



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

**REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL
PAVIMENTO ACTUAL, DEL KM 0+000 AL KM
35+500 DEL CAMINO DIRECTO CHAPALILLA-
COMPOSTELA EN EL ESTADO DE NAYARIT.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
LUIS FELIPE MERCADO MENDOZA**

**ASESOR:
M. I. EFRAÍN MÁRQUEZ LÓPEZ**

ÍNDICE GENERAL.

Lista de tablas.

Lista de figuras.

INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVO.	3
Capítulo I. ANTECEDENTES.	4
I.1) Localización.	4
I.2) Condiciones regionales.	5
I.3) Historial del camino.	6
I.4) Características y estructura del camino.	9
A) Estudios Geotécnicos.	9
B) Sección estructural del camino.	18
Capítulo II. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	19
II.1) Características importantes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.	19
II.2) Método Marshall (Diseño de Mezclas Asfálticas de Pavimentación).	31
II.3) Sistema CASAA, Carpeta ASFáltica Altamente Adherida. (Microcarpeta).	40
Capítulo III. REHABILITACIÓN DEL CAMINO.	45
III.1) Criterios de rehabilitación.	45
III.2) Procedimientos de rehabilitación.	58

Capítulo IV. EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADO.	73
Capítulo V. NORMATIVA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.	101
CONCLUSIONES.	150
ANEXOS.	152
BIBLIOGRAFÍA.	164

AGRADECIMIENTOS.

Al Maestro en ingeniería Efraín Márquez López, por sus conocimientos y por su valioso tiempo empleado para las asesorías necesarias, para la realización de este trabajo de tesis.

Y a todas las personas que en su momento me ayudaron a poder terminar con mis estudios y que creyeron en mí.

A mi familia por tenerme la paciencia y motivarme a que realizará este trabajo de tesis y terminar con el objetivo de haber estudiado la carrera de Ingeniería Civil.

Y en especial a la familia Echeverría Mondragón por su gran apoyo incondicional en estos momentos difíciles.

TABLAS.	Pagina.
Tabla 1. Resumen de obras de drenaje, (OD).	6
Tabla 2. Distribución del estado físico de los bordillos.	7
Tabla 3. Distribución del estado físico de los lavaderos.	7
Tabla 4. Longitud de cunetas existentes en el tramo.	8
Tabla 5. Distribución de la longitud de defensa metálica.	8
Tabla 6. Clasificación del servicio de la carretera.	10
Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas.	11-16
Tabla 8. Vacíos en el agregado Mineral (Requisitos de VMA).	21
Tabla 9. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.	24
Tabla 10. Causas y efectos de una poca durabilidad.	25
Tabla 11. Causas y efectos de la impermeabilidad.	25
Tabla 12. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.	26
Tabla 13. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.	27
Tabla 14. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.	29
Tabla 15: Criterios del Instituto del Asfalto (U. S. A) para el Diseño Marshall.	39
Tabla 16: Porcentaje Mínimo de VMA.	39
Tabla 17. Granulometrías Típicas para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor.	41
Tabla 18. Comparación de Algunos Parámetros de Dosificación entre Mezclas Densas Densas-Discontinua y Abierta.	42
Tabla 19. Resumen del Tránsito Diario Promedio Anual.	45
Tabla 20. Resumen de velocidades de punto en cada sitio estudiado.	46
Tabla 21. Resumen de deflexiones medidas en el tramo ($\times 10^{-3}$ pulg.).	48
Tabla 22. Resumen del análisis Estructural.	50
Tabla 23. Análisis del pavimento existente según el método del Instituto del Asfalto.	52
Tabla 24. Análisis del pavimento existente, según el método AASHTO.	53
Tabla 25. Espesores de sobrecarpeta de refuerzo propuestos, cm.	54

	Pagina.
Tabla 26. Espesores de las capas de las estructuras para rehabilitación del pavimento.	56
Tabla 27. Espesores recomendados para cada alternativa, cm.	57
Tabla 28: Características físicas del cemento pórtland tipo CPO (cemento pórtland ordinario).	105
Tabla 29. Granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.	112
Tabla 30: Calidad del material pétreo.	112
Tabla 31: Especificaciones del asfalto AC-20.	113
Tabla 32: Especificaciones del asfalto modificado con polímeros.	113
Tabla 33: Requisitos de calidad en mezclas asfálticas.	114
Tabla 34: Especificaciones del asfalto AC-20.	122
Tabla 35: Requisitos de calidad para el agregado grueso.	125
Tabla 36: Requisitos de calidad para el agregado fino.	125
Tabla 37: Especificaciones para el asfalto modificado con polímero.	126
Tabla 38: Granulometría tipo B.	126
Tabla 39: Especificaciones del asfalto AC-20.	127
Tabla 40: Especificaciones del asfalto PG70-28 modificado con polímeros tipo "I".	128
Tabla 41: Pruebas en la emulsión.	129
Tabla 42: Límites de Tolerancia para Control de Calidad.	132
Tabla 43: Requisitos de esferas de vidrio.	140
Tabla 44: Requisitos de granulometría de las esferas de vidrio ^[1] .	141
Tabla 45: Cantidad de esferas de vidrio.	141
Tabla 46: Resistencia a la compresión.	144
Tabla 47: Retroreflectividad.	145
Tabla 48: Requisitos mínimos MCD/LX (Milicandela/ lux).	145
Grafica 1. Viscosidad-Temperatura Asfalto Modificado.	68

FIGURAS.

Pagina.

Figura1. Croquis de localización.	4
Figura 2. Sección tipo del camino en terraplén.	18
Figura 3. Ilustración de los VMA en una probeta de mezcla compactada.	21
Figura 4. SCRIM. Rueda oblicua respecto del sentido de la marcha.	28
Figura 5. Grip Tester.	29
Figura 6: Ejemplo De gráficas para los Resultados de una Serie de Cinco Probetas Marshall.	37
Figura 7: Funcionamiento de una fresadora de carpeta en frío moderna con carga frontal.	73
Figura 8. Rotor Cónico de 190 Púas.	74
Figura 9. Rotor Cónico de 170 Púas.	74
Figura 10. Rotor Cónico de 147 Púas.	74
Figura 11: Fresadora de pavimentos CMI PR-525, en el proceso de fresado del pavimento actual.	75
Figura 12: Recicladora WR 2500S.	76
Figura 13: rotor de la recicladora WR 2500 S.	77
Figura 14: Camara de mezcla.	77
Figura 15: Dirección de la WR 2500 S.	78
Figura 16: Dirección de la WR 2500 S.	78
Figura 17: Microprocesador.	79
Figura 18: Proceso de la estabilización de la base con cemento portland.	79
Figura 19: diagrama del funcionamiento del microprocesador.	80
Figura 20: Recicladora WR 2500S.	80
Figura 21: Dosificadora o mezcladora de suspensión WM 1000.	81
Figura 22: Tren de reciclado.	82
Figura 23: a) barra de empuje, b) microprocesador de mando de la dosificadora WM 1000.	82
Figura 24: Conformación y tendido de la base hidráulica.	83

	Pagina.
Figura 25: Posiciones de trabajo de la cuchilla.	83
Figura 26: Esquema de una motoniveladora o motoconformadora.	84
Figura 27: Equipos modernos de nivelación.	84
Figura 28: Equipo de compactación tipo pata de cabra.	85
Figura 29: Equipo de compactación de rodillo liso.	86
Figura 30: diagrama del reciclado de la base hidráulica.	86
Figura 31: Minicargador de usos múltiples.	87
Figura 32: Petrolizadora etnyre.	88
Figura 33: diagrama del proceso constructivo de la carpeta asfáltica.	88
Figura 34: Tanque para almacenar gas LP.	89
Figura 35: Diagrama representativo de los movimientos tanto horizontal como vertical de la barra rociadora.	89
Figura 36: Circulación del asfalto en la barra rociadora.	90
Figura 37: Diagrama de los diferentes tipos de barras rociadoras.	90
Figura 38: a) rociador de mano, b) sistema de auto lavado.	91
Figura 39: Software de control.	91
Figura 40: Tanque de asfalto.	92
Figura 41: Pavimentadora AP-1055B (Utilizada en este proyecto).	93
Figura 42: Tolva receptora.	93
Figura 43: Anchos que puede utilizar para el tendido del concreto asfáltico.	94
Figura 44: Barras del tipo sinfin de distribución del asfalto.	95
Figura 45: Diagrama de funcionamiento de la pavimentadora.	95
Figura 46. Compactador de doble rodillo liso CB 634C CAT.	96
Figura 47: Compactador de neumáticos PS 360C CAT.	97
Figura 48. Extendedora SUPER 1800 SF VöGELE.	98
Figura 49: Diagrama del equipo.	99

Figura 50: En la foto se observa a el equipo Súper 1800 SF en pleno proceso.	100
Figura 51: Regla de tendido y barra de riego de liga. Pagina.	100
Figura 52: Compactación de la microcarpeta a rodillo muerto.	100
Figura 53: Sección tipo de bordillo de concreto hidráulico.	137
Figura 54: Sección tipo de lavadero de concreto hidráulico.	139

INTRODUCCIÓN:

Las carreteras o caminos son una vía de comunicación que se emplean para el transporte, de personas, alimentos, materiales, entre otras. Debido a esto el hombre se ha visto en la necesidad de aplicar ciertas mejoras y adaptaciones para que estas sean más cómodas, rápidas y seguras para que cumplan de la mejor manera su labor de transporte terrestre.

En nuestro país las vialidades con las que actualmente contamos fueron construidas la gran mayoría hace cuarenta años desde entonces el tráfico y los sistemas de carga han ido en aumento poniendo en riesgo la capacidad estructural con la que fueron diseñados. Debido a esto, presentan daños en las capas superiores e inferiores. Es aquí donde la rehabilitación de carreteras o caminos haciendo uso de la tecnología del reciclaje de bases hidráulicas: gracias a ese proceso (en el cual se recupera y estabiliza la base hidráulica con cemento Pórtland, para darle una mayor resistencia o bien para disminuir su plasticidad), la carretera se restaura y la capacidad de carga aumenta a largo plazo.

En el presente trabajo hablaremos acerca de una técnica de rehabilitación integral de la estructura del pavimento actual del km. 0+000 al 35+500 del camino directo (C.D.) Chapalilla-Compostela en el Estado de Nayarit, se analiza su ubicación geográfica, el estado actual en que se encuentra la superficie de el pavimento y sus características principales.

Describiendo de manera general la estructura del camino actual, es decir las características de las capas que componen el pavimento y su espesor correspondiente. Basándonos en el análisis de muestras obtenidas de posos y sondeos que se realizaron al pavimento.

El análisis del estado actual del pavimento se realizará por diferentes métodos, haciendo una descripción de manera sencilla y general de lo que trata cada método, así como los resultados que presenta cada uno de estos, y poder conocer de forma general lo que hace cada uno de los métodos del análisis.

Una vez obtenidos los resultados de los diferentes métodos del análisis del pavimento, se hace una comparación del resumen de cada recomendación y posteriormente se determina que el pavimento actual requiere de una rehabilitación integral de la estructura del pavimento actual. Y la cual se llevará a cabo mediante los siguientes procesos constructivos: Fresado de Carpeta Actual, Reciclado y Estabilizado de la Base Hidráulica con Cemento Pórtland, Tendido de Carpeta Asfáltica nueva, elaborada con cemento asfáltico modificado con polímero del tipo I y la Construcción de una Microcarpeta Altamente Adherida como superficie de rodamiento.

Se hablará también de las características más importantes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Además de una descripción general del Método Marshall de diseño de mezclas asfálticas en caliente. Ya que se considera que son necesarias conocerlas y tenerlas en cuenta, para poder seleccionar el mejor diseño de mezcla asfáltica en caliente.

En este trabajo se explican también los diferentes procesos constructivos de la rehabilitación: los cuales inician con la recuperación del pavimento actual, (fresado de la carpeta asfáltica actual del camino). Formación de la base estabilizada con cemento Pórtland, (reciclado y estabilizado de la base hidráulica con cemento Pórtland), tendido de concretos asfálticos, (carpeta asfáltica y microcarpeta altamente adherida).

Describiendo cada concepto de acuerdo con la secretaría de comunicaciones y Transportes (SCT), para un mejor entendimiento de cada uno de los diferentes procesos que complementan la rehabilitación.

De igual forma se describe de manera general, cada uno de los equipos utilizados en cada proceso de la rehabilitación integral de la estructura del pavimento actual.

Se anexa también toda la normativa de los materiales que se emplearán durante el proceso de la rehabilitación, algunos de los resultados de laboratorio y fotografías del estado actual del camino y de los diferentes procesos constructivos.

Estos son los nuevos procesos que se están empleando en la actualidad, haciendo uso de la tecnología, para la rehabilitación de caminos de cuota principalmente en gran parte del País.

OBJETIVO:

Antes de decidir la necesidad de reforzar un pavimento en operación se requiere la evaluación estructural del mismo, entre los sistemas de evaluación, se considera la medición de deflexiones superficiales como la vía principal para evaluar estructuralmente un pavimento existente.

- De forma general se describirá de manera clara y sencilla, los estudios previos que se realizaron para la evaluación del pavimento actual, y que en base al análisis y comparación de los resultados de los diferentes métodos de la evaluación, se llegó a la conclusión y/o recomendación de hacer una rehabilitación de la estructura del pavimento actual, ya que la vida útil del pavimento resultó ser considerablemente baja.

- El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer cada uno de los diferentes procesos y tecnología empleada en la rehabilitación de la estructura del pavimento actual, y para describir la rehabilitación nos basaremos en dos aspectos:

1. Procedimientos de la rehabilitación.

Se hará la definición y descripción respectiva que comprende cada uno de los diferentes procesos utilizados en la rehabilitación.

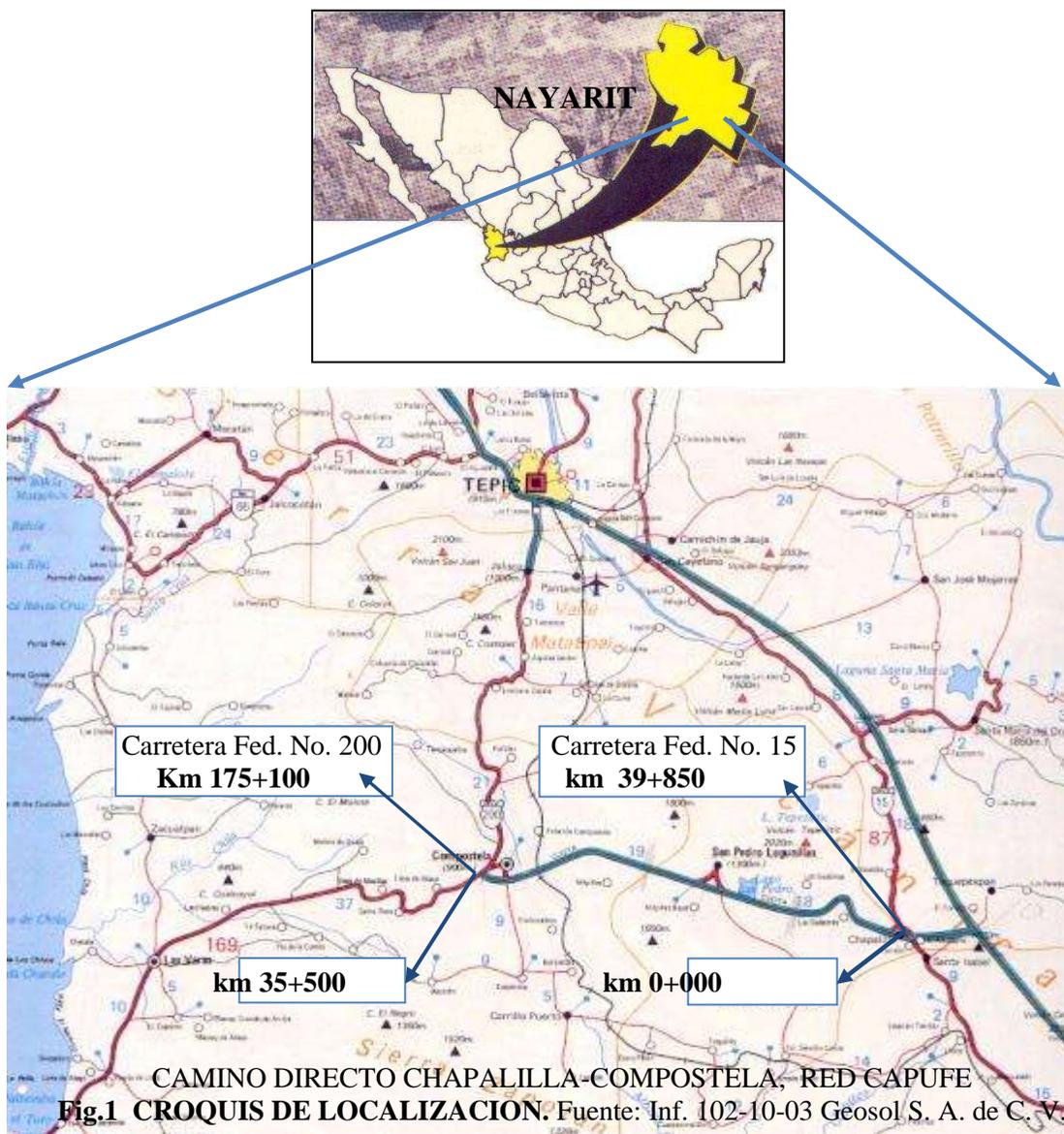
2. Equipo de construcción utilizado.

