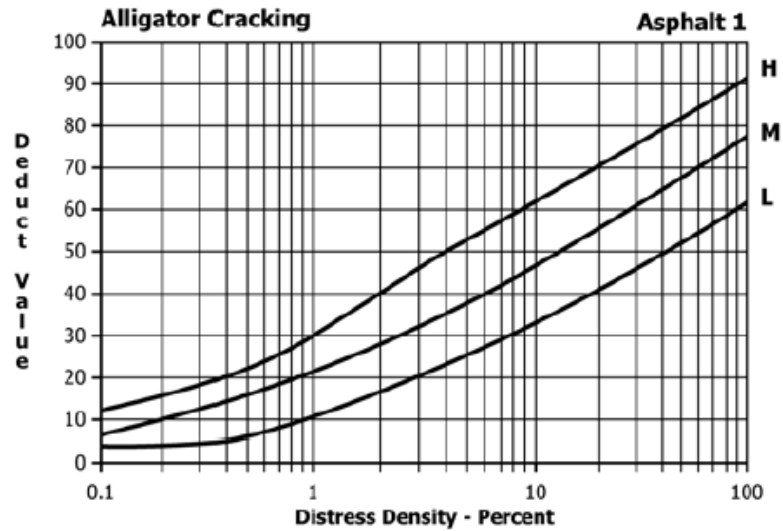


Figura 12 Valores Deducidos para un Deterioro del Tipo Piel de Cocodrilo

Fuente: Norma ASTM D 6433-18 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", Value Deduct for Alligator Cracking.

Utilizando las densidades medidas y el grafico anterior se determinaron los siguientes valores:

Valor Deducido para Deterioro Leve (DV): 22

Valor Deducido para Deterioro Medio (DV): 26

Valor Deducido para Deterioro Severo (DV): 22

Sumatoria Valores Deducidos (TDV): 70

Máximo Valor Deducido: 26

Número Máximo de Valores Deducidos utilizando la Ecuación 1:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 26) \text{ Ecuación 1.}$$

$$m_i = 7.79$$

El número de valores individuales deducidos se reduce a “mi”, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que “mi” se utiliza todos los que se tengan.

Siendo para nuestro caso  $q = 7$ .

Con la evaluación de cada valor deducido, se procedió a la identificación del Valor Deducido Corregido (VCD), el cual servirá directamente para la identificación del Índice de Condición del pavimento (PCI). Ver Gráfico 3.

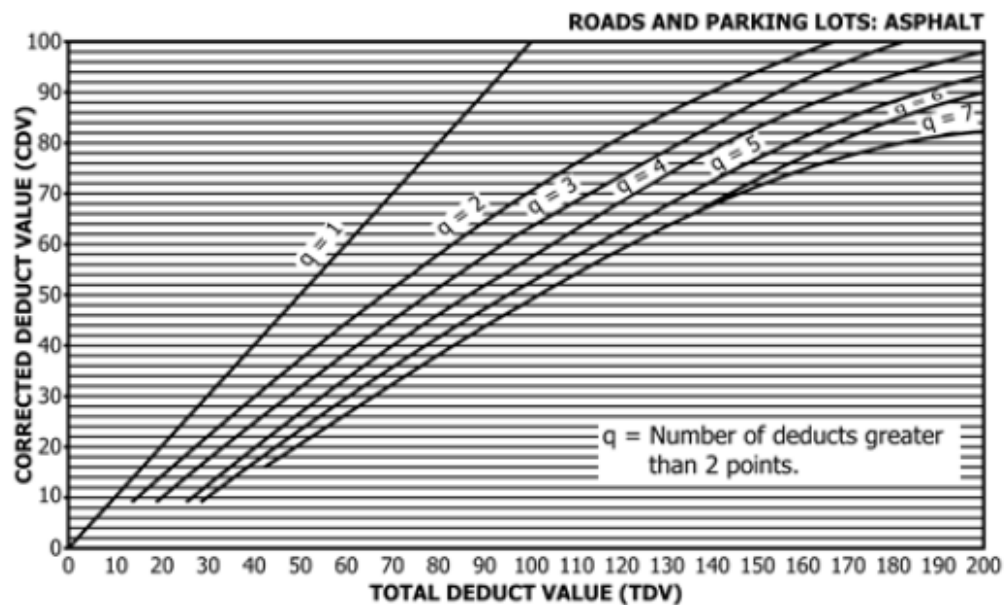


Figura 13 Identificación del valor deducido corregido

Fuente: Norma ASTM D 6433-18 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, Corrected Deduct Value (CDV).

Utilizando el gráfico de la figura 13, se encontró que el Valor Deducido Corregido (CDV) es: 32.

Valor que corresponde al máximo valor deducido.

Utilizando la Ecuación 2.

$$PCI = 100 - \text{Max.CDV}$$

$$PCI = 100 - 32 = 68$$

$$PCI = 68$$

El valor de PCI encontrado se compara con los valores establecidos en la figura 14, correspondientes a la clasificación establecida en la norma “ASTM D 6433-18 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”.

	Standard PCI™ Rating Scale	Suggested Colors
100	<b>Good</b>	Dark Green
85	<b>Satisfactory</b>	Light Green
70	<b>Fair</b>	Yellow
55	<b>Poor</b>	Light Red
40	<b>Very Poor</b>	Medium Red
25	<b>Serious</b>	Dark Red
10	<b>Failed</b>	Dark Grey
0		

*Figura 14: Evaluación de la condición del pavimento mediante el calculo del PCI*

*Fuente: Norma ASTM D 6433-18 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, Rating Scale, Pavement Condition Index.*

Nota: De acuerdo con la figura 14 encontramos una clasificación Fair (Estructura que ha fallado) mediante el cálculo del Índice de la Condición del Pavimento (PCI).

#### 4.4 Diseño de carpeta asfáltica delgada

Los parámetros de diseño de la carpeta asfáltica delgada son mostrados en tabla 6, los cuales fueron realizados de conformidad a los procedimientos descritos en el manual de diseño de mezclas MS-2 Asphalt Mix Design Methods del Instituto Americano del Asfalto; los criterios de diseño corresponden a las recomendaciones realizadas por la especificación técnica de Fovial para el proyecto denominado “Mantenimiento Periódico de La Ruta CA01E: Desvío de San Rafael Cedros, Desvío San Esteban Catarina”, 2017.