En este tema se describirá el tipo de maquinaria utilizado en los diferentes procesos constructivos de la rehabilitación, y el trabajo que hacen en forma general.

Capítulo I. ANTECEDENTES.

I.1) LOCALIZACIÓN:

El tramo forma parte de la carretera directa de cuota No.68 de la ruta Guadalajara-Puerto Vallarta, la cual enlaza las ciudades más importantes de los Estados de Jalisco y Nayarit con la zona costera de éstos. El cadenamiento de partida km. 0+000, se localiza en el entronque con la carretera federal (No. 15) Guadalajara-Tepic en el km. 175+100 el cual tiene las siguientes coordenadas geográficas: 21° 11' 31.5" de latitud norte y 104° 38' 25.85" de longitud oeste a una altitud sobre el nivel del mar de 909m; el final del tramo en el km. 35+500 entronca a la carretera federal (No. 200) Tepic-Puerto Vallarta en el km. 39+850 y tiene las siguientes coordenadas geográficas: 21° 13' 58.40" de latitud norte y 104° 55' 26.40" de longitud oeste, a una elevación de 859 msnm; en la **figura.1** se presenta el croquis de localización.



I.2) CONDICIONES REGIONALES.

a) Topografía: Los primeros diez kilómetros se desarrollan en un terreno con topografía de lomerío fuerte con secciones de corte, balcón y terraplén de altura variable, los cuales ascienden desde una altura de 900 hasta 1290 msnm; posteriormente, la topografía cambia a lomerío suave con secciones de corte y terraplén de baja altura.

b) Geología: La región pertenece a la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico con formaciones del Terciario, constituidas por rocas ígneas extrusivas, además formaciones de suelos del Cuaternario, principalmente constituidos por depósitos de limos, arenas y arcillas.

c) Clima: Predomina en la mayor parte el tipo semicálido subhúmedo (A) C (w₂)(w) y también los tipos cálido subhúmedo A w₁ (w) y A w_o (w), con lluvias en verano y con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, según la clasificación de Köppen modificada por E. García. La temperatura media oscila entre los 20 a 23° C y la precipitación total anual varía de 1000 a 1300 mm.

d) Drenaje: Se contemplaron las suficientes obras de drenaje que atraviesan el cuerpo de la autopista, las cuales desalojan los escurrimientos de un drenaje de tipo paralelo bien definido; superficialmente los escurrimientos de la corona son encauzados por bordillos, lavaderos y cunetas.

I.3) HISTORIAL DEL CAMINO:

1) Antecedentes de construcción:

La construcción del camino data de al menos treinta años, el cual consideró que permitiría una ruta más corta entre Guadalajara y Puerto Vallarta. En el proceso de construcción, no se contemplaron cortes y terraplenes altos, ni obras especiales, siguiéndose en lo posible la topografía de la zona, situación que ha prevalecido hasta la fecha y en la cual no se han hecho mejoras en su alineamiento horizontal y vertical; actualmente el tramo es administrado por el Organismo CAPUFE, el cual es el encargado de la conservación y operación del camino.

2) Trabajos de conservación:

Estos trabajos han sido principalmente la reparación de baches superficiales y profundos, renivelaciones en algunas zonas, aplicación de riegos de sello; en algunos subtramos se ha colocado una sobrecarpeta asfáltica y en general, labores de mantenimiento normal, limpieza de obras menores y del derecho de vía.

3) Inventario del tramo.

3.1) Alcantarillas:

Se realizó un inventario de las obras de drenaje que existen a lo largo de los tramos estudiados, observándose en cada una su ubicación, estado físico que guardan, su diámetro, tipo y porcentaje de azolve; en la **Tabla 1** se presenta un resumen de las 123 obras de drenaje que existen en el tramo.

En términos generales están en buen estado físico; la mayoría de las obras fue construida con tubos de concreto y losas, con cabezales y muros de mampostería; además 5 de estas obras son losas de concreto formando puentes con una longitud mayor de 10m.

Tabla 1. Resumen de obras de drenaje, (OD).

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Cuerpo	Km. inicial	Km final	Obras de Drenaje		
			Total	Losa >10m	Azolvadas (%)
Único	0+000	35+500	123	5	48.0

3.2) Bordillos:

Existe un total de 44,960 m de bordillos distribuidos en ambos lados de la corona del camino, de los cuales 23,998m están del lado derecho y 20,962m se ubican del lado izquierdo. El 57.35% del total de la longitud estudiada se encuentra en buenas condiciones, el restante 42.65% requiere de la reconstrucción total de la sección, ya sea por que ésta se encuentra semidestruida o por que debido a renivelaciones en la carpeta asfáltica ha quedado parcial o totalmente enterrada; en la **Tabla 2** se presenta la distribución de la longitud de bordillos, indicándose para cada lado los que requieren reparación y los que se encuentran en buen estado.

Tabla 2. Distribución del estado físico de los bordillos.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Cuerpo	Lado	Reparación total (%)	Buen estado (%)	Longitud total de bordillos (m)
Único	Derecho	43.4	56.6	23,998
	Izquierdo	41.9	58.1	20,962

3.3) Lavaderos:

Se contabilizaron un total 488 lavaderos a lo largo del tramo, de los cuales la mayoría fueron construidos tanto la boquilla como el canal, con concreto hidráulico.

Se pudo apreciar que del total de lavaderos, la mayoría está en condiciones físicas aceptables, el 12.5% requiere de la reconstrucción parcial de boquilla, las paredes del canal (bordillos) o sellar los elementos agrietados; el restante 17.3% requiere de una reconstrucción total del lavadero ya sea por que presenta una fragmentación intensa o por que se ha destruido casi en su totalidad; el 63% de los lavaderos necesitan limpieza ya que éste porcentaje presenta un grado de asolvamiento mayor del 10%. En la **Tabla 3** se presenta una estadística del porcentaje de lavaderos que requieren de alguna reparación, así como el porcentaje de los lavaderos que están en condiciones aceptables.

Tabla 3. Distribución del estado físico de los lavaderos.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Cuerpo	Lado	Reparación total (%)	Reparación parcial (%)	Azolvados (%)	Total de lavaderos
Único	Derecho	17.7	12.4	65.2	282
	Izquierdo	17.0	12.6	60.7	206

3.4) Cunetas:

Existe un total de 19,849 m de cunetas construidas lateralmente en el cuerpo único del camino, en la **Tabla 4** se presenta un resumen, en que se puede apreciar que la mayoría está en buenas condiciones, siendo un porcentaje mínimo que requiere de reconstrucción por que se encuentra deteriorado, además, una longitud que no rebasa el 20% requiere limpieza, pues se encuentra con cierto grado de azolve.

Tabla 4. Longitud de cunetas existentes en el tramo.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Cuerpo	Km. inicial	Deterioradas (%)	Longitud (m)
único	Derecho	10.4	7,666
	Izquierdo	8.7	12,183

3.5) Defensa metálica:

La barrera de contención esta formada principalmente con defensa metálica de dos crestas que en general está en buenas condiciones, en la **Tabla 5** se presenta el resumen de la longitud de la defensa metálica por carril.

Tabla 5. Distribución de la longitud de defensa metálica.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Cuerpo	Km. inicial	Mal estado (%)	Longitud (m)
Único	Derecho	0.0	3,269
	Izquierdo	0.0	3,264

3.6) Subdrenaje:

Se localizó la ubicación de tubería de subdrenaje ubicada lateralmente en las zonas de corte, sumando en el lado derecho una longitud de 842 m y para el lado izquierdo 4266 m. Se utilizó en el subdrenaje tubería de concreto de 6 pulgadas de diámetro y en ninguno de los tramos, se observó escurrimiento de agua al interior de estos.

I.4) CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURA DEL CAMINO.

A) ESTUDIO GEOTÉCNICO:

Estado superficial del pavimento. Se realizó una inspección visual del estado que guarda la superficie del pavimento a lo largo de los treinta y cinco punto cinco kilómetros del camino, con el objeto de calificar los daños más notables observados en cada carril del cuerpo único de circulación, de acuerdo a la metodología de CAPUFE, la cual se menciona en el “MANUAL PARA CALIFICAR LAS CONDICIONES DE SERVICIO EN CAMINOS DE CUOTA” los daños se describen a continuación por orden de importancia.

Se puede apreciar que en la mayor parte de este camino de cuota destacan principalmente la formación de roderas, en ambos carriles de circulación; en segundo lugar la presencia de agrietamientos tipo piel de cocodrilo y mapa de diversa intensidad, acentuándose principalmente entre los km. 3 a 4, 10 a 11, del 14 al 19 y hacia el final del tramo del km. 34 a 35.5; la presencia de bacheo superficial y calavereo también constituye un deterioro importante así como el desprendimiento del agregado de sello en algunas partes del camino. En el **Anexo 1** se presentan algunas fotografías del estado actual del pavimento, en las cuales se observa los diferentes tipos de daños sobre la superficie de rodamiento.

En el caso de los acotamientos, lo más destacable es el ancho de éstos, ya que el ancho que tienen es mínimo y no cumple con lo especificado; otro aspecto importante es la falta de riego de sello en la mayor parte del tramo.

En la **Tabla 6**, se presenta el resumen de la calificación del servicio actual del camino, haciendo notar la calificación de 1 a 2 en mal estado, de 2 a 3 para regular estado y para buen estado superficial la calificación de 3 a 5.

Resultado de los ensayos de laboratorio. De cada una de las muestras extraídas de los sondeos se realizó un análisis en el laboratorio, con el objeto de determinar sus características físicas y a fin de determinar su calidad respecto a las normas que marca la SCT.

Se puede observar en la **Tabla 7**, (resumen de los resultados de las muestras obtenidas), que los materiales utilizados en la capa de base hidráulica no cumplen algunos parámetros establecidos en las normas de la SCT, ya que la plasticidad rebasa los límites establecidos; el otro parámetro importante que es el equivalente de arena tiene un promedio de 22%, valor inferior a 40% mínimo para calidad adecuada en bases. En los sitios en donde se encontró la subbase, cumple ligeramente en algunos casos para calidad adecuada en las propiedades de los finos, situación similar para el caso del equivalente de arena que es considerablemente bajo; finalmente, la capa subrasante cumple con las propiedades de calidad adecuada a tolerable en todos los materiales utilizados. En el **Plano 1 (anexo 2)** se presenta el perfil estratigráfico y el perfil de las deflexiones del pavimento de cada carril del camino estudiado.

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (1/6)

Fuente; Geosol S. A. de C. V.

CAPA	CARACTERISTICAS	S-1 0+000	S-18 1+180	S-20 2+000	S-22 3+000	S-24 4+000	S-31 6+000	S-33 7+000	S-35 8+000	S-37 9+000	S-38 10+000	S-40 11+000	S-42 12+000	S-44 13+000	S-46 14+000	S-49 16+000	S-51 17+000	S-53 18+000	S-55 19+000
CARPETA	ESPESOR, cm	8.0	8.0	8.0	8.0	16.0	17.0	19.0	16.0	32.0	12.0	9.0	10.0	10.0	9.0	13.0	11.0	19.0	16.0
B	ESPESOR, cm	11.0	27.0	17.0	28.0	13.0	15.0	16.0	8.0	15.0	14.0	18.0	12.0	10.0	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	9.6	5.4	5.8	6.5	5.7	8.2	7.6	8.1	6.4	7.8	6.5	6.0	7.3	7.7	7.5	5.7	8.3	8.2
	LIMITE LIQUIDO, %	26.2	25.3	24.0	26.4	23.5	27.4	23.4	-	24.8	23.6	29.6	25.9	-	24.6	-	-	-	26.0
	INDICE PLASTICO, %	8.5	7.0	8.5	9.8	8.6	9.1	8.2	-	7.6	9.3	10.0	10.3	-	8.7	-	-	-	8.6
A	CONTRACCION LINEAL, %	2.7	3.4	2.8	5.2	2.1	4.7	1.4	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EQUIVALENTE DE ARENA, %	31.0	16.4	17.6	13.7	15.6	17.0	30.1	24.6	18.6	32.8	51.3	20.5	14.8	27.2	21.0	39.5	17.9	13.8
S	GRAVA, %	60.1	48.7	46.1	47.3	50.1	61.2	58.1	59.2	54.2	58.5	57.6	55.2	67.1	62.6	64.7	62.1	60.8	56.2
	ARENA, %	32.6	42.0	40.7	38.7	41.5	32.6	34.6	32.3	36.2	35.6	35.6	37.8	26.9	29.6	29.0	30.5	30.4	33.1
E	FINOS, %	7.3	9.3	13.2	14.0	8.4	6.2	7.3	8.5	9.6	5.9	6.8	7.0	6.0	7.8	6.3	7.4	8.8	10.7
	CLASIFICACION SUCS	GW-GC	GW-GC	GC	GC	GW-GC	GW-GC	SGW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC
S	ESPESOR, cm	29.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	7.1	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
B	LIMITE LIQUIDO, %	26.2	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
B	INDICE PLASTICO, %	11.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
A	CONTRACCION LINEAL, %	1.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	41.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
E	GRAVA, %	29.1	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8
	ARENA, %	55.1	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5
	FINOS, %	15.8	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
	CLASIFICACION SUCS	SC	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
S	ESPESOR, cm	22.0	31.0	31.0	19.0	17.0	13.0	21.0	18.0	13.0	26.0	21.0	19.0	20.0	22.0	18.0	17.0	15.0	16.0
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	29.3	24.8	24.8	26.5	5.8	13.5	9.3	10.0	9.2	13.5	10.9	9.7	12.5	8.1	11.6	9.5	11.3	10.9
B	LIMITE LIQUIDO, %	48.7	53.4	53.4	53.6	26.2	28.9	25.0	28.1	24.4	26.5	32.0	26.4	25.6	25.6	24.0	26.0	24.2	25.1
R	INDICE PLASTICO, %	25.2	31.0	31.0	30.3	7.8	9.3	9.2	9.8	9.2	9.1	7.9	12.3	15.1	11.6	7.0	10.9	7.1	7.7
A	CONTRACCION LINEAL, %	9.9	9.7	9.7	12.0	1.9	1.4	1.1	2.0	1.4	-	2.3	2.7	1.1	0.0	0.0	0.4	1.2	1.2
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	2.8	2.8	2.8	3.3	16.8	47.6	24.7	19.0	21.6	14.3	17.4	17.8	44.5	31.6	27.7	56.5	30.6	22.5
A	GRAVA, %	5.4	11.4	11.4	15.5	26.1	34.1	48.1	37.7	29.6	49.5	33.7	37.4	46.2	35.3	37.0	33.9	39.7	36.1
N	ARENA, %	23.3	37.8	37.8	22.9	59.1	55.9	39.8	44.4	51.2	36.1	46.8	50.1	42.3	52.3	51.2	52.5	46.3	46.0
T	FINOS, %	71.3	64.0	64.0	61.6	14.8	10.0	12.1	17.9	19.2	14.4	19.5	12.5	11.5	12.4	11.8	13.6	14.0	17.9
E	CLASIFICACION SUCS	CL	CL	CL	CH ₁	SC	SW-SC	GC	SC	SC	GC	SM	SC	GP-GC	SC	SW-SC	SC	SC	SC
T	HUMEDAD DEL LUGAR, %	27.2	13.9	13.9	25.7	15.0	25.7	15.0	21.3	14.3	17.5	8.8	7.0	37.6	30.9	32.8	26.4	33.4	33.6
E	LIMITE LIQUIDO, %	41.9	30.1	30.1	52.3	30.1	45.3	30.7	39.3	29.8	31.9	26.5	29.6	49.2	54.7	51	45.7	55.4	56.1
R	INDICE PLASTICO, %	15.3	12.7	12.7	28.6	10.7	23	11.6	16.6	9.1	12.3	11.6	11.3	17.6	19.6	24.4	24.1	29.7	25.8
R	CONTRACCION LINEAL, %	8.4	5.2	5.2	14.4	5.2	10.4	4.0	8.5	0.6	0.2	2.4	0.0	7.7	7.4	12.5	10.4	13.8	10.9
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	3.4	2.8	2.8	2.8	4.6	3.4	16.7	3.8	10.0	17.7	26.7	33	3.7	5	3.4	3.8	2.8	5
P	GRAVA, %	11.4	8.5	8.5	4.5	8.5	16	11.5	0.4	16.4	18.7	1.7	2.4	9.3	12.1	2.8	33	0	34
L	ARENA, %	52.9	39	39	30.5	39	29.1	65.9	31.8	58.9	61.0	75.8	74.9	44.2	21.4	17.4	34.7	15.7	17.4
E	FINOS, %	35.7	52.5	52.5	65	52.5	54.9	22.6	67.8	24.7	20.3	22.5	22.7	46.5	53	75.8	49.6	65.3	50.3
	CLASIFICACION SUCS	SM	ML	ML	CH ₁	SC	CL	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SM	MH ₁	CH ₁	GC	CH ₁	MH ₁
N	CLASIFICACION SUCS	SM	SM	SM	CH ₁	SM	CL	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SM	MH ₁	CH ₁	GC	CH ₁	MH ₁

CARRIL IZQUIERDO

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (2/6)

Fuente: Geosol S. A. de C. V.

CAPA	CARACTERISTICAS	S-56	S-58	S-60	S-62	S-64	S-27	S-26	S-17	S-15	S-6	S-66	S-8	S-10	S-12	S-13	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
		20+000	21+000	22+000	23+000	24+000	25+000	26+000	27+000	28+000	31+000	31+660	32+000	33+000	34+000	35+000		
CARPETA	ESPESOR, cm	17.0	16.0	17.0	18.0	16.0	14.0	18.0	12.0	16.0	17.0	13.0	16.0	12.0	20.0	11.0	14.4	4.9
B	ESPESOR, cm	11.0	27.0	32.0	31.0	29.0	28.0	28.0	32.0	26.0	25.0	14.0	31.0	22.0	30.0	32.0	20.1	8.3
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	6.7	7.0	7.1	6.2	7.4	7.1	5.2	6.7	5.6	10.3	6.4	7.6	6.8	10.2	9.4	7.2	1.3
	LIMITE LIQUIDO, %	-	25.3	24.3	28.6	24.3	24.2	25.4	22.3	23.1	27.3	33.7	29.7	27.8	28.1	27.4	26.0	2.5
	INDICE PLASTICO, %	-	8.9	9.3	11.4	7.3	10.5	8.7	7.2	9.1	9.5	9.1	11.5	11.1	14.2	9.6	9.3	1.5
	CONTRACCIÓN LINEAL, %	-	3.0	2.7	3.9	2.9	2.9	2.6	3.7	2.5	2.7	2.4	4.7	5.2	4.6	3.9	3.2	1.2
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	21.7	13.6	15.0	21.0	25.3	17.2	19.3	28.9	24.1	44.2	27.6	15.2	17.6	16.4	11.5	22.5	9.2
	GRAVA, %	58.6	54.9	59.8	57.5	60.2	54.8	53.5	65.7	58.4	46.2	52.0	50.9	73.6	54.3	56.3	57.2	6.1
E	ARENA, %	33.2	36.2	31.8	33.6	32.5	35.8	36.9	28.7	33.0	42.4	36.4	37.7	21.5	37.0	34.8	34.3	4.5
	FINOS, %	8.2	8.9	8.4	8.9	7.3	9.4	9.6	5.6	8.6	11.4	11.6	11.4	4.9	8.7	8.9	8.6	2.1
	CLASIFICACIÓN SUCS	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GP-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GP-GM	GW-GC	GP	GW-GC	GW-GC		
S	ESPESOR, cm											10.0					17.7	10.0
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %											6.7					8.0	2.0
B	LIMITE LIQUIDO, %										28.3						27.4	1.1
B	INDICE PLASTICO, %										14.2						10.6	4.3
A	CONTRACCIÓN LINEAL, %										3.9						2.5	1.4
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %										38.0						32.1	13.5
A	GRAVA, %										52.0						37.3	12.8
E	ARENA, %										38.6						48.1	8.5
	FINOS, %										8.5						14.3	5.3
	CLASIFICACIÓN SUCS										GW-GC							
S	ESPESOR, cm	21.0	22.0	30.0	21.0	25.0	18.0	19.0	22.0	23.0	21.0						20.3	4.0
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	7.8	20.1	32.5	33.1	30.2	31.6	24.6	17.3	27.2	29.8						19.7	9.7
B	LIMITE LIQUIDO, %	25.3	42.2	53.0	52.6	52.0	58.5	44.4	38.4	48.0	37.3						36.9	11.4
R	INDICE PLASTICO, %	8.7	19.4	23.2	26.6	24.2	27.5	19.8	15.9	18.5	8.5						14.7	8.0
A	CONTRACCIÓN LINEAL, %	2.9	11.4	12.5	12.2	10.9	13.5	10.3	8.8	6.1	1.4						5.1	4.8
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	20.0	3.9	3.2	2.9	2.9	3.3	3.7	6.3	3.6	4.8						16.2	14.4
A	GRAVA, %	14.3	42.6	31.5	25.2	29.2	17.7	15.1	22.9	5.6	9.1						25.4	14.0
N	ARENA, %	64.6	13.0	15.1	13.3	16.0	20.5	27.2	42.9	38.8	49.3						40.9	15.9
T	FINOS, %	21.1	44.4	53.4	61.5	54.8	61.8	57.7	34.2	55.6	41.6						33.7	20.9
E	CLASIFICACIÓN SUCS	SC	GC	MH ₁	CH ₁	CH ₁	CH ₁	CL	SC	ML	SM							
T	HUMEDAD DEL LUGAR, %	27.1	19.5	32.8	33.1	36.6	31.6	25.7	18.7	30.2	31.8	23.8	35.5	31.1	32.5	34.5	26.3	8.4
E	LIMITE LIQUIDO, %	53.9	46.4	57.4	58.3	55.2	60.9	47.8	36.3	49.8	42.2	46.7	37.1	35.8	40.6	35.6	44.3	10.0
R	INDICE PLASTICO, %	28.9	21.4	24.8	24.3	24.6	30.5	21.4	14.2	19.9	12.7	25.2	8.9	9.8	10.2	11.3	18.7	7.0
R	CONTRACCIÓN LINEAL, %	10.9	10.5	11.7	11.2	12.9	10.7	5.4	7.0	7.8	2.7	10.4	0.9	1.7	2	0.3	7.2	4.6
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	3.6	3.5	2.5	3	3	3	3.7	9.5	3.6	3.4	4.3	14.9	15.3	10.7	6.5	7.6	7.5
P	GRAVA, %	9.1	57.7	0.3	0	1.8	7.2	22.3	21.0	13.2	7.2	13.5	5.7	10.0	14.6	4.4	12.0	12.2
L	ARENA, %	19.7	13.3	15.1	13.6	21.3	25.8	24.4	50.8	31.6	38.3	41.4	44.1	55.5	51.1	47.1	38.1	18.0
E	FINOS, %	71.2	29	84.6	86.4	76.9	67	53.3	28.2	55.2	54.5	45.1	50.2	34.5	34.3	48.5	49.9	19.1
N	CLASIFICACIÓN SUCS	CH ₁	GC	MH ₁	MH ₁	MH ₁	CH ₁	CL	SC	ML	ML	SC	ML	SM	SM	SM		

CARRIL IZQUIERDO

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (3/6)
Fuente; Geosol S. A. de C. V.

CARRIL IZQUIERDO									
CAPA	CARACTERISTICAS	PCA-2 5+093	PCA-4 15+000	PCA-6 25+430	PCA-1 30+000	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR		
CARPETA	ESPESOR, cm	12.0	11.0	19.0	11.0	13.3	3.9		
	ESPESOR, cm	18.0	10.0	24.0	31.0	20.8	8.9		
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	4.6	6.3	6.5	6.7	6.0	1.0		
B	LIMITE LIQUIDO, %	26.4	24.8	25.6	27.3	26.0	1.1		
	INDICE PLASTICO, %	10.7	9.6	7.2	7.2	8.7	1.8		
A	CONTRACCIÓN LINEAL, %	4.4	2.8	3.2	2.2	3.2	0.9		
	EQUIVALENTE DE ARENA, %	16.3	17.0	15.3	27.5	19.0	5.7		
S	GRAVA, %	46.8	62.5	81.6	48.5	59.9	16.1		
	ARENA, %	41.7	28.9	14.1	39.4	31.0	12.6		
E	FINOS, %	11.5	8.6	4.3	12.1	9.1	3.6		
	CLASIFICACIÓN SUCS	GP-GC	GW-GC	GP	GC				
S	ESPESOR, cm	17.0	21.0	17.0	25.0	20.0	3.8		
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	9.0	9.1	26.2	24.5	17.2	9.4		
B	LIMITE LIQUIDO, %	26.0	27.2	45.7	45.4	36.1	11.0		
R	INDICE PLASTICO, %	9.3	12.6	19.5	20.0	15.4	5.3		
A	CONTRACCIÓN LINEAL, %	2.1	2.2	10.4	8.4	5.8	4.3		
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	11.8	21.1	2.9	3.6	9.9	8.5		
A	GRAVA, %	45.6	39.9	0.0	0.0	21.4	24.8		
N	ARENA, %	37.1	46.5	30.7	29.0	35.8	7.9		
T	FINOS, %	17.3	13.6	69.3	71.0	42.8	31.6		
E	CLASIFICACIÓN SUCS	GC	SC	CL	CL				
T	HUMEDAD DEL LUGAR, %	15.8	24.0	25.5	27.3	23.2	5.1		
E	LIMITE LIQUIDO, %	28.0	38.5	43.5	57.7	41.9	12.3		
R	INDICE PLASTICO, %	10.5	15.4	18.2	33.3	19.4	9.8		
R	CONTRACCIÓN LINEAL, %	4.9	7.2	10.4	14.7	9.3	4.2		
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	6.9	6.0	3.2	3.6	4.9	1.8		
P	GRAVA, %	0.0	33.1	12.9	0.0	11.5	15.6		
L	ARENA, %	50.6	28.8	27.3	9.2	29.0	16.9		
E	FINOS, %	49.4	38.1	59.8	90.8	59.5	22.7		
N	CLASIFICACIÓN SUCS	SC	GC	CL	CH ₁				

SIMBOLOGIA EN CLASIFICACIÓN SUCS

C ARCILLA

M LIMO

S ARENA

G GRAVA

GP GRAVA POBREMENTE GRADUADA

GW GRAVA BIEN GRADUADA



BASE ASFÁLTICA



NO EXISTE ESTA CAPA

NOTA: LAS CALAS 65 Y 66 FUERON EJECUTADAS EN LAS ZONAS DE ESTACIONAMIENTO CERCANAS A LA PLAZA DE COBRO DE COMPOSTELA

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (4/6)

Fuente: Geosol S. A. de C. V.

CAPA	S-2	S-19	S-21	S-23	S-29	S-30	S-32	S-34	S-36	S-39	S-41	S-43	S-45	S-47	S-48	S-50	S-52	S-54					
	0+480	1+500	2+500	3+500	4+500	5+500	6+500	7+500	8+500	10+500	11+500	12+500	13+500	14+500	15+500	16+500	17+500	18+500					
CARACTERISTICAS																							
CARPETA																							
	ESPESOR, cm	12.0	24.0	17.0	10.0	18.0	14.0	15.0	16.0	15.0	10.0	10.0	11.0	12.0	8.0	14.0	12.0	15.0					
B	HUMEDAD DEL LUGAR, %	7.8	7.1	6.8	8.6	5.7	5.6	6.4	6.7	5.8	7.9	8.6	7.2	6.5	6.2	7.9	12.0	9.0					
	LIMITE LIQUIDO, %	27.2	22.7	27.1	25.8	27.5	28.7	28.1	25.2	-	-	-	26.9	-	25.9	28.7	-	28.9					
A	INDICE PLASTICO, %	10.9	9.9	11.8	9.5	11.4	12.3	10.9	10.0	-	-	-	13.1	-	9.4	12.7	-	10.0					
	CONTRACCION LINEAL, %	3.5	2.0	2.6	1.4	4.2	3.8	4.8	3.7	-	-	-	-	-	3.5	-	-	4.4					
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	43.2	18.3	15.0	48.9	17.8	20.4	17.1	23.2	16.4	18.4	15.4	21.1	13.8	17.5	23.2	28.6	18.0					
	GRAVA, %	52.9	74.6	54.7	62.0	54.5	51.6	52.9	63.7	58.1	64.7	57.6	41.5	55.6	60.8	67.7	64.8	54.9					
E	ARENA, %	38.7	20.9	34.3	33.6	37.3	42.1	40.1	26.0	29.0	34.4	28.7	35.0	49.4	33.5	31.1	26.4	34.3					
	FINOS, %	8.4	4.5	11.0	4.4	8.2	6.3	7.0	4.7	7.3	6.6	7.4	9.1	10.9	8.1	5.9	7.3	10.8					
	CLASIFICACION SUCS	GW-GC	GP	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	SW-SC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC					
S	ESPESOR, cm	18.0	13.0	18.0																			
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	9.8	11.7	11.3																			
B	LIMITE LIQUIDO, %	26.3	23.3	30.7																			
B	INDICE PLASTICO, %	7.7	5.8	10.0																			
A	CONTRACCION LINEAL, %	1.8	1.6	2.2																			
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	28.5	59.7	22.2																			
E	GRAVA, %	26.4	56.5	29.1																			
	ARENA, %	53.6	35.5	53.8																			
	FINOS, %	20.0	8.0	17.1																			
	CLASIFICACION SUCS	SC	GW-GM	SC																			
S	ESPESOR, cm	31.0	27.0	25.0	20.0	17.0	20.0	16.0	19.0	19.0	18.0	17.0	20.0	28.0	20.0	17.0	21.0	23.0					
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	30.4	17.9	27.4	9.3	15.4	6.7	11.9	9.5	10.3	12.1	10.2	8.2	8.8	10.4	21.6	18.1	11.8					
B	LIMITE LIQUIDO, %	49.0	30.7	60.5	28.5	29.1	28.3	29.5	27.7	28.5	27.6	26.6	25.4	25.4	26.5	26.8	25.4	25.1					
R	INDICE PLASTICO, %	24.3	15.9	35.9	9.0	9.5	9.2	10.0	9.7	5.4	6.0	9.7	6.9	10.9	10.7	10.0	9.9	8.8					
A	CONTRACCION LINEAL, %	11.4	4.2	11.9	1.0	0.0	1.9	3.9	2.0	2.7	2.4	0.7	2.3	1.4	0.0	0.0	1.3	2.4					
S	EQUIVALENTE DE ARENA, %	2.2	61.1	2.9	12.7	26.8	32.4	14.5	20.1	18.6	21.4	22.5	16.8	17.2	17.3	19.0	57.6	31.6					
A	GRAVA, %	3.6	44.6	16.2	40.7	31.6	30.5	48.4	32.8	37.1	34.2	36.1	25.3	29.0	32.1	30.5	31.8	20.6					
N	ARENA, %	22.6	46.5	22.0	47.9	54.6	57.0	35.4	49.3	42.9	48.0	47.8	58.4	54.7	51.0	51.4	53.4	57.8					
T	FINOS, %	73.8	8.9	61.8	11.4	13.8	12.5	16.2	17.9	20.0	17.8	16.1	16.3	16.3	18.1	14.8	12.6	21.6					
E	CLASIFICACION SUCS	CL	GW-SC	CH ₁	SP-SC	SC	SC	GC	SC	SM	SC	SC											
T	HUMEDAD DEL LUGAR, %																						
E	LIMITE LIQUIDO, %	37.2	39.0	27.0	20.8	24.2	19.6	16.2	22.2	12.7	9.8	9.4	20.5	14.2	22.4	27.1	31.4	31.7					
R	INDICE PLASTICO, %	17.4	19.3	10.7	17.4	19.3	10.7	14.8	10.0	8.1	8.0	8.1	13.8	11.2	13.9	23.9	44.4	60.2					
R	CONTRACCION LINEAL, %	7.5	7.9	4.2	7.5	6.0	4.2	7.2	3.3	0.8	0.7	0.1	6.7	5.2	6.5	13.1	13.0	31.6					
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	4.3	6.0	5.8	4.3	6.0	5.8	5.8	5.7	8.5	22.9	17.3	7.3	9.6	7.3	3.1	3.5	2.8					
P	GRAVA, %	11.2	11.6	9.0	11.2	11.6	9.0	12.4	9.4	1.0	0.9	3.8	24.1	45.6	38.8	0.0	0.4	0.2					
L	ARENA, %	40.8	39.0	47.4	40.8	39.0	47.4	41.0	48.3	65.4	76.9	65.6	43.2	28.2	30.9	11.2	7.7	9.5					
E	FINOS, %	48.0	49.4	43.6	48.0	49.4	43.6	46.6	42.3	33.6	22.2	24.8	32.7	26.2	30.3	88.8	91.9	90.3					
N	CLASIFICACION SUCS	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SM	GC	GC	CL	CH ₁	CH ₁					

CARRIL DERECHO

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (5/6)

Fuente: Geosol S. A. de C. V.