*Tabla 6 Parámetros de diseño Marshall para carpetas asfálticas delgadas*

Parámetro	Resultado	Criterio	
		Min	Max
Contenido de Asfalto (%)	5.16 %	5.00%	5.60%
Estabilidad Marshall (kg)	1,825	816.46 Min	
Flujo (mm)	3.96	2	4
G. Bulk	2.203	-	
Gmm	2.371	-	
Vacios de Aire (%)	7.09%	4% Min	8% Max
V.M.A (%)	18.29%	15 % Min	
V.F.A (%)	61.260%	60% Min	78 max %
Relación Filler/Asfalto	1.064	0.6	1.6
P.E Asfalto	1.064	-	

Tabla 7 Parámetros de diseño del asfalto modificado

Ensayo	Resultado	Criterio	
		Min	Max
Determinación de la clasificación por Desempeño PG (valor superior), ( $^{\circ}\text{C}$ ), $G^*/\sin\delta$ ; según AASHTO T 315.	PG76H, 1.071	1.0	–
Ensayo de película delgada (RTFOT), cambio de masa, (porcentaje), según ASTM D 2872.	-0.449	–	1
Determinación del grado de desempeño usando Multiples Stress Creep Recovery (MSCR), muestra envejecida después de RTFOT, ( $^{\circ}\text{C}$ ), Jnr3-2, 1/kPa, según AASHTO T 350.	HEAVY TRAFFIC "V" GRADE; 0.6291	–	1
Determinación del Grado de Desempeño PG de Asfaltos Modificados, después de Acondicionados en pruebas PAV + RTFOT, ( $^{\circ}\text{C}$ ), $G^*\sin\delta$ , kPa, según AASHTO T 315.	PG22; 4782.692	–	6,000

#### 4.5 Estudios de medición de IRI proyecto.

Para la realización de las mediciones del IRI del proyecto, se utilizó el perfilómetro Walking Profiera modelo CS8800 Clase I; el cual es un instrumento que genera numerosas estadísticas de calidad y representaciones de rugosidad localizada; cumpliendo con la norma ASTM E950 "Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference" y estándares del Banco Mundial. Los resultados de la medición son presentados en las tablas 8 y 9.

Tabla 8 Medición de IRI condición inicial

CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS, S.A. DE C.V. UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD REPORTE DE INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (AASHTO PP37)							
Proyecto:		" MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA01E: DV. SAN RAFAEL CEDROS - SAN ESTABAN CATARINA"					
Supervisor:		Realizó: Calvin Ramírez					
Tipo de rodaje:		Pavimento existente antes de colocación de microcarpeta					
LATERAL DERECHO							
FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE MEDICIÓN	ESTACION		IRI m/km			OBSERVACIONES
		INICIO	FIN	Carril Interno			
				Huella Interna	Huella Externa	Promedio	
		7+680.00	7+780.00	2.97	2.95	2.96	100 m
		7+780.00	7+880.00	3.45	2.87	3.16	100 m
		7+880.00	7+980.00	2.60	2.41	2.51	100 m
<b>OBSERVACIONES:</b> La medición del IRI se realizó con un perfilometro clase 1 CS8800 Walking Profiler							

Tabla 9 Medición de IRI condición final

CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS, S.A. DE C.V. UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD REPORTE DE INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (AASHTO PP37)							
Proyecto:		" MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA01E: DV. SAN RAFAEL CEDROS - SAN ESTABAN CATARINA"					
Supervisor:		Realizó: Calvin Ramírez					
Tipo de rodaje:		Microcarpeta colocada aobre pavimento existente					
LATERAL DERECHO							
FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE MEDICIÓN	ESTACION		IRI m/km			OBSERVACIONES
		INICIO	FIN	Carril Interno			
				Huella Interna	Huella Externa	Promedio	
		7+680.00	7+780.00	1.15	1.83	1.49	100 m
		7+780.00	7+880.00	1.48	1.49	1.49	100 m
		7+880.00	7+980.00	1.34	1.29	1.32	100 m
<b>OBSERVACIONES:</b> La medición del IRI se realizó con un perfilometro clase 1 CS8800 Walking Profiler							

Figura 15 Grafico comparativo de IRI antes y después de la intervención

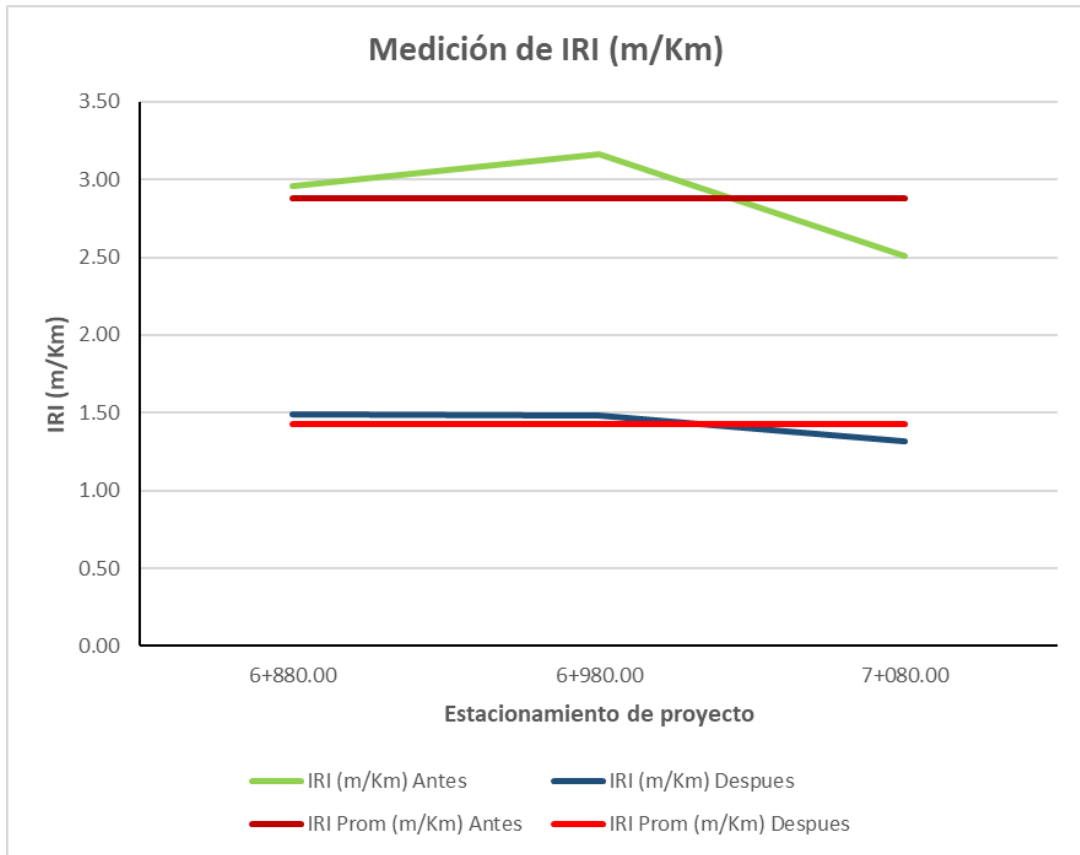


Tabla 10 Ensayo de deflexión con viga Benkelman antes de la colocación de carpeta asfáltica delgada