CAPA	CARACTERISTICAS	S-57	S-59	S-61	S-63	S-28	S-25	S-16	S-14	S-3	S-4	S-5	S-65	S-7	S-9	S-11	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
		20+500 CARPETA	21+500	22+500	23+500	24+500	26+600	27+500	28+500	29+000	29+500	30+500	31+435	31+500	32+500	33+500		
B	ESPESOR, cm	23.0	25.0	29.0	28.0	27.0	30.5	28.0	28.0	24.0	31.0	24.0	24.0	26.0	30.0	27.0	18.9	8.2
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	6.4	4.7	7.8	5.8	6.9	6.6	6.8	8.6	5.8	5.3	9.1	6.3	6.3	7.3	8.4	7.0	1.4
	LIMITE LIQUIDO, %	27.1	26.6	25.2	25.3	27.3	26.6	26.1	27.1	26.8	26.6	26.7	27.6	27.6	26.0	27.8	26.8	1.3
	INDICE PLASTICO, %	9.1	9.9	7.7	8.0	12.1	11.4	10.5	9.8	10.7	10.1	9.9	9.9	11.8	10.2	11.2	10.6	1.3
	CONTRACCIÓN LINEAL, %	-	2.6	4.3	4.1	4.3	5.4	4.4	4.7	3.4	2.9	2.9	4.2	3.4	3.1	4.9	3.7	1.0
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	29.6	19.5	13.2	14.9	17.8	15.0	22.1	29.0	19.1	20.0	42.2	21.0	21.0	16.1	14.7	21.5	8.7
	GRAVA, %	64.0	62.5	53.7	55.8	49.5	58.1	58.3	66.0	58.7	50.3	57.4	66.7	66.7	55.4	60.3	58.7	6.7
S	ARENA, %	28.8	29.8	38.6	36.0	39.7	35.4	33.6	28.8	32.0	41.0	35.0	26.2	26.2	34.3	32.6	33.6	5.7
	FINOS, %	7.2	7.7	7.7	8.2	10.8	6.5	8.1	5.2	9.3	8.7	7.6	7.1	10.3	10.3	7.1	7.7	1.8
E	CLASIFICACIÓN SUCS	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GP-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC	GW-GC		
	ESPESOR, cm																16.3	2.9
S	HUMEDAD DEL LUGAR, %																10.9	1.0
	LIMITE LIQUIDO, %																26.8	3.7
U	INDICE PLASTICO, %																7.8	2.1
	CONTRACCIÓN LINEAL, %																1.9	0.3
B	EQUIVALENTE DE ARENA, %																36.8	20.1
	GRAVA, %																37.3	16.7
A	ARENA, %																47.6	10.5
	FINOS, %																15.0	6.3
S	CLASIFICACIÓN SUCS																	
	ESPESOR, cm	23.0	20.0	25.0	25.0	22.0	21.0	23.0	22.0	19.0	19.0	18.0	69.0	22.0	22.0	19.0	22.6	9.0
U	HUMEDAD DEL LUGAR, %	24.5	27.4	30.3	28.5	31.3	23.0	26.7	22.5	17.0	22.6	27.1	21.4	25.6	13.9	22.5	18.6	7.8
	LIMITE LIQUIDO, %	50.4	49.5	50.9	47.2	60.7	47.1	42.6	46.9	53.6	47.1	58.0	61.2	39.5	38.1	36.0	38.7	12.5
B	INDICE PLASTICO, %	27.2	23.8	25.4	22.6	30.2	23.3	18.8	16.9	26.6	19.2	29.0	34.6	11.2	14.6	7.8	16.4	8.9
	CONTRACCIÓN LINEAL, %	16.4	11.6	12.5	10.9	15.0	11.0	9.1	7.6	10.4	7.2	12.5	13.9	0.7	1.4	0.5	5.8	5.3
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %	4.1	3.4	2.9	2.8	3.1	3.9	3.0	4.2	3.1	3.6	3.5	2.4	15.1	26.7	15.5	16.6	16.2
	GRAVA, %	15.0	32.7	29.5	9.4	17.4	15.1	13.3	18.5	10.2	15.7	8.8	13.4	9.0	4.8	18.0	23.9	12.0
S	ARENA, %	25.6	16.3	13.4	34.2	16.8	32.8	30.2	33.2	39.7	34.3	40.1	13.5	57.3	64.8	41.4	40.9	14.6
	FINOS, %	59.4	51.0	57.1	56.4	65.8	52.1	56.5	48.3	50.1	50.0	51.1	73.1	33.7	30.4	40.6	35.2	21.1
E	CLASIFICACIÓN SUCS	CH ₁	CL	CH ₁	CL	CH ₁	CL	CL	SM	CH ₁	ML-SM	CH ₁	CH ₁	SM	SC	SM		
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	25.0	33.7	27.2	32.3	32.1	21.9	45.8	26.9	34.3	30.4	34.2	34.2	29.5	13.1	24.3	24.2	9.0
T	LIMITE LIQUIDO, %	51.7	59.5	59.8	58.5	61.7	46.5	48.0	50.9	53.5	48.2	54.6	58.3	36.3	34.6	35.0	44.7	11.7
	INDICE PLASTICO, %	26.1	29.8	27.8	27.7	32.6	23.7	23.2	21.1	25.0	18.2	24.8	24.8	9.8	7.7	9.8	7.8	9.3
R	CONTRACCIÓN LINEAL, %	10.8	12.4	12.5	12.8	15.2	11.2	10.2	6.3	11.4	7.3	11.2	11.2	1.5	1.9	0.6	7.4	4.9
	EQUIVALENTE DE ARENA, %	3.5	3.0	2.4	1.8	3.0	3.9	2.3	3.7	3.6	4.5	2.9	2.9	12.5	14.7	13.5	7.8	8.0
A	GRAVA, %	25.1	11.1	12.1	16.7	14.4	33.8	26.2	39.4	41.8	40.7	34.2	34.2	45.0	63.7	71.1	38.6	20.6
	FINOS, %	40.2	87.6	84.3	81.2	64.7	58.2	61.5	57.4	54.8	50.8	60.1	60.1	49.7	28.9	24.4	51.4	22.6
L	CLASIFICACIÓN SUCS	SC	CH ₁	MH ₁	MH ₁	CH ₁	CL	CL	MH ₁	CH ₁	ML-SM	MH ₁		SM	SM	SM		
	HUMEDAD DEL LUGAR, %																	

Tabla 7. Resumen de los resultados de las muestras obtenidas. (6/6)

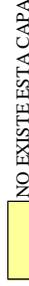
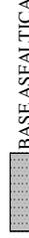
Fuente: Geosol S. A. de C. V.

CAPA		CARACTERISTICAS		PCA-3 9+500	PCA-5 19+500	PCA-7 34+470	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
CARPETA	ESPESOR, cm			13.0	16.0	12.0	25.0	2.1
B	ESPESOR, cm			11.0	10.0	32.0	43.0	12.4
	HUMEDAD DEL LUGAR, %			7.0	7.7	7.4	14.4	0.4
A	LIMITE LIQUIDO, %			24.1	26.8	26.2	50.3	1.4
	INDICE PLASTICO, %			6.7	9.4	8.2	14.9	1.4
S	CONTRACCIÓN LINEAL, %			2.3	-	3.5	5.8	0.8
	EQUIVALENTE DE ARENA, %			15.2	18.6	17.6	32.8	1.7
E	GRAVA, %			54.2	60.9	48.8	103.0	6.1
	ARENA, %			35.9	30.4	41.6	77.5	5.6
S	FINOS, %			9.9	8.7	9.6	19.5	0.6
	CLASIFICACIÓN SUCS			GW-GC	GW-GC	GW-GC		
S	ESPESOR, cm			22.0	18.0	15.0	37.0	3.5
	HUMEDAD DEL LUGAR, %			11.1	20.5	26.0	37.1	7.5
B	LIMITE LIQUIDO, %			27.9	27.5	38.7	66.6	6.4
	INDICE PLASTICO, %			7.0	13.9	8.1	15.1	3.7
A	CONTRACCIÓN LINEAL, %			2.7	0.7	1.2	3.9	1.0
	EQUIVALENTE DE ARENA, %			13.1	54.9	17.4	30.5	23.0
A	GRAVA, %			40.2	37.3	0.0	40.2	22.4
	ARENA, %			40.5	49.0	42.8	83.3	4.4
T	FINOS, %			19.3	13.7	57.2	76.5	23.7
	CLASIFICACIÓN SUCS			SC	SC	ML		
T	HUMEDAD DEL LUGAR, %			22.1	34.5	31.3	53.4	6.4
	LIMITE LIQUIDO, %			31.8	55.0	39.9	71.7	11.8
R	INDICE PLASTICO, %			8.5	27.5	7.5	16.0	11.3
	CONTRACCIÓN LINEAL, %			1.4	11.6	1.3	2.7	5.9
A	EQUIVALENTE DE ARENA, %			11.2	1.8	14.8	26.0	6.7
	GRAVA, %			4.9	1.8	4.6	9.5	1.7
L	ARENA, %			58.3	14.1	42.1	100.4	22.4
	FINOS, %			36.8	84.1	53.3	90.1	24.0
N	CLASIFICACIÓN SUCS			SC	CH ₁	ML		

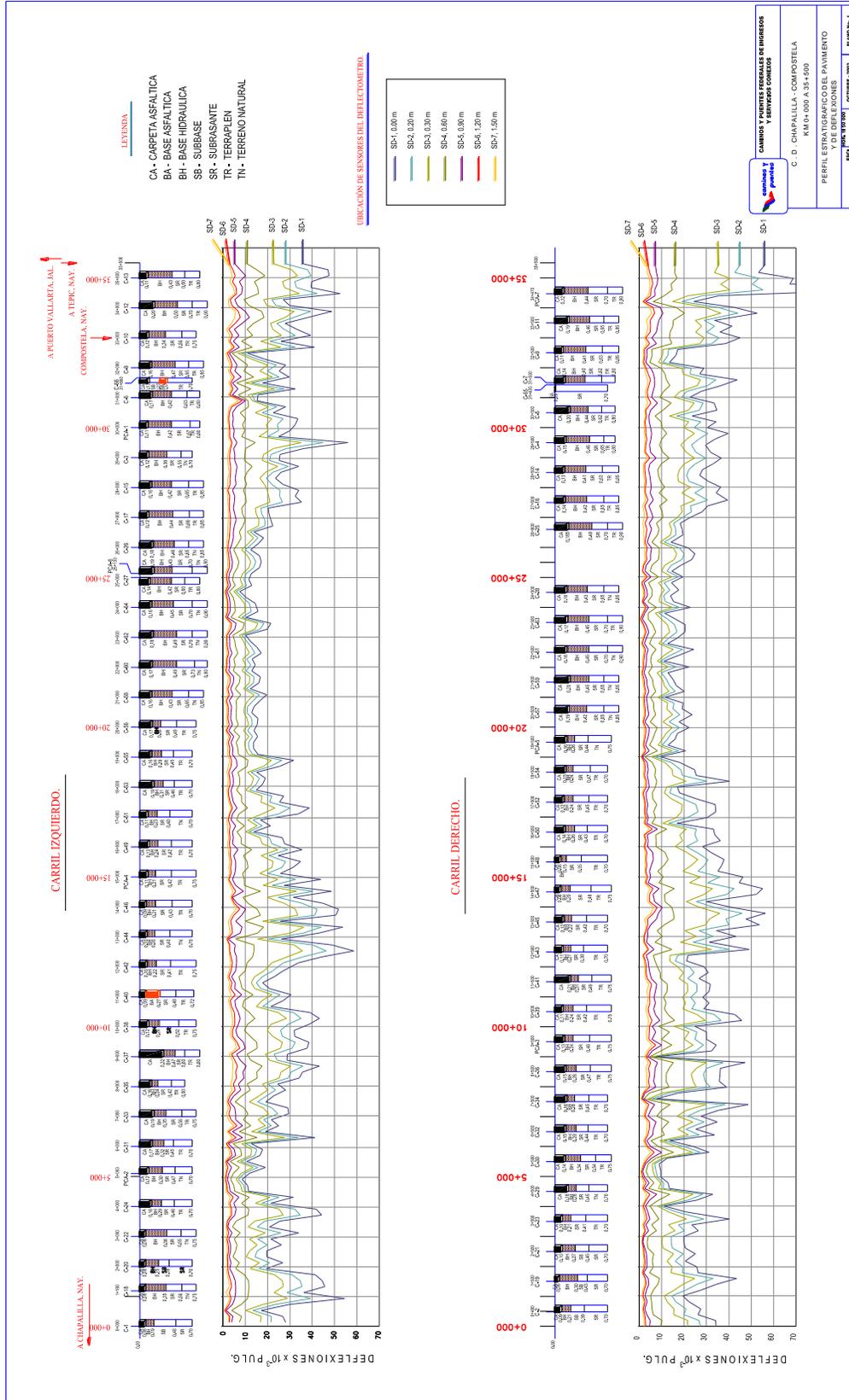
CARRIL DERECHO

SIMBOLOGIA EN CLASIFICACIÓN SUCS

- C ARCILLA
- M LIMO
- S ARENA
- G GRAVA
- GP GRAVA POBREMENTE GRADUADA
- GW GRAVA BIEN GRADUADA



NOTA: LAS CALAS 65 Y 66 FUERON EJECUTADAS EN LAS ZONAS DE ESTACIONAMIENTO CERCANAS A LA PLAZA DE COBRO DE COMPOSTELA



B) SECCIÓN ESTRUCTURAL DEL CAMINO.

Estructura del camino. Como parte del estudio geotécnico y con el objeto de conocer las características y estructura del pavimento se realizaron calas o sondeos, separados entre sí a quinientos metros, llevando la exploración hasta una profundidad de 1.0 m. Además se hicieron siete (7) pozos a cielo abierto (PCA), en sitios estratégicos con el mismo objeto de conocer las propiedades de los materiales. Para obtener muestras de la carpeta asfáltica, se utilizó una extractora de núcleos con broca de diamante de seis pulgadas (15cm) de diámetro; el resto de la exploración se llevó a cabo con herramienta manual la cual permitió realizar un muestreo continuo de los materiales de la base, subbase, subrasante y terraplén o terreno natural; todas las muestras de los sondeos fueron enviadas al laboratorio de materiales para su análisis y determinación de sus propiedades físicas.

La estructura del pavimento observada en los sondeos presenta varias zonas homogéneas y está constituida por una carpeta asfáltica con espesores promedio de 9 a 18 cm, posteriormente subyace una base hidráulica con espesores promedio de 10 a 28 cm, formada principalmente por grava arcillosa (GC). En los primeros dos punto cinco kilómetros aparece una subbase de 18 cm de espesor promedio, constituida principalmente con gravas y arenas arcillosas (GC y SC); finalmente se encontró una capa subrasante de espesor variable constituida por arenas limosas o arcillosas, limos y arcillas (SM, SC, ML y CL). (Ver Tabla 7).

Características Geométricas: El trazo corresponde con un **camino tipo A**, construido con pavimento flexible, el cual consta de un solo cuerpo con dos carriles de circulación y acotamientos muy estrechos, con un ancho de corona de 8.0 m como máximo. Los anchos de carril y acotamiento son de 3.5 y 0.5m, respectivamente. La sección transversal tipo en terraplén se observa en la **figura 2**.

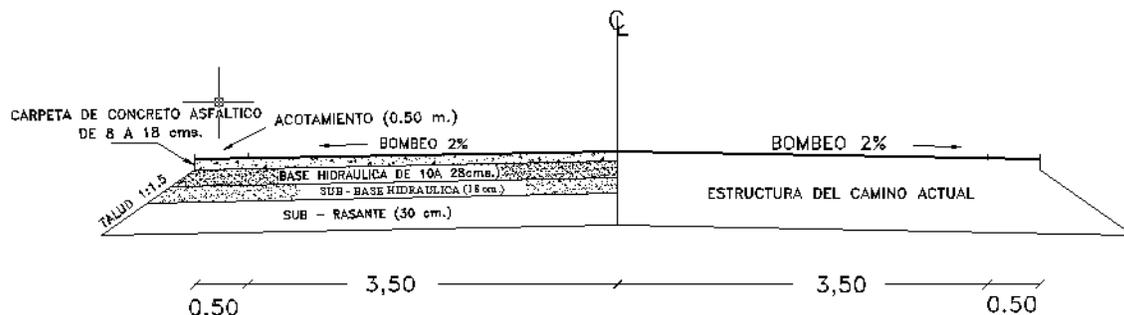


Figura 2. SECCIÓN TIPO DEL CAMINO EN TERRAPLEN.

Fuente: Creación propia.

La estructura de pavimento en la mayor parte del tramo consta de una carpeta asfáltica de espesor promedio entre 9 y 18 cm, subyaciendo a ésta se encuentra una base hidráulica entre 10 y 28 cm de espesor en promedio, todo esto desplantado sobre una subrasante de espesor variable, con secciones en corte y terraplén de altura variable; en los primeros dos punto cinco kilómetros existe una capa de subbase con espesor promedio de 18cm.

Capítulo II. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.**II.1) CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

En una mezcla asfáltica en caliente para usos de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla de granulometría densa. Ellos son el método Marshall y el método Hveem.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es principalmente, asunto de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios. (En este trabajo se mencionará únicamente el método Marshall.)

1) CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis esta enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- A).- Densidad de la mezcla.
- B).- Vacíos de aire o simplemente vacíos.
- C).- Vacíos en el agregado mineral.
- D).- Contenido de asfalto.