DATOS OBTENIDOS DE CAMPO				DATOS AJUSTADOS					METODO AASHTO 1993						
Estacionamiento de Medición	Carril	Temp. Ambiente °C	Temp. Pav °C	F. Ajuste Temp. Pav °C	Deformación Obtenida (0.001") Ajustada por Temperatura					Mr AASHTO 93	CBR AASHTO 93	( AASHTO 93)	Ep/MR	Ep AASHTO 93	SNef AASHTO 93
					0.30 m	0.60 m	0.90 m	1.50 m	5.00 m	MR SubRasante (PSI)= 0.24P/dr.r	CBR AASHTO 93 = Mr(PSI)/1500	Mr.Do/P (AASHTO 93)		Ep AASHTO 93	SNef = 0.0045xDxE p^1/3
					D5.0	D1.5	D 0.90	D0.60	Do						
7+600	Izquierdo	30.5	45.01	0.9	4.5	9.0	9.0	9.9	9.9	2438.4	1.63	18.0	10.0	24384.0	2.61
7+700	Izquierdo	30.5	45.01	0.9	4.5	3.6	3.6	3.6	8.1	2438.4	1.63	14.7	10.0	24384.0	2.61
7+800	Izquierdo	30.0	44.62	0.9	4.5	7.2	9.0	9.0	9.0	2438.4	1.63	16.3	10.0	24384.0	2.61
7+900	Izquierdo	30.0	44.62	0.9	10.8	9.0	9.0	9.0	10.8	1016.0	0.68	8.2	40.0	40640.1	3.09

Tabla 11 Ensayo de deflexión con viga BenKelman después de la colocación de carpeta asfáltica delgada

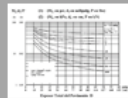
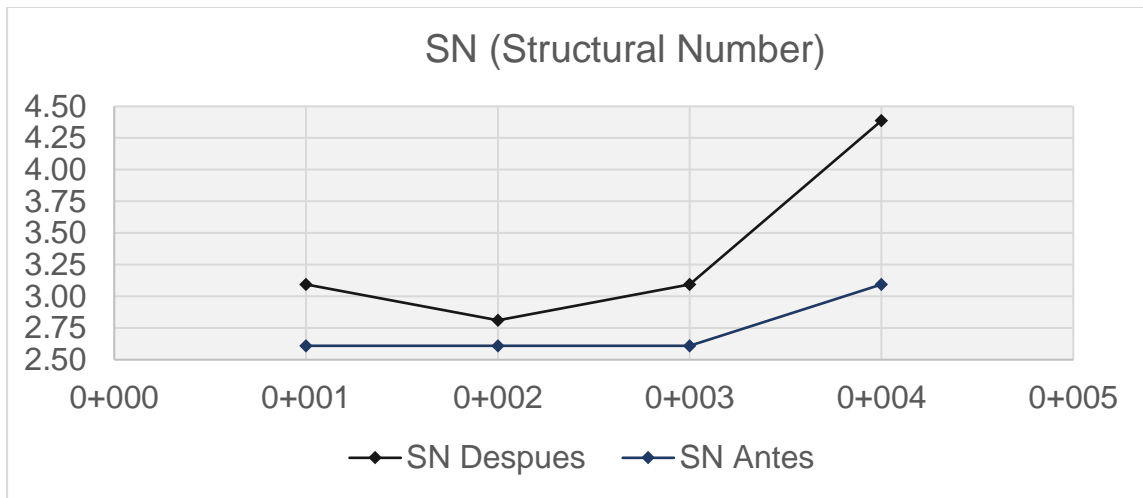
DATOS OBTENIDOS DE CAMPO				DATOS AJUSTADOS					METODO AASHTO 1993						
Estacionamiento de Medición	Carril	Temp. Ambiente °C	Temp. Pav °C	F. Ajuste Temp. Pav °C	Deformación Obtenida (0.001") Ajustada por Temperatura					Mr AASHTO 93	CBR AASHTO 93	( AASHTO 93)	Ep/MR	Ep AASHTO 93	SNef AASHTO 93
					0.30 m	0.60 m	0.90 m	1.50 m	5.00 m	MR SubRasante (PSI)= 0.24P/dr.r	CBR AASHTO 93 = Mr(PSI)/1500	Mr.Do/P (AASHTO 93)		Ep AASHTO 93	SNef = 0.0045xDxEp^1/3
					D5.0	D1.5	D 0.90	D0.60	Do						
7+680	Izquierdo	33.0	46.9616	0.9	2.7	2.7	2.7	4.5	6.3	4064.0	2.71	19.0	10.0	40640.1	3.09
7+780	Izquierdo	33.0	46.9616	0.9	3.6	3.6	3.6	5.4	8.1	3048.0	2.03	18.4	10.0	30480.1	2.81
7+880	Izquierdo	33.0	46.9616	0.9	2.7	3.6	3.6	5.4	10.8	4064.0	2.71	32.7	10.0	40640.1	3.09
7+980	Izquierdo	33.0	46.9616	0.9	1.8	3.6	5.4	8.1	11.7	6096.0	4.06	53.1	19.0	115824.2	4.39

Figura 16 Grafico comparativo de las deflexiones medidas con la viga Benkelman antes y después de pavimentar



#### 4.6 Calculo de modulo dinámico de la carpeta asfáltica delgada.

El ensayo de modulo dinámico en mezclas asfálticas fue recomendado por la guía de diseño AASHTO 2000 o MEPDG, la cual incluye el análisis del comportamiento de las mezclas asfálticas a diferentes temperaturas y frecuencias de carga de ensayo, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la Universidad de Costa Rica, los cuales fueron analizados haciendo uso del software Pitra-ImoDin2.1

Tabla 12 Relación de cálculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica utilizada para la capa asfáltica delgada, relación modulo y temperatura

Temperatura (F)	Frecuencia (Hz)	Módulo (ksi)	Ángulo de fase (°)
4,4	25.0	13,679.0	9,46
4,4	10.0	12,379.0	10,4
4,4	5.0	11,401.0	11,21
4,4	1.0	9,216.0	13,29
4,4	0,5	8,251.0	14,26
4,4	0,1	6,308.0	16,86

Temperatura (F)	Frecuencia (Hz)	Módulo (ksi)	Ángulo de fase (°)
21,1	25.0	6,960.0	18,07
21,1	10.0	5,781.0	19,79
21,1	5.0	4,987.0	20,96
21,1	1.0	3,417.0	23,85
21,1	0,5	2,874.0	24,75
21,1	0,1	1,843.0	26,98
37,7	25.0	2,336.0	27,93
37,7	10.0	1,734.0	28,89
37,7	5.0	1,391.0	28,85
37,7	1.0	780,4	29,04
37,7	0,5	614,8	28,41
37,7	0,1	350,3	27,93
54,4	25.0	905,3	32,43
54,4	10.0	618,7	32,54
54,4	5.0	482,7	31,28
54,4	1.0	260,6	29,47
54,4	0,5	204,8	28,19
54,4	0,1	121,2	26,09