A) Densidad.

La densidad de la mezcla compactada esta definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada.

Las especificaciones usualmente requieren que la densidad de los materiales que integran la estructura del pavimento sea un porcentaje de la densidad obtenida en el laboratorio. **Esto se debe a que muy rara vez la compactación in-situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.**

B) Vacíos de aire (o simplemente vacíos).

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir una compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos (no ocupados por asfalto) puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre mas alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos de la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos; preferiblemente menos del 8 por ciento.

C) Vacíos en el agregado mineral.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. Los VMA representan el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos en la mezcla. Cuando mayor sean los VMA, mas espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto mas gruesa sea la película del asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. La **figura 3** ilustra el concepto de VMA y la **Tabla 8** presenta los valores requeridos.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir los VMA para economizar en el contenido de asfalto.

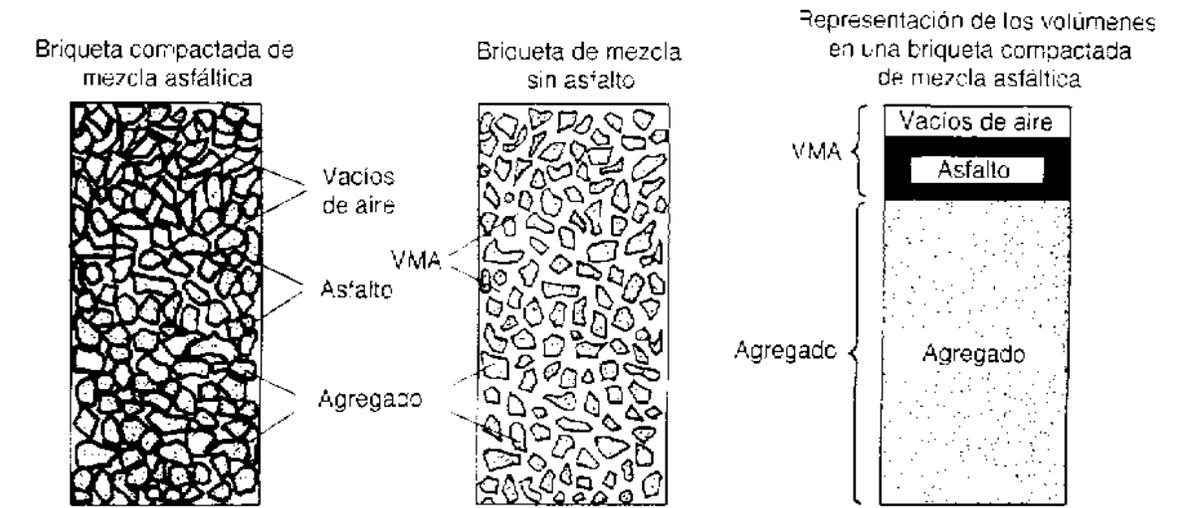


Figura 3. Ilustración de los VMA en una probeta de mezcla compactada.

Nota: El volumen de asfalto absorbido no es mostrado.

Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

Tabla 8. Vacíos en el agregado Mineral (Requisitos de VMA).

Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

Tamaño máximo en mm		VMA mínimo, por ciento			
porcentaje.		Vacíos de diseño, por ciento ³			
mm	in.	3.0	4.0	5.0	
1.18	No.16	21.50	22.50	23.50	
2.36	No.8	19.00	20.00	21.00	
4.75	No. 4	16.00	17.00	18.00	
9.50	3/8	14.00	15.00	16.00	
12.50	1/2	13.00	14.00	15.00	
19.00	3/4	12.00	13.00	14.00	
25.00	1.00	11.00	12.00	13.00	
37.50	1.50	10.00	11.00	12.00	
50.00	2.00	9.50	10.50	11.50	
63.00	2.50	9.00	10.00	11.00	

¹Especificación normal para tamaños de tamices usados en pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)

²El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene más de 10 por ciento del material.

³Interpole los VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

D) Contenido de asfalto.

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales con la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado esta directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre mas finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber el asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

2).- PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS.

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logran obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de los pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la **estabilidad**, la **durabilidad**, la **impermeabilidad**, la **trabajabilidad**, la **flexibilidad**, la **resistencia a la fatiga** y la **resistencia al deslizamiento**.

El objetivo primordial del procedimiento del diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades.

2.1) Estabilidad.

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) esta relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Esto es, que entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. La fuerza ligante de la cohesión aumenta con incrementos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye.

Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdidas de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. La siguiente tabla enuncia varias de estas causas y efectos.

Tabla 9. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

BAJA ESTABILIDAD	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin o con pocas, superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

2.2) Durabilidad.

Durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad por que las películas gruesas de asfalto no envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, y resistente a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento.

La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos minerales como la cal hidratada. Existen muchas causas y efectos asociados con una poca durabilidad del pavimento. La siguiente tabla presenta una lista de algunas de estas causas y efectos.

Tabla 10. Causas y efectos de una poca durabilidad.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

POCA DURABILIDAD	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

2.3) Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica esta relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad esta determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

La impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. En la siguiente tabla se mencionan ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos de graduación densa.

Tabla 11. Causas y efectos de la impermeabilidad.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño.	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad.

2.4) Trabajabilidad.

La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla mas trabajable.

En tal caso se deberá de tener cierto cuidado para garantizar que la muestra modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas fácilmente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también puede afectar la trabajabilidad de la mezcla. En la siguiente tabla se muestran algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

Tabla 12. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

MALA TRABAJABILIDAD	
Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable.

2.5) Flexibilidad.

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, como consecuencia de movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, mas flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.6) Resistencia a la fatiga.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. La siguiente figura presenta una lista de las causas y efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

Tabla 13. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.

Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento.	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

2.7) Resistencia al deslizamiento.

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40mi/hr).

Existen diferentes tipos, se describirán dos modelos de alto rendimiento:

1) Equipo de medición SCRIM

Figura 4. SCRIM. Rueda oblicua respecto del sentido de la marcha.

Fuente: [youtube.com/equipo de medición SCRIM](https://www.youtube.com/equipo%20de%20medici%C3%B3n%20SCRIM).

El equipo SCRIM permite evaluar las características adherentes de los pavimentos en condiciones de lluvia. El ensayo consiste en verter agua en la superficie del pavimento, inmediatamente antes del paso de la rueda de medida, para obtener el rozamiento del pavimento mojado con una lámina de agua de entre 0.5 a 1.0 milímetro.

La rueda de ensayo que se encuentra colocada con un ángulo de deriva de 20° respecto al eje longitudinal del vehículo. Sobre la rueda (neumático liso resistente), se aplica una carga vertical de 200 kg. Aunque se permite su rotación, ósea no se encuentra bloqueada.

El equipo SCRIM permite con un sensor láser, la medida en continuo de la macrotextura del pavimento a la velocidad de desplazamiento del equipo. De forma simultánea a la toma de datos de deslizamiento, se mide la velocidad de circulación y la distancia recorrida. También cuenta con sensores independientes de determinación de la temperatura ambiental y de la del pavimento.

La relación existente entre la fuerza perpendicular al plano y la reacción vertical que se produce entre la rueda de ensayo y la superficie de la carretera, es el coeficiente de rozamiento transversal.

2) Equipo de medición Grip Tester. Rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento variable



Figura 5. Grip Tester.
Fuente: aepo.es/equiposarea5

El Grip Tester es un equipo de alto rendimiento, que se utiliza para la obtención del coeficiente de resistencia al deslizamiento de pavimentos. Está basado en el principio de rueda parcialmente frenada (15%). La carga y la resistencia al avance se miden continuamente y su coeficiente, el coeficiente de rozamiento, se procesa, guarda y visualiza en un ordenador portátil ubicado en el interior del vehículo remolcador. Al mismo tiempo se recoge la velocidad de circulación, permitiendo la introducción manual de eventos por el operador.

Los ensayos pueden realizarse remolcando el equipo con un vehículo, circulando a una velocidad de hasta 130 km/h de modo que el proceso de medición se puede realizar sin interferir en el tráfico,

La superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgada) a 12.5 mm (1/2 pulgada), además de tener una superficie áspera los agregados deben resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto en la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. La tabla siguiente presenta una lista de causas y efectos relacionados con una mala resistencia al deslizamiento.

Tabla 14. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.

Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto.	Exudación, poca resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado o con mala textura.	Pavimento liso, posibilidad de hidroneo.
Agregado pulido en la mezcla.	Poca resistencia al deslizamiento.

Resumen de propiedades consideradas en el diseño de mezclas:

El diseño de mezclas asfálticas de pavimentación consiste, en gran parte, en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas en el pavimento terminado. El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una mezcla con:

- Suficiente asfalto para garantizar un pavimento durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficiente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito sin que produzca exudación o pérdida de estabilidad, y todavía lo suficiente bajo para no dejar penetrar los efectos dañinos del aire y el agua.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.

El diseño de mezcla seleccionado es, usualmente, el más económico y el que cumple satisfactoriamente con todos los criterios establecidos. Es utilizada en la aceptación de materiales, en el control de la mezcla de obra, y en la compactación final del pavimento.

II.2) MÉTODO MARSHALL. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE PAVIMENTACIÓN.

Antecedentes.

El concepto del método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall, ex ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Missisipi.

El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comprados y evaluados para desarrollar un método simple.

El cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el Método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y estudios de correlación, en el laboratorio, el cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

Propósito.

El propósito del diseño Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con cierta viscosidad o penetración, y que contiene agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

Descripción general del método.

El método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

A) PROCESO DE DISEÑO. A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas.

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall.

Partiendo del conocimiento de que los diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que pueda combinarse para producir esas cualidades, una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

Selección de las muestras de material.

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón simple es: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determina la fórmula o la “receta” para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solo si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura en el pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

Preparación del agregado.

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

Secando el agregado.

El método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110°C.

Después de cierto tiempo, la muestra se pesa, y se registra su valor. La muestra se calienta completamente una segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

Análisis granulométrico por vía húmeda.

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- 1) Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- 2) Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo al agregado.
- 3) Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- 4) El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

Determinación del peso específico del agregado.

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

Preparación de las muestras (probetas) de ensayo.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo esta determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- 2) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes, así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

B) PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO MARSHALL.

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

Determinación del peso específico total. El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

Ensayos de estabilidad y fluencia. El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C. Esta temperatura representa normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta con medidores de carga y deformación (fluencia).
- 3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- 4) La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

Valor de Estabilidad Marshall.

El valor de la estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

Valor de la fluencia Marshall.

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Análisis de Densidad y vacíos.

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

• Análisis de vacíos.

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la muestra de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y del agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

• Análisis del peso unitario.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000kg/m^3 .

• Análisis de los vacíos en el agregado mineral (VMA).

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. Los VMA son calculados con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, los VMA pueden ser calculados al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

• Análisis de los vacíos llenos de asfalto (VFA).

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. Los VFA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, los VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

C) RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL.

Graficando los resultados.

Los técnicos de laboratorio trazan los resultados del ensayo Marshall en gráficas, para poder entender las características particulares de cada probeta usada en la serie. Mediante el estudio de las gráficas se puede determinar cual probeta, de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento terminado. Las proporciones de asfalto y agregado en esta probeta se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final.

La **figura 6** muestra seis gráficas de resultados del ensayo Marshall. Cada gráfica tiene trazados los resultados de las diferentes pruebas. Los valores de estos resultados están representados por puntos. La primera gráfica muestra los porcentajes de vacíos, la segunda los porcentajes de vacíos en el agregado mineral (VMA); la tercera los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA); la cuarta los pesos unitarios (densidades); la quinta los valores de estabilidad Marshall; y la sexta los valores de fluencia Marshall. En cada gráfica, los puntos que representan los diferentes valores son conectados mediante líneas para formar líneas suaves.

Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos.

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas de la **figura 6**.

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto (gráfico 1).
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto (gráfico 2).
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto (gráfico 3).
- La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad (gráfico 4).
- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto (gráfico 5).
- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto (gráfico 6).

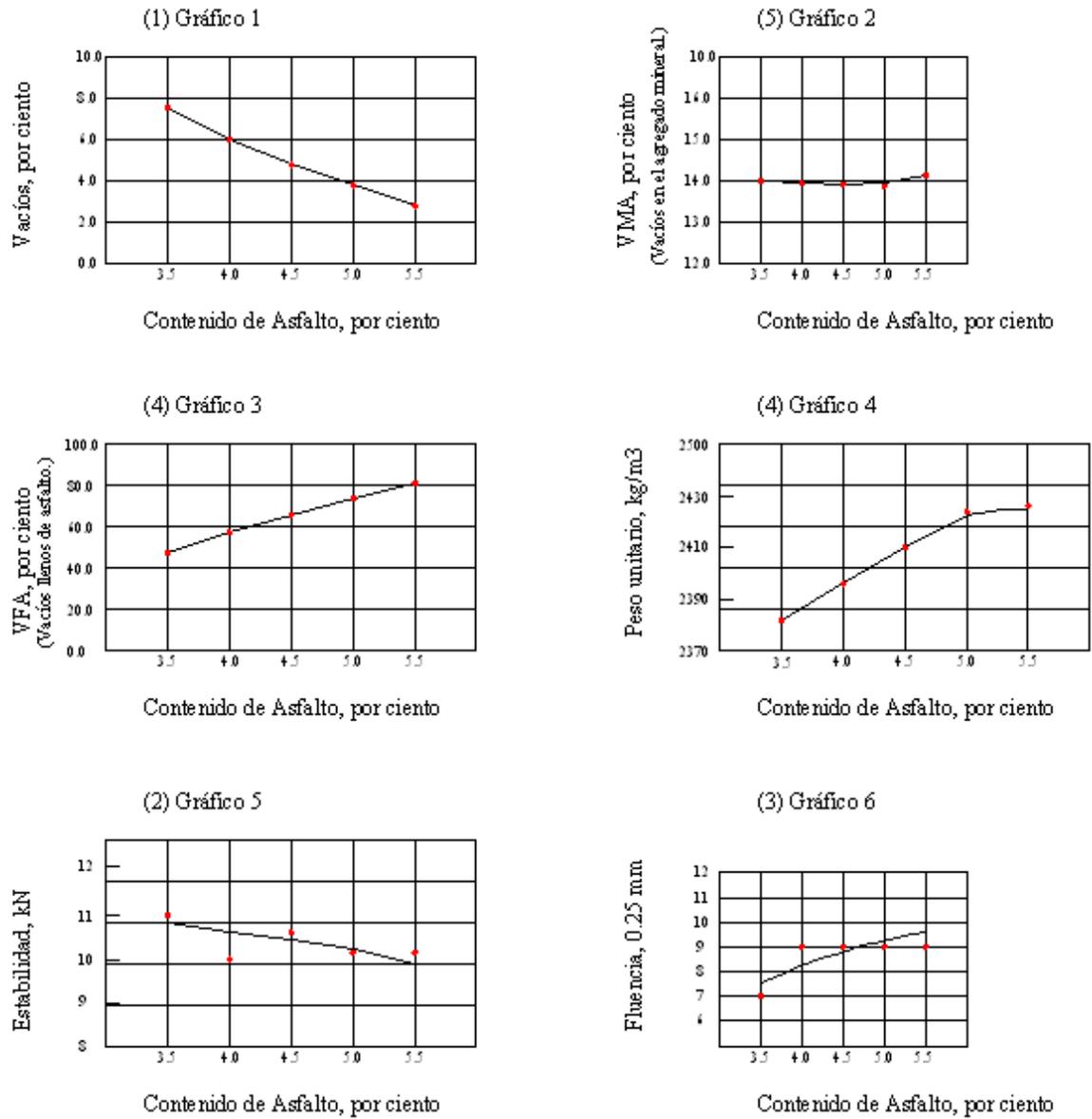


FIGURA 6: Ejemplo De gráficas para los Resultados de una Serie de Cinco Probetas Marshall.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero, determine el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4 por ciento. Luego evalúe todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto y compárelas con los criterios de diseño de la **figura 5**. Si se cumplen todos los criterios, este es el contenido de diseño del asfalto. Si no se cumplen todos los criterios, será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

Verificando los Criterios de Diseño.

Usando los datos de la figura 5, podemos observar que el contenido de asfalto (gráfico 1), para un contenido de vacíos de 4 por ciento, es de 4.7 por ciento. Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados para garantizar que cumplen con los criterios de diseño Marshall. Refiriéndonos de nuevo a las gráficas de la figura 5, encontramos que un contenido de asfalto de 4.7 por ciento representa los valores de las otras propiedades:

Estabilidad (Gráfico 5).....	10, 200 N (2,300 lbf)
Fluencia (Gráfico 6).....	9
Porcentaje de VFA (Gráfico3).....	70
Porcentaje de VMA (Gráfico 2).....	14

Podemos ahora comparar estos valores recomendados por el Instituto del Asfalto (U.S.A) en los Criterios de Diseño Marshall (**Tabla 15**), para una mezcla superficial con tránsito pesado. El valor de estabilidad de 10,200 N (2,300 lbf) excede el criterio mínimo de 8,007 N (1,800 lbf). El valor de flujo (de 9) cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual de 8 a 14. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual es de 65 a 75.

El porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral también puede ser revisado usando la **Tabla 16**, donde debe ser comparado con el VMA de la graduación del agregado en cuestión. Asuma que los datos de la figura 5 son para una graduación con un tamaño máximo nominal de agregado de 19 mm (3/4 pulgada). Podemos observar, entonces, que el valor de VMA de 14 sobrepasa el mínimo requerido de 13 para una mezcla de 19 mm que tiene un contenido de vacíos de 4 por ciento.

Seleccionado un Diseño de Mezcla.

El diseño de mezcla seleccionado para ser usado en un pavimento es, generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo. No se deberá diseñar una mezcla para optimizar una propiedad en particular. Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseables, debido a que los pavimentos que contienen este tipo de mezclas tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito. Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida solo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria.

criterios para la Mezcla del Metodo Marshall	Transito Liviano Carpeta y Base		Transito Mediano Carpeta y Base		Transito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad N (lb.)	3336 (750).	-----	5338 (1200).	-----	8006 (1800).	-----
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulgadas)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)			Ver tabla 16			
Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
NOTAS:						
1 Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60°C, se considerarán satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38°C, y las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. en las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas mas bajas de ensayo.						
2 Clasificaciones del tránsito. Liviano condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño < 104 Mediano condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño entre 104 y 106 Pesado condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño > 106						
3 Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el tránsito						
4 Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.						
5 Cuando este calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas del agregado.						
6 El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.						

Tabla 15: Criterios del Instituto del Asfalto (U. S. A) para el Diseño Marshall.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

Tamaño Máximo en mm		VMA Mínimo, por ciento		
Porcentaje		-----		
mm	in.	Vacíos de Diseño, por ciento ³		
		3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.4	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
19.0	3/4.	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0
1 Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)				
2 El tamaño máximo nominal de partículas es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas del 10 por ciento del material.				
3 Interpole el VMA mínimo para los valores de Vacíos de diseño que se encuentren entre l				

Tabla 16: Porcentaje Mínimo de VMA.
Fuente: Manual No. 22 del Instituto del Asfalto.

II.3) SISTEMA CASAA, CARPETA ASFÁLTICA ALTAMENTE ADHERIDA (MICROCARPETA).**A) ORIGENEN DE LAS CARPETAS DE BAJO ESPESOR.**

La aplicación de capas asfálticas en espesores delgados no es reciente. En realidad desde la década de los 50' se vienen aplicando en calles de ciudades donde por razones de gálibo (geometría) y drenaje no se podrían aplicar espesores de 50 mm. Los "Sheet Asphalt", "Sand Asphalt", "Fine Cold Asphalt", etc. constituyen mezclas finas en caliente con tamaños máximos que no superan los 12 mm y que aún hoy en día se continúan aplicando. Las limitaciones de los mismos es que no se pueden aplicar en caminos de tránsito elevado ni proveen de condiciones de seguridad suficiente.

Las mezclas denominadas y creadas por los Ingleses como "Cold Asphalt" (asfalto en frío) se utilizaban en los 60' en calles de ciudad y caminos de bajo volumen de tránsito. Estas mezclas podían ser elaboradas en frío o en caliente y colocadas en frío o en caliente. Por lo general, y a pesar de su denominación, se les fabricaba y colocaba en caliente con extendedoras con enrasadora. El espesor promedio era de 25 mm lo que implicaba una dotación de 35 a 50 kg/m². Tenían dos granulometrías, una fina de 0-6 mm con un contenido de ligante entre 5,2 y 7,0% de un asfalto de penetración alta o un asfalto fluxado o un cutback. El contenido de filler oscilaba entre 5-15%. La textura final es la de un papel de lija fino. Esta se denomina "Fine Cold Asphalt". (Asfalto fino en frío).

Existe una "Coarse Cold Asphalt" (asfalto grueso en frío), con una granulometría 0-13mm, 3 a 7% de filler, 5 a 6 % de ligante, y para mejorar la textura se aplica un riego de "chippings" o piedra partida recubierta con asfalto, de tamaño uniforme que va desde 3/8 de pulgada (12-25 kg/m²) a 1 pulgada (6-12 kg/m²). Este riego de partículas se incrusta en el mortero quedando unas 3/4 partes inmersas en el mismo y proveyendo de una superficie con alta macrotextura. De manera que ya en los 60's se tenía la preocupación por la seguridad y el concepto de macrotextura en la calzada.

**B) MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE BAJO ESPESOR.
(Thin-Hot Asphalt Mixtures).**

Las características que definen estos tipos de mezclas asfálticas en caliente con respecto a las mezclas convencionales son: espesores menores de 40 mm, agregados totalmente provenientes de la trituración de rocas sanas y de alta calidad, filler, cementos asfálticos modificados, estabilizantes, y granulometrías especiales. Por su espesor se dividen en Finas, Muy Finas y Ultra finas. Por su granulometría se dividen en Densas con continuidad, Densas con discontinuidad y Abiertas.

Tabla 17. Granulometrías Típicas para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor.

Fuente: stalori.com.uy/data/files/sistemasdePavUbanadeBajoEspesor.pdf

Tamaños Pulg. No. (mm)	DENSA CONTINUA	DENSA DISCONTINUA	ABIERTA
1/2 (12.5)	100	100	100
3/8 (9.5)	75-95	85-95	95-100
4 (4.75)	39-72	30-42	30-50
8 (2.36)	49-57	25-35	5-15
30 (0.63)	14-23	14-25	---
50 (0.30)	6-21	---	---
200 (0.075)	3-6.5	8-12	2-5
Asfalto, %	5-6	6-7	5.5-7.5
Vacios Aire en Mezcla Compactada %	4	3-4	+15

Las mezclas densas y las abiertas han sido empleadas durante años en los EEUU y Europa. La mayoría de los países europeos y de los Estados Americanos tienen especificaciones para estas mezclas. Las mezclas densas discontinuas son una tecnología emergente desarrollada en Europa. Se pueden utilizar diversos tipos de mezclas discontinuas, tales como la Stone Matrix Asphalt, Novachip, Savepave, etc.

Estas mezclas se utilizan principalmente para obtener superficies con alta macrotextura, suficiente resistencia al deslizamiento, protección de la estructura y mayor durabilidad.

En la **Tabla 18** se presentan algunas diferencias típicas entre las mezclas asfálticas en caliente dosificadas con granulometría Densa, Densa-discontinua y Abierta.

Tabla 18. Comparación de Algunos Parámetros de Dosificación entre Mezclas Densas, Densas-Discontinua y Abierta.

Fuente: stalori.com.uy/data/.../sistemasdePavUbanadeBajoEspesor.pdf

Material	DENSAS	DENSA DISCONTINUA	ABIERTA
Agregado Grueso, (ret. 2.35mm)%	49	70	88
Agregados Intermedio y Fino (pasa 2.36mm)%	45	20	10
Filler (pasa 0.074mm)%	6	10	2
Contenido de Asfalto, %	4.5-5.3	5.5-7	4.0-5.0
Relación F/B	0.6-1.2	1.5	0.3
Vacios de la Mezcla Compactada, %	3-5	3-5	18-25
Vacios del Agregado Mineral, min, %	12-13	17	NA
Espesor, mm	50-60	20-30	20-30
Tamaño Máximo Nominal, mm	19-25	10-14	10-14
Estabilizante	No requiere	Asfalto modificado ó fibras	Asfalto modificado
Densidad gr/cm ³	2.38	2.38	2.1

En las mezclas **densamente graduadas** y con curvas continuas la distribución de tamaños de agregados se realiza de manera que los vacíos de las fracciones gruesas sean llenados por las fracciones finas dejando espacio suficiente para el ingreso del ligante y vacíos de aire. De esta manera la estabilidad de la mezcla se logra a través de la sucesión de contactos entre las distintas fracciones con un mínimo de asfalto y de vacíos de aire.

En las mezclas **discontinuas** las partículas minerales mas grandes se soportan entre si formando un esqueleto mineral que será el encargado de transmitir cargas. Los vacios son llenados por un mastic rico en asfalto y filler y eventualmente fibras. No existe la fracción intermedia.

Las mezclas **abiertas** son diseñadas para tener una estructura granular muy abierta con un alto contenido de vacios -15 a 25% - para promover el drenaje del agua a través de la misma. Por tanto tienen baja estabilidad y se aplican en bajos espesores. En el diseño de estas mezclas interviene el uso de fórmulas que tienen en cuenta el área superficial de los agregados y ensayos de drenaje de betún.

Constructivamente las mezclas delgadas son elaboradas con las mismas características que para las mezclas convencionales. En lo referente a su aplicación algunos tipos de mezclas discontinuas requieren de equipos de extensión especiales. La compactación se realiza normalmente con rodillo liso sin vibrar y debe realizarse en forma inmediata para evitar enfriamientos.

En resumen: se denominan sistemas de pavimentación de bajo espesor a aquellas mezclas asfálticas elaboradas y colocadas en caliente ó a temperatura ambiente, cuyo espesor está comprendido entre 10 y 40 mm aproximadamente. El intervalo de espesores generalmente adoptado se ubica en el rango 15-35 mm.

En general estas mezclas están destinadas para el mantenimiento preventivo de los pavimentos, en donde obtienen el máximo costo-efectividad. También pueden ser aplicadas en operaciones de mantenimiento correctivo cuando las fallas presentes no son estructurales y con la debida preparación de la superficie de apoyo.

Entre los principales beneficios que estas mezclas brindan se cuenta con una adecuada textura superficial, una mayor resistencia al deslizamiento, mayor durabilidad, son reciclables, menor sonoridad, superior drenabilidad superficial, entre otras. Estos sistemas son más sensibles tanto a la calidad de los materiales como a los procesos constructivos. No corrigen defectos estructurales.

Fueron desarrollados con dos objetivos fundamentales: proveer de una capa protectora a la estructura existente y restaurar o recrear la funcionalidad de un pavimento flexible. Dicha funcionalidad viene dada por las condiciones de seguridad y confort las que a su vez dependen de adecuadas resistencias al deslizamiento, macro y micro texturas, condiciones de reflectancia, rugosidad, drenaje superficial, nivel de ruido, etc.

Se comenzaron a aplicar en la década del 50, en los años 70 y en los 80 registraron una gran evolución desde mezclas densas finas para bajos volúmenes de tránsito hacia mezclas finas rugosas para autopistas y caminos de alta densidad de tránsito. En los 80 fueron introducidos en los EEUU. En los 90 fueron introducidas en Latinoamérica y actualmente forman parte del menú de mantenimiento en la Ciudad de Buenos Aires.

Algunas de las variedades de mezclas asfálticas que se utilizan en el mundo son las siguientes:

- Splittmastixasphalt (SMA), espesores menores de 40mm, se usa en Alemania desde el año de 1968.
- El cuál se le conoce como Stone Matrix Asphalt (SMA), en los Estados Unidos de Norteamérica desde el año de 1980 se empezó a utilizar en este País.
- UL-M (Francia), se extiende en espesores de 20mm.
- Novachip (Francia), se aplica en espesores de 10 y 20 mm dependiendo del tamaño de los agregados.
- Hot Rolled Asphalt (Inglaterra), se aplica en espesores de hasta 40 mm.
- Safepave (Inglaterra), se aplica entre 10 y 20 mm, y es considerada como mezcla ultra fina.
- Micro aglomerado en caliente (España), aplicado en capas de entre 20 y 30 mm.
- Smoothseal (EEUU), espesores menores de 40mm.

Para nuestro caso nos enfocaremos en la carpeta asfáltica altamente adherida.
(Sistema CASAA).

El sistema fue desarrollado en Francia, País donde se conoce con el nombre comercial de Novachip®, aquí en México se denomina CASAA, (Carpeta ASfáltica Altamente Adherida). Es una mezcla asfáltica en caliente con una granulometría abierta y tamaño máximo de 9.5 mm. Contiene entre 5.1 y 5.5% de asfalto convencional. Se utilizan plantas convencionales para su fabricación. La temperatura de mezclado suele rondar entre 160 y 165° C.

La capa de Novachip se aplica sobre un riego de liga con emulsión modificada de rompimiento rápido en una cantidad de entre 0.7 a 1 l/m². La extensión de Novachip se realiza con equipo especial que tiene una barra regadora para la emulsión a 25 cm de la plancha extendidora. De esta forma no se pisa el riego durante la extensión de la mezcla. La mezcla se compacta inmediatamente detrás de la terminadora con rodillo liso y un total de cuatro pasadas.

Proporciona al usuario una superficie de rodadura, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de 4 centímetros, sobre una carpeta de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa de rodadura, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

El sistema CASAA busca aprovechar la permeabilidad de la mezcla asfáltica para drenar agua a través de su estructura, es decir si permitir el paso de este elemento a las capas inferiores.

Este sistema de acabado de carretas, es el que se está usando actualmente en la mayoría de los caminos de cuota del país. Las ventajas que presenta el sistema CASAA son las siguientes:

Capa drenante que reduce el acuaplaneo.

Capa antiderrapante.

Retarda el agrietamiento.

Reduce el nivel de ruido.

Mejora la visibilidad.

Presenta una apariencia agradable.

Permite la apertura rápida al tráfico.

El sistema CASAA presenta el siguiente desempeño:

Es un tratamiento diseñado para el mantenimiento preventivo.

Resiste la formación de roderas.

No es susceptible a las delaminaciones (membrana asfáltica de alta adherencia).

Aplicable sobre concretos asfálticos e hidráulicos.

Capítulo III. REHABILITACIÓN DEL CAMINO.

III.1) CRITERIOS DE REHABILITACIÓN.

1) ANÁLISIS DEL TRÁNSITO EN EL TRAMO.

Datos históricos de tránsito.

Para el estudio de tránsito, se tomaron en consideración los datos de conteos que se llevan a cabo en la plaza de cobro **53 Compostela**, recopilados de la base de datos de CAPUFE y de la cual se obtuvieron datos de aforo desde el año 1996 al 2001 para ambos sentidos de circulación. Los datos de tránsito diario promedio anual (**TDPA**) analizados indican que la tendencia del flujo vehicular en el tramo es a incrementarse, con una tasa de crecimiento calculada con estos datos de **10.17%**, la información de aforos se menciona a continuación:

Tabla 19. Resumen del Tránsito Diario Promedio Anual.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Año	1996	1998	1999	2000	2001
TDPA	2,022	1,908	2,679	2,990	3,282

Conteos vehiculares actuales.

También se llevaron a cabo conteos vehiculares colocando mangueras neumáticas que contaron y clasificaron los vehículos que pasaron las 24 horas del día, durante siete días consecutivos en dos puntos de control ubicados en los km. 0+860 y 32+200, durante la última semana de Agosto. Se obtuvieron un total de 3,672 y 3,476 veh/día, respectivamente para cada punto, valores que son afectados por el factor de distribución direccional el cual es del, (para carreteras de dos carriles y zona turística), 75% del tránsito total de los dos sentidos, por lo tanto los valores del TDPA para 2003 es de 2,754 vehículos en el km. 0+860 y de **2,607** vehículos para el punto 32+200; éste último valor es el que será tomado en consideración para el análisis de ejes equivalentes, por la razón de encontrarse muy cerca de la plaza de cobro Compostela ubicada en el km 31+500 y de la cual se tienen datos históricos.

La composición vehicular actual del tramo es la siguiente: A= 76.1%, B= 8.9% y C= 15.0%, composición que es muy similar a la registrada años anteriores para la plaza de cobro Compostela.

Así también se llevaron a cabo estudios de movimientos direccionales de 16 horas de duración con clasificación vehicular en los km. 0+000 (Entronque con la carretera Guadalajara – Tepic), km. 17+000 (Entronque con el camino a San Pedro Lagunillas) y en el km. 33+000 (Entronque con el camino Compostela – Mazatán).

Velocidades de punto.

Se realizó un estudio de velocidades de punto en tres puntos del camino: en los km. 8+000, 22+800 y 27+400 y para ambos sentidos de circulación; la medición de la velocidad de punto tiene por objetivo determinar la velocidad máxima y tenerse en cuenta en el proyecto del señalamiento vertical referente a las señales restrictivas y también para los casos de modificaciones a la geometría del alineamiento horizontal de la carretera. Antes de llevar a cabo el estudio de velocidades de punto en la carretera, se determinó el tamaño mínimo de la muestra estadística de los vehículos que habría de investigar en cada punto, para lo cual se tomaron 50 vehículos como mínimo; el resumen de velocidades se presenta en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Resumen de velocidades de punto en cada sitio estudiado.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol. S.A. de C. V.

Punto	Kilómetro	Dirección	Velocidad, km./h
1	8+000	Chapalilla-Compostela	100
2	8+000	Compostela-Chapalilla	80
3	22+800	Chapalilla-Compostela	110
4	22+800	Compostela-Chapalilla	90
5	27+400	Chapalilla-Compostela	100
6	27+400	Compostela-Chapalilla	110

Análisis de capacidad.