Pitra-ImoDin 2.1 - □ ×

Archivo Archivos para carga de datos Language Ayuda

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Entrada Comprobación Solución

### Ingresar datos

	Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	E* (MPa)	Ángulo de fase (°)
1	4.4	25	13679	9.46
2	4.4	10	12379	10.4
3	4.4	5	11401	11.21
4	4.4	1	9216	13.29
5	4.4	0.5	8251	14.26
6	4.4	0.1	6308	16.86
7	21.1	25	6960	18.07
8	21.1	10	5781	19.79
9	21.1	5	4987	20.96
10	21.1	1	3417	23.85
11	21.1	0.5	2874	24.75
12	21.1	0.1	1843	26.98

Temperatura de referencia (°C)

Método de cálculo: Arrhenius

Número de datos: 24

Cargar datos:

Unidades de cálculo: MPa - C°

Comprobación de datos:

© 2022 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Figura 17 Datos de modulo dinámico modelo Arrhenius Pitra ImoDin 2.1

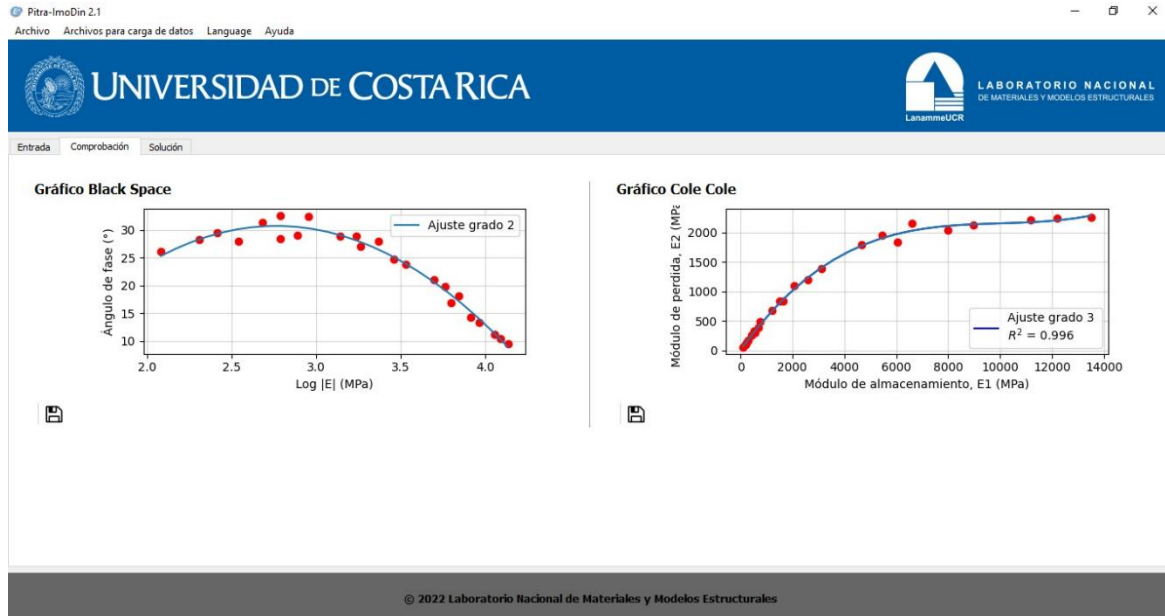


Figura 18 Grafico Black Space y Cole Cole, modelo de Arrhenius, Pitra ImoDin 2.1

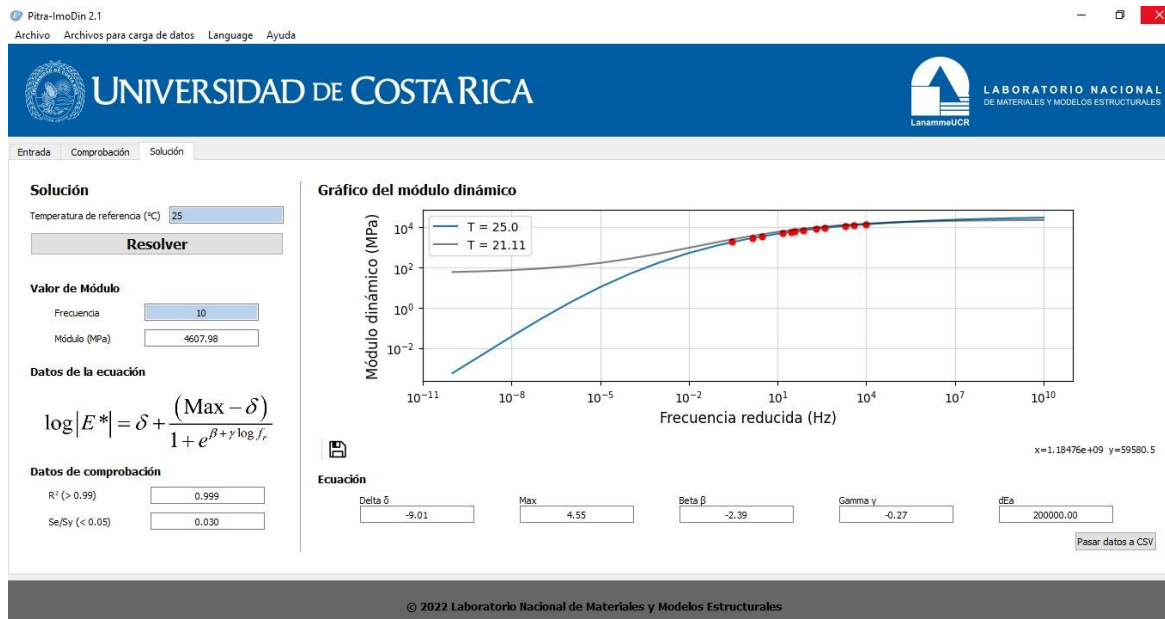


Figura 19 Calculo de modulo dinámico, modelo de Arrhenius, Pitra ImoDin 2.1

#### 4.7 Calculo de Flow Number o número de flujo de la carpeta asfáltica delgada.

El ensayo Flow Number o Número de Flujo (FN) fue recomendado por NCHRP 9-1910 como uno de los ensayos (junto con el módulo dinámico y Flow time) para evaluar el ahuellamiento de mezclas asfálticas en caliente en laboratorio. Entre una de las razones por la que fue escogido entre 24 ensayos, fue por la buena correlación que se obtuvo con ahuellamiento en terreno. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la Universidad de Costa Rica.

El ensayo consiste en aplicar una carga tipo Haversine de compresión, con ciclos de 1 segundo de duración, compuesto por un pulso de 0,1 segundo.