Una vez determinados los valores de TDPA, la composición vehicular y la tasa de crecimiento del tramo, se procedió al análisis de capacidad del camino con el objeto de determinar los niveles de servicio a los que opera actualmente (de acuerdo a la metodología desarrollada por el Transportation Research Board TRB.1994) y para lo cual se llegó a la siguiente conclusión: Actualmente opera a niveles “B” (velocidad de operación igual o mayor que 80 km/h pero menores que 96 km/h), y “C” (velocidad de operación igual o mayor que 64 km/h pero menor que 80 km/h), considerado como bueno, para el año 2008 el nivel pasa a “C” y para el año 2013 el nivel disminuye a “D” (regular, velocidad de operación 56km/h), recalándose que en particular en los km. 0+860 y 32+200 decrece el nivel de servicio a “F” (deficiente), situación que debe tomarse en cuenta para una ampliación a cuatro carriles a partir del año 2008 a fin de operar en niveles óptimos de servicio.

Número de ejes equivalentes a 18,000 lb (ESAL).

Partiendo del TDPA para el año 2003 y la composición vehicular se calculó el número de ejes equivalentes a 18,000 libras (ESAL) del tramo, tomando en consideración una tasa de crecimiento de diez punto diecisiete por ciento (10.17%) y un periodo de diseño de 15 años, da como resultado del análisis un total de 14,241,066 (ESAL) en el periodo para los dos sentidos de circulación; además se calculó el ESAL para el carril de diseño considerando un porcentaje de ocupación del 50% del total del TDPA.

2) RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO SEGÚN DIVERSOS METODOS.

Antes de decidir la necesidad de reforzar un pavimento en operación se requiere la evaluación estructural del mismo, así es que cada procedimiento de cálculo de refuerzo conlleva un procedimiento de evaluación.

Entre los sistemas de evaluación, la guía considera la medición de deflexiones superficiales como la vía principal para evaluar estructuralmente un pavimento existente.

2.1) EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.

Para esta actividad se realizó la medición de deflexiones en el pavimento utilizando el deflectómetro de impactos Dynatest HWD, el cual simula el efecto repentino del paso de vehículos sobre el pavimento; con este dispositivo es posible determinar las dimensiones y forma de la cuenca de deflexiones producida por una carga equivalente a un eje sencillo que en este caso resultó ser de 5 ton. Adicionalmente con el programa de computo ELMOD (Evaluation of layer Moduli and Overlay Design), Evaluación de Módulos de Capas y Diseño de Capas Superpuestas y con los datos de la medición de deflexiones, los datos de tránsito y la estructura del pavimento es posible determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas del pavimento incluyendo la subrasante, también es posible identificar la capa débil, efectuar el pronóstico de vida remanente y finalmente, en caso necesario, definir el espesor en términos de una sobrecarpeta de concreto asfáltico como refuerzo del pavimento para el horizonte analizado.

La medición de las deflexiones se realizó en ambos carriles, con separación de 100 m. en el **anexo 3** se muestran los resultados de las deflexiones medidas en los siete sensores de deflexiones con que cuenta el equipo (SD1, SD2... SD7), indicándose además el cadenamiento y magnitud de la carga impuesta en cada estación; en el **Plano 1** se presentan los perfiles de deflexiones para ambos carriles y en las cuales se presenta gráficamente su variación.

La magnitud de las deflexiones medidas extremas fueron de 4.18 y 98.74×10^{-3} pulg. La mínima y máxima respectivamente, con valores promedio que en general no rebasan las 40×10^{-3} como se puede observar en la **tabla 21**, donde se presenta la deflexión máxima promedio medida en el sensor no. 1 en el carril derecho; zonificado en el tramo por subtramos homogéneos para un análisis más simplificado.

Tabla 21. Resumen de deflexiones medidas en el tramo ($\times 10^{-3}$ pulg.).

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

CUERPO	Km a km	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR
único	0+000 a 4+400	26.44	7.40
	4+400 a 9+000	24.73	13.29
	9+000 a 12+400	30.65	6.26
	12+400 a 18+000	36.97	10.98
	18+000 a 26+800	18.52	5.32
	26+800 a 32+000	31.75	5.29
	32+000 a 35+500	43.60	21.68

2.2) RETROCÁLCULO CON EL SOFTWARE ELMOD.

Para análisis rutinarios, Dynatest ha desarrollado un programa para computadoras llamado ELMOD, para ser usado tanto en pavimentos flexibles como en pavimentos rígidos. ELMOD es un acrónimo para “Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design”, Evaluación de Módulos de Capas y Diseño de Capas Superpuestas.

A partir de los resultados de la exploración geotécnica, el análisis de tránsito traducido a número de ejes equivalentes ESAL para el carril de diseño y las deflexiones medidas en el tramo, se aplicó el programa de cómputo ELMOD, para determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que forman el pavimento y la capa sub-rasante, para diferentes subtramos homogéneos en que se dividió; este análisis permitió determinar además de los módulos de elasticidad en cada estación de prueba, la vida remanente que se estima acusa el pavimento y el refuerzo que en términos de una sobrecarpeta asfáltica, pudiera requerirse, para las solicitaciones de carga en el periodo de diseño.

Del análisis de capacidad estructural realizado, se tiene que el promedio general de los módulos de elasticidad en la carpeta asfáltica es de $E_1 = 2,512$ MPa; en la base hidráulica de $E_2 = 287$ MPa; en la subbase hidráulica de $E_3 = 137$ MPa y en la subrasante de $E_4 = 101$ MPa, valores que están dentro de los rangos típicos medidos en el laboratorio, los cuales son: de 3,500 MPa para el concreto asfáltico a 21°C y de 35 a 750 MPa para materiales granulares.

Con las premisas del tránsito establecidas en el periodo de análisis, en general se estima que la vida remanente para el pavimento en el periodo de diseño establecido es corta, detectándose una falla de tipo funcional en la capa de base hidráulica y subrasante, que es necesario un refuerzo adicional para el pavimento. Si se analizan los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio para la capa de base, se observa que éstos son de baja calidad, situación que corrobora la falla funcional en la capa de base. En la **tabla 22** se presentan los valores promedio del análisis realizado, de las deflexiones, igualmente segmentado por subtramos y en el **anexo 3** se presenta el análisis a detalle para cada estación la medición de las deflexiones.

En la citada **tabla 22** se observa que con excepción de los subtramos del km. 4+400 al 9+000 y 18+000 a 26+800, (13.4 km. de longitud), que tienen una vida útil remanente probable de 4 y 6 años, respectivamente, en el resto del tramo dicho lapso es menor, augurándose la formación de roderas en forma intensa. Por otro lado, en la misma **tabla 22**, se observa que para adecuar el pavimento estructuralmente para un lapso de 15 años, sería necesario construir una sobrecarpeta de concreto asfáltico, con espesores desde 7 hasta 20 cm.

Tabla 22. Resumen del análisis Estructural.

Fuente: Geosol S. A. de C. V.

TRAMO HOMOGENEO	MODULOS DE ELASTICIDAD, MPa								VIDA REMANENTE,		TIPO DE FALLA ESPERADA	SOBRECARPETA, mm	
	E1		E2		E3		E4		\bar{X}	σ		\bar{X}	σ
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	
0+000	3,405	1,651	227	116	137	63	140	75	0.9	2.3	FUNCIONAL	140	67
4+400	2,599	1,263	323	232	-	-	114	87	4.2	6.9	FUNCIONAL	135	91
9+000	2,138	776	439	244	-	-	69	20	0.3	0.6	FUNCIONAL	179	39
12+400	2,158	1,083	387	273	-	-	72	30	0.5	1.1	FUNCIONAL	196	60
18+000	3,212	1,225	326	225	-	-	147	60	6.3	6.7	FUNCIONAL	66	62
26+800	2,212	926	159	110	-	-	84	26	0.9	2.8	FUNCIONAL	150	64
32+000	1,863	769	150	122	-	-	80	50	1.1	3.5	FUNCIONAL	175	82

E1: Modulo de elasticidad en la carpeta

E2: Modulo de elasticidad en la base hidráulica

E3: Modulo de elasticidad en la subbase

E4: Modulo de elasticidad en la capa subrasante

CAPA DEBIL:

La capa 1 se refiere a la carpeta.

La capa 2 se refiere a la base hidráulica.

La capa 3 se refiere a la subbase.

\bar{X} : Promedio

σ : Desviación estándar

2.3) REVISIÓN POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.

Esta revisión se realizó de acuerdo con la metodología desarrollada en el Manual MS-17, "Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation", partiendo del conocimiento de la deflexión crítica, obtenida con el HWD Dynatest.

A continuación se hace una breve descripción del método, para el caso particular del método del Instituto del Asfalto, desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica y publicado en la serie de manuales No. 17 (MS-17), en la edición de junio de 1983, el mismo destaca un procedimiento para determinar la deflexión de diseño, la cual parte de los valores de las deflexiones medidos con equipo HWD (Heavy Weight Deflectometer) Deflectómetro de impacto.

La deflexión de diseño, según el Instituto del Asfalto debe ser determinada empleando el promedio de deflexiones medidas en una sección de vía, a la cual se le debe sumar 2 veces la desviación estándar, el valor obtenido se multiplica por un factor de ajuste por temperatura (f) que referencia las mediciones a 21°C (270°F) y por un factor de ajuste por periodo crítico (c) correspondiente al intervalo de tiempo durante el cual la estructura de pavimento se estima será más afectada por las sollicitaciones de carga.

Dichos ajustes se hacen a través de tablas, gráficas, datos de temperatura entre otras. Una vez obtenidos los valores de ajuste, se emplea una ecuación para determinar la deflexión de diseño, dicha ecuación es la siguiente:

$$\delta_{\text{diseño}} = (\delta + 2s) * f * c$$

Donde:

- $\delta_{\text{diseño}}$: Deflexión de diseño.
- δ : Media aritmética de los valores de deflexiones.
- s: Desviación estándar del valor promedio.
- f: Factor de ajuste por temperatura.
- c: factor de ajuste por período crítico.

Por lo tanto el espesor de refuerzo de concreto asfáltico se determina a través de una gráfica, haciendo uso de la deflexión de diseño y las repeticiones de ejes equivalentes totales acumulados en el periodo de diseño.

Ya que este análisis de revisión es amplio, en este trabajo se cuenta solamente con los resultados de la revisión por este método, los cuales se muestran a continuación. En la **Tabla 23** se presentan los resultados de este análisis para un lapso de 15 años

Tabla 23. Análisis del pavimento existente según el método del Instituto del Asfalto.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Tramo, km. a km.	Deflexión crítica, $\times 10^{-3}$ pulg. ($x + 2 \sigma$)	Núm. de ejes acumulados admisibles	Vida útil esperada, años	Espesor requerido de sobrecarpeta
0+000-4+400	41.24	600.00	1.5	10.0
4+400-9+000	51.31	200.00	0.5	12.5
9+000-12+400	43.17	500.00	1.5	11.5
12+400-18+000	58.93	150.00	0.5	14.0
18+000-26+800	29.16	2.500.00	7.0	6.5
26+800-32+000	42.33	600.00	1.0	10.0
32+000-35+500	86.96	25.00	0.5	19.0

El Instituto del Asfalto considera en su metodología aspectos estructurales, como falla por fatiga y deformaciones permanentes en la subrasante. Como se observa en la **Tabla 23**, el análisis efectuado demuestra igualmente, que la vida útil esperada es corta, en la mayoría de los tramos del orden de poco más de un año o menor y que se requiere la construcción de una sobre carpeta, de 7 a 19 cm. de espesor, para resistir el tránsito esperado en el lapso de 15 años, lo cual concuerda con los resultados del análisis efectuado con el método ELMOD. Se observa que el tramo entre km. 18+000 a 26+800 también se reconoce como el mejor de todo el tramo en estudio.

2.4) REVISIÓN POR EL MÉTODO AASHTO (93).

El análisis se efectuó de acuerdo con la metodología propuesta en la publicación “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”, partiendo de los módulos de elasticidad determinados con el HWD Dynatest gracias a lo cual es posible conocer los coeficientes de equivalencia de capa y así poder determinar el número estructural del pavimento existente (SN), y con ello poder determinar la vida útil esperada y el espesor de refuerzo requerido. En la **Tabla 24** se presenta el resultado del análisis realizado.

Descripción del método, el Método AASHTO-93 para el Diseño de Refuerzos de pavimentos Flexibles, está contenido en la guía titulada AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (1993), desarrollada en los Estados Unidos de Norteamérica y el mismo toma en cuenta los espesores de las capas existentes, con la finalidad de considerar el aporte estructural de las mismas, así como las condiciones de carga (tránsito). Serviciabilidad de la vía etc.

El procedimiento de diseño de espesores de refuerzo presentado en la guía está basado en el concepto que el tiempo y las repeticiones de ejes equivalentes reduce la habilidad del pavimento para soportar las cargas impuestas por el tráfico y el refuerzo estructural debe ser diseñado de tal manera que permita recuperar la estructura del pavimento para soportar un nuevo periodo de diseño.

De acuerdo con el procedimiento de diseño AASHTO-93, se debe determinar el refuerzo estructural que el pavimento requiere mediante la solución de la siguiente expresión:

$$SN(R)=SN(T)-SN_{eff}$$

Donde:

SN(R): Número estructural de rehabilitación.

SN(T): Número estructural total requerido para la vida esperada del pavimento.

SN_{eff}: Número estructural efectivo del pavimento al momento de ser rehabilitado.

Haciendo uso del nomograma de diseño del método AASHTO-93 se determina el valor de de SN(T), por su parte el SN, esta relacionado con cada uno de los materiales y sus espesores en la estructura de pavimento a través de la siguiente expresión:

$$SN = \sum a_i * e_i * m_i$$

Donde:

SN: Número estructural.

a_i: Coeficiente estructural de cada material.

e_i: Espesor de la capa i.

m_i: Coeficiente de drenaje de las capas granulares sueltas.

Los valores de los coeficientes estructurales de los distintos materiales (capas asfálticas, bases y sub-bases) los mismos son función de su calidad. Haciendo uso de los ábacos del método se determinan los coeficientes estructurales, cabe mencionar que para el caso de mezclas de concreto asfáltico, el coeficiente estructural está definido en el método AASHTO-93 en función del Módulo Resiliente o Dinámico, si no te cuenta con el equipo requerido para su determinación, se utiliza el ábaco ofrecido por la AASHTO, en el cual es posible estimar el coeficiente estructural en base a la Estabilidad Marshall.

Para estimar la capacidad estructural o efectiva (SN_{eff}), se debe considerar la condición de los diferentes materiales que constituyen la estructura de pavimento, así como su futuro comportamiento ante las sollicitaciones de carga. El método presenta tres procedimientos para su determinación los cuales son:

1. Capacidad Estructural basada en la medición de deflexiones superficiales del pavimento con equipo HWD.
2. Capacidad Estructural basada en la fatiga debido a las sollicitaciones de carga a través de la determinación del "Condición Factor (CF) o Factor de Condición.

3. Capacidad Estructural basada en la evaluación visual de fallas Valoradas a través de coeficientes estructurales efectivos $s (a_{eff})$.

Para nuestro caso se utilizo el procedimiento 1 y haciendo uso de graficas se determina el S_{Neff} . (En este trabajo de tesis se presentan únicamente el resumen de los resultados del análisis.)

El resumen de este análisis se presenta en la siguiente **Tabla 24**:

Tabla 24. Análisis del pavimento existente, según el método AASHTO.

Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Tramo, km. a km.	Módulo de elasticidad de la subrasante, MPa	Número estructural		Número de ejes acumulados admisibles	Vida útil esperada, en años	Espesor requerido de sobrecarpeta, cm.
		Actual	Requerido			
0+000- 4+400	65	1.76	4.5	50.00	<1	15.7
4+400- 9+000	27	2.36	6.0	50.00	<1	21.0
9+000- 12+400	49	2.07	5.0	100.00	<1	16.5
12+400- 18+000	42	1.52	5.2	50.00	<1	21.3
18+000- 26+800	87	3.03	4.1	1.000.00	3	6.0
26+800- 32+000	58	2.00	4.7	50.00	<1	15.5
32+000- 35+500	30	1.92	6.0	50.00	<1	23.6

Al igual que en las **Tablas 22 y 23**, en la **Tabla 24** se observa que la vida estimada para el pavimento es corta, juzgada en este caso por su serviciabilidad, y que además se requiere una sobre carpeta de refuerzo para cubrir satisfactoriamente el lapso de análisis de 15 años. Se observa asimismo que el subtramo del km. 18+000 a 26+800 se manifiesta como el mejor de todo el tramo.

2.5) REQUERIMIENTOS DE REFUERZO DEL PAVIMENTO.

Efectuado el análisis de los requerimientos de refuerzo del pavimento existente, y en base a los resultados de los análisis anteriores, se proponen los siguientes espesores de refuerzo, indicados en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Espesores de sobrecarpeta de refuerzo propuestos, cm.
Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Tramo, km. a km.	Espesores de sobrecarpeta de refuerzo, cm.	Longitud de tramo, km.
0+000-4+400	15	4.4
4+400-9+000	20	4.6
9+000-12+400	15	3.4
12+400-18+000	20	5.6
18+000-26+800	7	8.8
26+800-32+000	15	5.2
32+000-35+500	20	3.5
	Total	35.5

3) PROYECTO DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO.