Figura 20 Archilla et al 2007; WsDOT 2011 or as the number of load cycles at which tertiary Flow (i.e. tertiary zone)

Tabla 13 Densidad Bulk medida a cada muestra de ensayo y relación de vacíos de aire compactado

Mezcla	Probeta	G (kg/m <sup>3</sup> )	%Va
1	1	2241.6	7.5
	2	2218.1	7.0
	3	2212.8	7.2
	4	2211.4	6.9

Tabla 14 Parámetros del método de ensayo

Parámetro	Valor
Esfuerzo axial	600 (kPa)
Esfuerzo de contacto (5% esfuerzo axial)	30 (kPa)
Esfuerzo de confinamiento	0 (kPa) Sin confinamiento

Tabla 15 Resultados del ensayo Flow Number de la muestra de carpeta asfáltica delgada colocada en el proyecto

Mezcla	Probeta	FN	t(F)	$\epsilon_p(F)$	Índice FN
1	1	30.0	0.5	13459.0	566.0
	2	50.0	0.83	24942.0	498.8
	3	150.0	2.5	27984.0	200.5
	4	60.0	1	30081.0	415.7
				<b>Promedio:</b>	<b>420.25</b>

# **CAPITULO V**

## **CONCLUSIONES**

## 5.1 Conclusiones

- El diseño de la mezcla asfáltica utilizada para la carpeta asfáltica delgada fue desarrollado según el instituto del asfalto de acuerdo con la guía de diseño de mezclas manual serie MS-2 séptima edición, para una mezcla asfáltica de granulometría discontinua.
  
- El retro-cálculo del número estructural del pavimento haciendo uso de la Viga Benkelman de conformidad a la guía de diseño de pavimentos AASHTO 93, corresponde a los datos siguientes:
  - ✓ Condición previa a la colocación de carpeta asfáltica delgada: Valor Promedio de SN 2.73 en un tramo de estudio de 300m.
  - ✓ Condición posterior a la colocación de la carpeta asfáltica delgada: Valor Promedio de SN 3.345 para el tramo de estudio de 300m.

Con los datos obtenidos se puede determinar que la estructura de pavimento presento un incremento del 22.53% en capacidad estructural según el retro-cálculo con deflexiones medidas haciendo uso de la viga Benkelman.

- El módulo dinámico de la carpeta asfáltica delgada determinado a partir de los datos de ensayo obtenidos en el laboratorio de la Universidad de Costa Rica es de 4,607.0 Mpa, equivalente a 668,188.68 Psi, a una temperatura de referencia de 25°C, calculado con el software Pitra-ImoDin 2.1. El módulo dinámico,  $|E^*|$ , es una de las propiedades más relevantes de la mezcla bituminosa, ya que determina su respuesta tenso-deformacional frente a acciones termo-mecánicas externas, algunas agencias de los Estados Unidos recomiendan módulos dinámicos mínimos de 4,000Mpa para mezclas asfáltica modificadas y de 5,000 Mpa a 11,000Mpa para mezclas asfálticas modificadas de alto modulo.

- El valor de Flow Number obtenido de la mezcla asfáltica modificada utilizada para la capa asfáltica delgada es de promedio de 420.25, el cual de conformidad con la publicación denominada Evaluation of Flow Number (Fn) as a Discriminating HMA Mixture property de Wisconsin Highway Research Program equivale para una mezcla asfáltica de tráfico pesado.

*Tabla 16 Recomendaciones mínimas de los requerimientos de Flow Number*

<b>Traffic Level Milion ESALs</b>	<b>Minimum Flow Number Cycles</b>
<3	—
3 to < 10	53
10 to < 30	190
≥ 30	740

Cabe destacar que las recomendaciones realizadas por el estado de Wisconsin, establecen que las mezclas asfálticas para capas delgadas cuyas comparaciones de correlación presentan mejores resultados entre el número de flujo y los ahuellamientos de campo corresponden específicamente a las mezclas asfálticas del tipo SMA.

- En base a los resultados obtenidos de IRI antes y después de colocar la carpeta asfáltica delgada en el tramo de estudio, se observa una mejora sustancial en cuanto al confort que percibirá al usuario al circular en la zona, ya que baja aproximadamente 1.5 m/Km de IRI con respecto a su condición inicial.

- Las carpetas asfálticas delgadas iniciaron en los años 40 como trabajos de conservación en vías urbanas, utilizando mezclas muy finas a partir de arenas naturales y con el tiempo se fueron viendo otros beneficios, haciendo evolucionar las mezclas según el tipo de exigencia a partir de modificaciones tanto en los agregados como ligantes asfálticos.

# **CAPITULO VI**

## **RECOMENDACIONES**

## 6.1 Recomendaciones

- Realizar un diseño de una carpeta asfáltica delgada haciendo uso de la guía de diseño MS-2 séptima edición para una granulometría densa, tal cual no permita el ingreso de agua en la estructura de pavimento.
- De conformidad con las recomendaciones de la Universidad de Winconsin y algunas agencias de los estados Unidos de América, las carpetas asfálticas delgadas presentan mejores desempeños cuando se le incorporan fibras, tal cual el caso de las mezclas del tipo SMA, las cuales aunque no presentan una estructura densa, si presentan una estructura de relleno que les impide el ingreso de agua en la estructura, por lo que se recomienda realizar un tramo de prueba haciendo uso de este tipo de mezclas asfálticas.
- Realizar los ensayos de módulos dinámicos y Flow Number para una mezcla asfáltica del tipo SMA con un tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ " o  $\frac{3}{8}$ " tal cual pueda ser utilizada como una carpeta asfáltica delgada y comparar así los valores obtenidos de este tipo de mezclas con los valores medidos de esta investigación.
- La técnica de carpeta asfáltica delgada mejora las condiciones de IRI de una vía, pero es necesario un acondicionamiento previo de la superficie a partir de trabajos topográficos, para asegurar que la capa colocada presente un espesor uniforme a lo largo del proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Manual de Series 135 National Asphalt pavement Association, 2009, "Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation".
2. Manual de Series 464 National Asphalt pavement Association, 2014, "Thin Asphalt Concrete Overlays".
3. Manual de Series 122 National Asphalt pavement Association, 2002, "Designing and Constructing SMA Mixtures— State-of-the-Practice".
4. Federal Highway Administration, 2002, "Thin hot-mix Asphalt Overlay".
5. Manual de serie 128, National Asphalt Pavement Association, "HMA Pavement Mix Type Selection Guide".
6. WRSC-UNR-TAO-201601, Thin Asphalt Concrete Overlays – Final Report, University of Nevada.
7. Manual de Series MS-2 Asphalt Mix Design Methods del Instituto Americano del Asfalto, séptima edición.
8. Vialidad Nacional, Argentina, Pliego de especificaciones técnicas generales para microaglomerados asfálticos en caliente y semicaliente del tipo f, 2017.
9. Adrianna Vargas Nordcbeck, Developing Life-Extending Benefit Curves 2 for Asphalt Pavements with Preservation 3 Treatments, 2012.
10. José Avilés Lorenzo (Infraestructura del Transporte y del Territorio), estudio de la tenacidad de los micro aglomerados reciclados en caliente mediante el ensayo BTM. efecto del tipo y contenido de betún, Capítulo 3, septiembre de 2002.
11. Emery, J. (1993), Asphalt Concrete Recycling in Canada. Transportation Research, Record, Vol. 1427, p. 38-46.
12. Van Heystraeten, G. (1993), Cement concrete and asphalt pavements in Belgium. Their design, maintenance and recycling. Belgium Road Research Center.

**CAPITULO VII**

**RECOMENDACIÓN DE**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

## **CARPETAS ASFÁLTICAS DELGADAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO**

### **1. Descripción.**

Esta actividad consistirá en el suministro, colocación, riego de liga, tendido y compactación de una mezcla asfáltica de tipo discontinuo o continuo con ligante asfáltico modificado para una capa de rodadura compactada de un espesor mínimo de 20.0 mm, preparada y colocada sobre una superficie debidamente acondicionada o sobre la superficie de un pavimento existente.

### **2. Materiales.**

El concreto asfáltico en caliente se elaborará de agregados minerales gruesos, agregados finos, filler mineral, y material bituminoso Modificado.

#### **Liga Asfáltica:**

Riego de liga a base de ligante asfáltico modificado PG 64H o superior para una temperatura ambiente superior a los 32°C o emulsión modificada con polímeros de acuerdo con la norma AASHTO M316-16.

#### **Agregado Grueso:**

Debe consistir en fragmentos de roca triturada (gravas).

#### **Agregado fino:**

La porción de agregados que pasa la malla No. 8 se denominará agregado fino y deberá estar compuesto por arena natural, triturados de piedra o de una combinación de ambos. En ningún caso se aceptará un contenido de arena natural mayor al 13 % de la fracción fina. Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes.

#### **Relleno mineral (Filler):**

El material de relleno de origen mineral que sea necesario emplear, se compondrá de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Portland, cal u otros elementos no plásticos, provenientes

de fuentes de origen aprobados por el Supervisor. Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones.

**Cemento asfáltico modificado:**

Se definen como cementos asfálticos modificados con polímeros los ligantes hidrocarbonados resultantes de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico previamente definido. Los cementos asfálticos modificados con polímeros deberán presentar un aspecto homogéneo y estar exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo.

Se deberá utilizar ligante asfáltico modificado clasificado como PG 70V o superior tal cual presente respuesta elástica de conformidad con la norma de ensayo AASHTO M332-14 Performance-Graded Asphalt Binder using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test., los requerimientos de ensayos complementarios están descritos en la siguiente tabla:

TABLA 17 Requisitos del Cemento Asfáltico Modificado.

Ensayo	Propuesta de Especificación
Punto de Llama (°C), según <b>ASTM D 92</b>	230 Mín.
Viscosidad a 135 °C (Pa.s), según <b>AASHTO T 316</b>	3.0 Máx
Determinación de la clasificación por Desempeño PG (valor superior), (°C), G*/sinδ, kPa, según <b>AASHTO T 315</b>	1.0 Mín.
Ensayo de película delgada (RTFOT), cambio de masa, (porcentaje), según ASTM D 2872	1.0 Máx
Determinación del grado de desempeño usando Múltiples Stress Creep Recovery (MSCR), muestra envejecida después de RTFOT, (°C), Jnr3-2, 1/kPa, según <b>AASHTO T 350</b>	0.5 Máx
Determinación del Grado de Desempeño PG de Asfaltos Modificados, después de Acondicionados en pruebas PAV + RTFOT, (°C), G* sinδ, kPa, según <b>AASHTO T 315</b>	6,000 Máx

La designación por desempeño está relacionada con el promedio de temperatura máxima en el pavimento de 7 días, así como el promedio de temperatura mínima, y carga de tráfico.

Para la determinación de esta temperatura máxima se utilizará la ecuación propuesta por El Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (The Strategic Highway Research Program o sus siglas SHRP) basados en comportamiento del pavimento a largo plazo (long-term pavement performance o en sus siglas LTPP).

El valor obtenido es la temperatura del pavimento a 20 mm de profundidad, este es el grado de desempeño que requiere el asfalto, para que trabaje sin sufrir deformaciones por las condiciones de temperatura.

La selección del asfalto para encontrar el grado de desempeño a la temperatura alta se basará en la norma AASHTO T 315.

Con los datos históricos medio ambientales, se usarán las temperaturas altas al aire, para convertirlas a temperatura de pavimento, utilizando la siguiente fórmula:

#### Modelo con Confiabilidad del LTPP para Temperaturas Altas

$$T_{(\text{pav})} = 54.32 + 0.78T_{(\text{aire})} - 0.0025\text{Lat}^2 - 15.14\log_{10}(H + 25) + z\left(9 + 0.61\sigma_{\text{aire}}^2\right)^{1/2}$$

$T_{(\text{pav})}$	Temperatura alta del pavimento bajo la superficie, °C
$T_{(\text{aire})}$	Temperatura alta del aire, °C
Lat	Latitud de la zona, °
H	Profundidad desde la superficie, mm
$\sigma_{\text{aire}}$	Desviación estándar de la temperatura media del aire de los 7 días más altos, °C
z	Para distribución estándar normal y una confiabilidad del 98%, z=2.055.

Nota: la profundidad H de 20 mm

Para determinar la capacidad del asfalto en función de las cargas, la velocidad de los vehículos, los ejes equivalentes a soportar (ESAL). Los ajustes de la clasificación del asfalto se harán en base a la sección 5 según la norma AASHTO M 332-14.

AASHTO M 332-14 cubre ligantes asfálticos clasificados por el rendimiento mediante la prueba de recuperación múltiple del esfuerzo de fluencia (MSCR). Las denominaciones de calificación están relacionadas con los siete días temperatura media máxima de diseño del pavimento, y la carga de tráfico. Esta especificación incorpora AASHTO T 350 para determinar el cumplimiento de fluencia norecuperable, (Jnr) y la deformación recuperable. Designaciones de Tráfico Estándar, Tráfico Alto, Tráfico Muy Alto y Tráfico Extremo, están en función de los ejes equivalentes a soportar o la velocidad de los vehículos.

### **Composición general de la mezcla asfáltica.**

El diseño de la mezcla deberá llevarse a cabo siguiendo los procedimientos del MS – 2 Método de Diseño de Mezcla, Séptima edición, con base al Método de diseño Marshall (AASHTO T 245).

Los parámetros de diseño Marshall deberán cumplirse en el rango de  $\pm 0.3\%$  del contenido óptimo de cemento asfáltico.

Previo a la Inspección Preparatoria, el Contratista someterá por escrito, para la aprobación del Supervisor, el diseño de la mezcla asfáltica que utilizará. La Fórmula de Trabajo se presentará estableciendo un porcentaje definido y único de agregados que pasen por cada uno de los tamices especificados, el contenido óptimo de asfalto y los respectivos rangos de temperatura de producción y de compactación de la mezcla asfáltica, debiendo todos estos detalles encontrarse dentro de los requerimientos fijados para la composición general de los agregados y los límites de temperatura de producción y compactación.

La granulometría del agregado total (grueso + fino + relleno mineral) deberá conformarse con una de las designaciones de la siguiente tabla:

**TABLA 18 Granulometría de la mezcla para carpetas asfálticas delgadas de granulometría discontinua.**

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	F-1	F-2
12.5mm	1/2"	100	
9.5mm	3/8"	75-97	100
8.0mm	5/16"	-	75-97
4.75mm	No. 4	25-40	25-40
2.00mm	No. 10	18-32	18-32
425µm	No. 40	10-20	10-20
75µm	No. 200	7-10	7-10

**TABLA 19 Granulometría de la mezcla para carpetas asfálticas delgadas de granulometría continua.**

Porcentaje en peso que pasa Tamaño Máximo Nominal	
Tamaño de Tamiz	3/8 pulgadas (9.5mm)
3/4" 19mm	
1/2" 12.5mm	100
3/8" 9.5mm	90 - 100
N°4 4.75mm	75 - 95
N°8 2.36mm	60 - 65
N°50 0.300mm	20 - 50
N°200 0.075mm	4-12

En caso de utilizar martillo mecánico para realizar el diseño de la mezcla asfáltica modificada, se deberá realizar la correlación entre el martillo mecánico y el martillo manual, debiendo aumentar o disminuir el número de golpes del martillo mecánico para lograr una densidad comparable, debiendo dar cumplimiento al procedimiento indicado en AASHTO R-68. Los resultados de esta correlación deberán presentarse en el documento de diseño de mezcla que se someterá a aprobación.

El Contratista presentará en la inspección preparatoria, el diseño de la mezcla asfáltica modificada aprobada por el Supervisor. El diseño seguirá vigente, hasta que el Supervisor apruebe por escrito su modificación. El Supervisor no aceptará ninguna mezcla, ni autorizará la construcción de la carpeta asfáltica, antes de haber verificado y aceptado la fórmula de trabajo.

El mezclado de los modificadores se deberá efectuar en una planta industrial, utilizando los equipos especiales adecuados para el tipo, dosificación, y propiedades de mezclado del modificador que se emplee.

Dicha planta además de contar con los equipos industriales de fabricación adecuados deberá contar con el equipo de laboratorio mínimo necesario para controlar y certificar la calidad del proceso y producto final modificado.

El Contratista deberá entregar a la supervisión un certificado de calidad por cada lote o suministro de asfalto modificado, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta especificación, expedido por su propio laboratorio o por cualquier otro debidamente aprobado.

El supervisor deberá verificar la cantidad, calidad y tipo de cemento asfáltico utilizado por el contratista.

Para poder aprobar el diseño de la mezcla asfáltica, el contratista deberá demostrar mediante ensayos que el diseño de mezcla propuesto es reproducible en la planta, debiendo realizar el muestreo y los ensayos a la mezcla asfáltica proveniente de la Bachada de Prueba. Estos ensayos deberán ser auditados y contrastados por el supervisor.

Los requisitos para las plantas asfálticas se deben guiar por la Norma AASHTO M 156.

Para los casos en que la carpeta asfáltica existente presente ahuellamiento superior a 15mm, y que también presente piel de cocodrilo de severidad media en la zona del ahuellamiento, se deberá intervenir la estructura de pavimento para eliminar el daño estructural y analizar la capacidad de refuerzo estructural a colocar.

### **Procedimiento de ejecución.**

Antes de las operaciones de colocación de la carpeta asfáltica delgada en caliente con asfalto modificado, se deberá remover la señalización horizontal termoplástica, utilizando todo equipo mecánico que tenga la capacidad de remover la señalización horizontal, pero que no desgaste la superficie de pavimento en una profundidad mayor a 2.5 mm

Los equipos para la ejecución de los trabajos en general comprenden: planta de mezclado, básculas, barredora, equipo de calentamiento y distribuidor de asfalto, terminadora de asfalto (Finisher), cilindro metálico de al menos 5 toneladas, compactadora de llantas neumáticas (en caso de ser necesario), vehículos de transporte y otros que el contratista considere conveniente.

Si durante la ejecución de los trabajos, se observan deficiencias o mal funcionamiento de los equipos utilizados, especialmente la planta mezcladora; el Supervisor podrá ordenar su remplazo, reparación o la suspensión de los trabajos, si así lo estima necesario, para garantizar el cumplimiento de las especificaciones, buena calidad y acabado de las obras.

No se permitirá el estacionamiento de equipo, en áreas donde se hayan aplicado materiales asfálticos y la capa este todavía caliente.

En el caso de carpetas sobre bases estabilizadas, veinticuatro (24) horas antes de iniciar la colocación de la carpeta en un tramo, la superficie imprimada debe encontrarse seca y en perfecto estado. Las áreas deterioradas, destruidas de la imprimación o de pavimentos existentes, deben ser previamente reparadas a entera satisfacción del Supervisor y de acuerdo con procedimientos establecidos.

En caso de utilizar riego de liga con Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros, para el ensayo de mezclado con cemento, cuyo resultado es reflejado en el certificado de calidad de la emulsión, podrá emplearse cemento fabricado según ASTM C150 tipo I ó ASTM C1157 HE.

El riego de liga consistirá en el suministro, transporte, preparación de la superficie y aplicación de riego asfáltico por aspersion. El riego de liga se aplicará antes de la colocación de la capa asfáltica.

Previa a la aplicación del riego de liga, la superficie debe ser preparada, estar limpia, seca y libre de irregularidades o desperfectos por grietas en la base, descamado o peladuras de la imprimación asfáltica, para contar con una superficie uniforme al momento de recibir el tratamiento. El área de trabajo previa a la aplicación de la liga asfáltica debe ser inspeccionada y aprobada por el supervisor, al igual que los equipos.

Se deberá aplicar el riego de liga, de tal manera que la cantidad de asfalto aplicado (o residuo asfáltico en caso de utilizar emulsión con asfalto modificado) al pavimento esté entre 0.15 a 0.40 lt/m<sup>2</sup>. La determinación de la tasa de aplicación de emulsión deberá verificarse a diario y la determinación del asfalto residual de la emulsión deberá realizarse según ASTM D 6934 de acuerdo a lo indicado en la tabla de frecuencia de ensayos de esta partida, debiendo realizarse el muestreo en conjunto entre el contratista y el supervisor.

La superficie tratada con el riego de liga asfáltica debe presentar una película uniforme y debe cuidarse y protegerse contra la circulación de equipos o personas, hasta que posea óptimas condiciones para la colocación de la capa asfáltica.

Por ningún motivo se permitirá la colocación manual de mezcla asfáltica como metodología para evitar que la liga se adhiera a los neumáticos de los vehículos de construcción (comúnmente llamado granceado). Tampoco, se permitirá la reincorporación de material excedente de la manipulación de la mezcla asfáltica en la sección a intervenir.

Las superficies de todas las estructuras y construcciones adyacentes al área a tratar deben protegerse adecuadamente para evitar su salpicadura por el riego de liga asfáltica.

El concreto asfáltico deberá ser transportado en equipos de acarreo, los cuales deben tener fondos de metal herméticos, limpios y lisos, que estén ligeramente lubricados con una lechada de cal u otro antiadherente aprobado por supervisión, para evitar que la mezcla se adhiera a dichos fondos. No se deberá emplear diésel como antiadherente.

Cada camión debe estar provisto de su correspondiente cubierta de lona impermeable, de tamaño tal, que proteja la mezcla contra la intemperie. Para evitar la segregación, los camiones serán cargados uniformemente.

El contratista debe proveer báscula, registrar y reportar el control de peso de los camiones cargados con mezcla asfáltica.

No se aceptará la mezcla asfáltica que carezca de boleta de envío emitida por el fabricante de dicha mezcla, debiendo indicar el número de placa del camión. En caso de incumplimiento, la mezcla asfáltica deberá ser retirada inmediatamente del proyecto.

No se permitirá trabajo alguno cuando el equipo de transporte, extensión o compactación sea insuficiente o en mal estado, o que la mezcla muestre señales de haber sido sobrecalentada, rechazándose la obra deficiente sin pago para el Contratista.

El muestreo de la mezcla asfáltica en caliente se deberá realizar del camión en el proyecto, cumpliendo las normas de muestreo ASTM D-979 y D-3665.

No se aceptará la mezcla asfáltica que sea acopiada, colocada o compactada bajo lluvia.

La mezcla se extenderá uniformemente con máquina terminadora y sin dejar sobresaltos, de acuerdo con los alineamientos, anchos y espesores requeridos contractualmente o determinados por el Supervisor. En las áreas de obstáculos inevitables que no permitan el uso de la terminadora, se podrán extender la mezcla a mano con la aprobación del Supervisor.

La compactación deberá iniciar una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos. La compactación se deberá realizar con rodo liso sin vibración de al menos 5 toneladas. Se utilizará rodo neumático únicamente en caso de ser necesario y aprobado por el Supervisor.

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior. Las paradas del cilindro al final de cada faja compactada deben quedar distantes entre sí por lo menos un metro.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Supervisor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

Para prevenir desplazamientos ocurridos como consecuencia del cambio en la dirección del cilindro o por causas similares, se corregirá inmediatamente mediante el uso de rastrillos y la adición de mezcla, asegurándose de no provocar segregación.

Se tendrá cuidado en la compactación, para no desplazar los bordes de la mezcla extendida, formando más bien en estos chaflanes ligeros.

Las juntas de construcción de una capa de concreto asfáltico deben ser verticales. Antes de colocar mezcla nueva debe aplicarse riego de liga en el borde (vertical) del pavimento adyacente.

Con base en la información del diseño de la mezcla asfáltica y en especial con las recomendaciones de temperatura dadas por el proveedor del asfalto modificado, el Contratista deberá llevar a cabo un tramo de prueba, en el cual se pueda establecer las temperaturas de inicio y finalización de la compactación de la mezcla. Es importante indicar que la mezcla asfáltica debe ser compactada a una temperatura no menor de 100°C y tan pronto esta operación pueda comenzar, siempre y cuando el compactador, a juicio del Supervisor, no cause desplazamiento indebido o grietas en la mezcla.

La compactación deberá finalizar antes que la mezcla asfáltica alcance una temperatura de 90°C.

Tabla 2.4 de Muestreo, Frecuencias y Tolerancias.

E n s a y o	AASHTO	ASTM	Frecuencia mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
Determinación de la clasificación por desempeño PG (valor superior) de cementos asfálticos.	Se caracterizará según AASHTO M-332		- Cada 1000 m3, pero no menos de un (1) ensayo durante la ejecución de la actividad. <u>Nota 1:</u> Se deberá reportar los parámetros A-VTS (Intercepto y pendiente de regresión lineal). Estos parámetros deberán ser obtenidos con viscosímetro rotacional a partir de 5 temperaturas diferentes como mínimo.			En tanque de almacenamiento de Planta de Producción
<b>Riego de Liga</b>						
Residuo por Evaporación (en caso de utilizar emulsión asfáltica)		D 6934	Cada 3000 m2, pero no menos de una por día de colocación.	Según sección		En sitio de colocación
Cantidad de asfalto (en caso de utilizarse cemento asfáltico)			Cada 3000 m2, pero no menos de una por día de colocación.	Según sección		En sitio de colocación
<b>Agregados</b>						
Desgaste (abrasión).	T-96	C 131	- Al Inicio (se presentarán los resultados en la Inspección Preparatoria correspondiente) - 1 cada vez que se cambie de banco o sus propiedades. - 1 prueba cada 7,500 m3.	N/A	30%	En acopio
Caras fracturadas (dos caras fracturadas)	-	D 5821		90%	N/A	En acopio
Equivalente de Arena	-	D 2419		45%	-	
Granulometría	T-27	C 136		Según Diseño	En acopio	

Tabla 2.5 de Muestreo, Frecuencias y Tolerancias.

Ensayo	AASHTO	ASTM	Frecuencia mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
<b>Propiedades de la mezcla asfáltica</b>						
Contenido de Asfalto (por extracción)	T-164	D 2172	- 1 cada 250 m3 para carpeta, pero no menos de unapor día.	+/- 0.3% del óptimo de diseño.		En sitio de colocación
Ensayo granulométrico	T-30	D 5444		Según Diseño		En sitio de colocación
Gravedad Específica Bulk. Laboratorio	T-166	D 2726		N/A	N/A	En sitio de colocación
Gravedad Teórica Máxima	T-209	D 2041		N/A	N/A	En sitio de colocación
Estabilidad (Marshall)	T-245	D 6927		1800 lb	N/A	En sitio de colocación
Flujo (Marshall)	T-245	D 6927		2.0 mm	4.0 mm	En sitio de colocación
Vacios Llenos de Asfalto (VFA)	T-245	D 6927		Según Diseño		En sitio de colocación
Vacios en el Agregado Mineral (VMA)	T-245	D 6927		Según Diseño		En sitio de colocación
Estabilidad Retenida	T- 283	-		1 cada 250 m3 pero no menos de 2 ensayos durantela ejecución.	85%	N/A
Espesor (núcleos)	-	-	2 núcleos por cada tramo de 500m por carril(o fracción a estimar). Los sitios para la toma de mediciones se elegirán alazar, según la norma de ensayo ASTM D-3665.			Capa compactada