Como se aprecia en la **Tabla 25**, todo el tramo requiere ser reforzado con una sobrecarpeta con espesores de 7 cm. (8.8 km.) 15 cm. (13 km.) y 20 cm. (13.7 km.), los cuales se consideran in aceptables desde el punto de vista práctico, por la gran cantidad de problemas que surgirían de adoptar esta decisión.

En tal virtud, se propone adoptar el criterio de ceñirse la rasante actual y rehabilitar el pavimento mediante técnicas de reciclado de los materiales existentes, estabilizándolos con cemento Portland para lograr una base de mayor resistencia y colocar una carpeta asfáltica como complemento de la nueva estructura y superficie de rodamiento. Otra opción factible será la de construir un pavimento tipo Full-depth, consistente en una sola capa de concreto asfáltico, respetando igualmente la rasante actual.

En la **tabla 26**, se presentan los resultados de ambos análisis observándose que para la rehabilitación del pavimento en el tramo estudiado, se requiere la construcción de estructuras que requieren la presencia de capas con materiales cuya resistencia se obtenga mediante la incorporación de cemento Pórtland o asfáltico, en espesores importantes para poder resistir el efecto del tránsito en los próximos 15 años.

Tabla 26. Espesores de las capas de las estructuras para rehabilitación del pavimento.
Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Tramo, km. a km.	Método Instituto del Asfalto		Método AASHTO		
	Módulo de elasticidad de la subrasante, MPa	Espesor de carpeta asfáltica, cm.	Espesor de base reciclada con cemento Pórtland, cm.	Espesor de carpeta asfáltica	Espesor total
0+000-4+400	65	36	25	12	37
4+400-9+000	27	42	30	12	42
9+000-12+400	49	38	25	12	37
12+400-18+000	42	39	25	12	37
18+000-26+800	87	34	25	12	37
26+800-32+000	58	37	25	12	37
32+000-35+500	30	40	30	12	42

En la **tabla 27**, se presentan los espesores prácticos propuestos para cada alternativa, proponiéndose para el caso del pavimento tipo Full-depth la construcción de una carpeta de concreto asfáltico de 10 cm, construida sobre una base asfáltica con el espesor necesario para cumplir con el de proyecto; la mezcla asfáltica será elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20. Los agregados pétreos serán procedentes de bancos con materiales que satisfagan los requerimientos de la nueva Normativa de la SCT.

Por lo que se refiere a la segunda opción, se propone la construcción de una carpeta de concreto asfáltico, de 12 cm. de espesor, con mezcla asfáltica elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20 y agregados pétreos procedente de banco. La base reciclada con cemento Pórtland se elaborará con agregados de la base hidráulica existente, desperdiciando los materiales de la carpeta asfáltica y considerando la incorporación de agregados de banco, de 25 a 50%. Los espesores mínimos considerados para esta capa son los recomendados por la experiencia para este tipo de bases. La dosificación de cemento Pórtland puede estimarse en un 7%.

Tabla 27. Espesores recomendados para cada alternativa, cm.
Fuente: Inf. 102-10-03. Geosol S. A. de C. V.

Tramo, km. a km.	Estructura tipo Full-Depth		Estructura con base reciclada con cemento Pórtland	
	Carpeta asfáltica	Base asfáltica	Carpeta asfáltica	Base reciclada
0+000-4+400	10	25	12	25
4+400-9+000	10	30	12	30
9+000-12+400	10	30	12	25
12+400-18+000	10	30	12	25
18+000-26+800	10	25	12	25
26+800-32+000	10	30	12	25
32+000-35+500	10	30	12	30

4) PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN RECOMENDADO:

Rehabilitación de la estructura del pavimento actual.

Los trabajos a ejecutar se definen en los siguientes conceptos principales.

Recuperación de la base existente para formación de base estabilizada con cemento portland, construcción de la carpeta asfáltica, (conforme al método Marshall); en dos capas compactas de 5cm. al 95%, de su peso volumétrico Marshall y construcción de microcarpeta asfáltica del tipo carpeta asfáltica superficial altamente adherida, espesor de 2cm. compactos. (Sistema CASAA).

III.2) PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACIÓN.

1. FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE EN EL CAMINO.

DEFINICIÓN SCT. (N.CSV.CAR.3.02.006/10).

Es el conjunto de actividades que se realizan con una fresadora para eliminar las deformaciones superficiales en carpetas asfálticas o para retirar capaz de rodadura deteriorada, a fin de mejorar las características de comodidad y fricción de la superficie de rodadura o para desplantar la nueva capa de rodadura.

Recorte de carpetas asfálticas. (N.CSV.CAR.3.02.007/03).

Es el conjunto de actividades que se requieren para remover la carpeta asfáltica por medios mecánicos, a la profundidad, ancho y sección requeridos para el proyecto a fin de reponer la carpeta y la capa de rodadura.

EJECUCIÓN.

Se realizará el corte del pavimento con una máquina perfiladora de pavimentos que permita fresar en una sola pasada un espesor que indique el proyecto, siendo este un promedio de doce centímetros (12 cm.), el fresado de la carpeta se realizará en todo el ancho de corona del camino.

El material producto del fresado, será retirado y podrá ser utilizado para el arroje de taludes en el derecho de vía, donde sea necesario o requerido a una distancia no mayor de 2 km, sin obstruir obras de drenaje, obras complementarias y todo lo relacionado con esta vía de comunicación.

El acomodo del material producto del fresado, se colocará en los bancos de almacenamiento y/o desperdicio que se indique y será por cuenta del contratista.

Por ningún motivo se fresara una longitud mayor a la que se pueda cubrir con carpeta asfáltica en la misma jornada de trabajo semanal.

Para dar por terminado el corte en frío del pavimento existente, se deberá cumplir con una tolerancia de ± 0.50 cm. en los niveles de la superficie fresada.

MEDICIÓN.

La unidad de medición del corte se hará tomando como unidad el metro cúbico (m³) de material fresado, para efecto de pago se considerará el volumen resultante de las secciones transversales obtenidas antes y después de realizar el trabajo, calculado mediante el método de promedio de áreas extremas, la unidad de medición se aproximará con un decimal.

BASE DE PAGO.

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico (m³) de material fresado, este precio unitario incluye: El fresado del pavimento, carga, descarga y acarreo del material fresado al banco de almacenamiento y/o desperdicio aprobado por el Organismo, tendido y perfilado del material desperdiciado en el derecho vía, el equipo y herramienta menor que fuera necesario, peaje de casetas y los tiempos de los vehículos de transporte durante las cargas y descargas y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

2. FORMACIÓN DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PÓRTLAND, COMPACTADA AL CIEN POR CIENTO (100%).**DEFINICIÓN (SCT).**

Es el conjunto de actividades que se realiza para desintegrar la carpeta asfáltica y parte o la totalidad del material de base o subbase, por medios mecánicos en frío; remezclar en el lugar el material recuperado con materiales pétreos nuevos modificados o estabilizados con materiales asfálticos, cemento pórtland, cal u otros o transformarlo en concreto hidráulico de baja resistencia; tender y compactar el material recuperado para formar una base o subbase sobre la que, posteriormente, se construirá una nueva carpeta.

(CAPUFE).

La construcción de capas estabilizadas para bases, es la estabilización mediante un tratamiento químico o mecánico de los materiales, el tendido de los mismos y su compactación. Para la estabilización química se incorpora un producto estabilizador que modifica alguna de las características físicas del material, mejorando su comportamiento mecánico o hidráulico. Los productos para estabilización más comúnmente utilizados son materiales asfálticos, cemento Portland, cal hidratada y materiales puzolánicos.

MATERIALES.

El material pétreo que se emplee para la estabilización de la base, será el recuperado de la base hidráulica existente, incorporando cemento portland ordinario homogenizado para alcanzar la resistencia de 30 kg/cm² a la compresión a los siete días.

Se empleará cemento Pórtland ordinario CPO-40R que cumpla respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en la norma N-CMT-2.02.001/02.

Cuando se utilice cemento envasado, deberá de llegar a la obra en envases originales cerrados en la fábrica y permanecer así hasta su utilización.

El local del almacenamiento deberá ser autorizado por el organismo y reunir las condiciones necesarias para evitar que se altere el cemento. Cuando se emplee cemento a granel, las características de los silos de almacenamiento y el equipo de transporte será autorizado previamente por CAPUFE.

Cuando el cemento permanezca almacenado en condiciones normales más de un mes o por un lapso menor, en el que existan circunstancias que puedan modificar las características deberá de comprobarse su calidad mediante nuevo muestreo, con cargo a la empresa.

EJECUCIÓN.

Se conformará una base estabilizada con cemento portland en el espesor que indique el proyecto, promedio de 25 cm, para esta actividad se empleará material producto de la recuperación de la base existente, incorporándole cemento Portland tipo CPO en proporción de 6% en peso volumétrico seco suelto del material recuperado.

El proceso de Formación de la Base H. Estabilizada, se llevará a acabo con el Tren de Reciclado; el cuál consiste en recuperar la base existente con el espesor de proyecto, y en el mismo proceso de recuperación se va inyectando la lechada del cemento Portland con la proporción antes mencionada de acuerdo a la velocidad de operación del Tren de Reciclado. Inmediatamente después se realizará la homogeneización del material con motoconformadora, mezclando el material producto del proceso del reciclado (base recuperada con lechada de cemento portland), durante el proceso de la homogeneización de la base se deberá de eliminar las partículas mayores a 2" (5.08 cm).

El proceso de recuperación deberá ser eficiente de tal manera que se obtenga una base homogénea, un espesor constante y se conserve el bombeo mínimo del 2.0% en tangente.

La compactación de la capa mejorada deberá realizarse con un rodillo vibratorio tipo Pata de Cabra, después de esta compactación inicial, se conformará, afinará y se compactará en su capa superior con un rodillo liso vibratorio con un peso de 15 ton., hasta alcanzar el 100% del peso volumétrico seco máximo del material obtenido mediante la prueba de compactación AASHTO modificada (5 capas), y en apego a la norma N-CTR-CAR-1-04-003-00 inherente a capas estabilizadas de la SCT vigentes. Una vez terminada la jornada de trabajo, se aplicarán dos riegos superficiales con agua limpia, a razón de uno punto cinco litros por metro cuadrado (1.50 l / m²) con un intervalo de ocho horas entre los mismos. No debe permitirse que la superficie de la capa se muestre seca. La carpeta será construida en un lapso no menor de 12 horas ni mayor de 24 horas.

Deberá efectuarse un tramo de prueba en donde lo ordene el Organismo antes de efectuar la recuperación para ajustar la cantidad del cemento Portland, así como el número de pasadas de los equipos compactadores; además, se definirá la velocidad de recorrido, la amplitud y la frecuencia de oscilación de dichos equipos. Una vez que el tramo de prueba cumpla con las especificaciones técnicas podrá ser considerado como obra terminada, en caso contrario será necesario por cuenta del contratista ser tratado nuevamente hasta alcanzar la resistencia a la compresión simple a los siete días de 30 kg/cm². Es conveniente que en la ejecución de este tramo de prueba participen, además de la constructora, la supervisión y CAPUFE.

Durante la recuperación del pavimento se requiere un control riguroso y frecuente de los pesos volumétricos de los materiales extraídos para ir ajustando la dosificación correcta del cemento Portland.

Terminada la construcción de la base se verificará el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado, de acuerdo con lo indicado en las especificaciones de este proyecto y según las siguientes tolerancias:

Nivel de la superficie..... \pm 0.5 cm

Espesores de la capa tratada..... \pm 0.5 cm

Profundidad de las depresiones observadas

colocando una regla de 3 (tres) m de longitud..... \pm 0.5 cm máximo
paralela y transversal al eje.

MEDICIÓN.

La base mejorada se medirá tomando como unidad el metro cúbico compacto, según secciones de proyecto, y determinado con el procedimiento de áreas extremas con aproximación a un decimal.

BASE DE PAGO.

El pago por unidad de obra terminada de recuperación del pavimento para formar base estabilizada se hará al precio unitario fijado para el metro cúbico compacto; este precio incluye lo que corresponda por: corte, disgregado y homogeneización y compactación del material recuperado al grado especificado, agua para homogeneización y compactación, los cargos por utilización del equipo adicional necesario, herramientas, mano de obra, desperdicios, acarreo, sobrecarreo y los tiempos de los vehículos empleados durante la carga y descargas, así como todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto a satisfacción del Organismo.

2.1. CEMENTO PÓRTLAND ORDINARIO PARA LA ESTABILIZACION DE BASE.**DEFINICIÓN (SCT).**

El cemento Pórtland es un conglomerante hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece. Se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizando a un grado de finura determinado una vez fría la arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, que se denomina clinker Pórtland, al cuál se le adiciona sulfato de calcio como anhídrita (CaSO_4), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), para regular el tiempo de fraguado, según las propiedades que se requieran o para auxiliar la molienda.

EJECUCIÓN.

La distribución del cemento Pórtland Compuesto se hará por medios mecánicos, mediante los cuales vaciarán el cemento a la tolva dosificadora que formara el tren de avance junto con la recuperadora, con el objeto de agregar el cemento y agua en la caja de recuperación y tender la base estabilizada.

MEDICIÓN.

La unidad de medición de obra terminada, será el kilogramo (kg.), para efectos de pago se cuantificarán las cantidades realmente ejecutadas en la obra, de acuerdo al proyecto

BASE DE PAGO.

Se pagará al precio unitario fijado para el kilogramo (kg). Este precio unitario incluye: suministro, mano de obra y equipo necesario para la incorporación a la base hidráulica por estabilizar, almacenamiento, cargas y descargas necesarias, acarreo de material a la obra.

3. SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE RIEGO DE IMPREGNACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.**DEFINICIÓN (SCT).**

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base hidráulica del pavimento, con objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica. El material asfáltico que se utiliza normalmente es una emulsión, ya sea de rompimiento lento o especial para impregnación o bien un asfalto rebajado. La aplicación del riego de impregnación puede omitirse si la capa por construir encima es una carpeta asfáltica con espesor mayor o igual que 10 centímetros.

EJECUCIÓN.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de impregnación, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por el Organismo.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

El riego de impregnación se aplicará con emulsión asfáltica de rompimiento superestable ECS 60-90 a razón de uno punto cinco litros por metro cuadrado (1.50 lts/m²) para riego de impregnación de la base hidráulica.

El riego se hará con petrolizadoras y serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones controladas; estar equipadas con odómetro, medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contar con una bomba y barras de circulación completas, que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

MEDICIÓN.

La unidad de medición para el riego de impregnación será el litro (lts); Para efectos de pago se cuantificarán las unidades realmente ejecutadas.

BASE DE PAGO.

El riego de impregnación liga por unidad de obra terminada se pagará al precio fijado en el contrato para el litro, este precio unitario incluye lo que corresponda por: suministro, operación de calentamiento o recalentamiento dentro de la petrolizadora; precauciones o protección a las estructuras o partes de ella para no mancharlas, aplicación o riego del material asfáltico en la forma que se fije, mermas, desperdicios y los tiempos de la nodriza y de la petrolizadora durante las cargas y las descargas, incluye el barrido de la superficie, el retiro del producto del barrido y los fletes por acarreo al lugar de almacenamiento, a la planta y al lugar de utilización y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

4. SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

DEFINICIÓN (SCT).

Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima. Normalmente se utiliza una emulsión asfáltica de rompimiento rápido. La aplicación del riego de liga puede omitirse si la carpeta asfáltica que se construirá encima tiene un espesor mayor o igual que 10 centímetros.

EJECUCIÓN.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de liga, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por CAPUFE.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

El riego de liga para carpeta asfáltica se aplicará con emulsión asfáltica de rompimiento rápido RR-2K, a razón de cero punto cinco litros por metro cuadrado (0.50 lts/m²) con las variaciones que indique y autorice CAPUFE.

No se dará tránsito por ningún motivo sobre la superficie ligada.

Cuando por atraso de los trabajos se deteriore la superficie ligada, el contratista reparará por su cuenta el área ligada.

El riego se hará con petrolizadoras y serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones controladas; estar equipadas con odómetro, medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contar con una bomba y barras de circulación completas, que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

MEDICIÓN.

La unidad de medición para el riego de liga será el litro; para efectos de pago se cuantificarán las unidades realmente ejecutadas.

BASE DE PAGO.

El riego de liga por unidad de obra terminada se pagará para el litro. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: Suministro, operación de calentamiento o recalentamiento dentro de la petrolizadora; precauciones o protección a las estructuras o partes de ella para no mancharlas, aplicación o riego del material asfáltico en la forma que se fije, mermas, desperdicios y los tiempos de la nodriza y de la petrolizadora durante las cargas y las descargas, incluye el barrido de la superficie, el retiro del producto del barrido y los fletes por acarreo al lugar de almacenamiento, a la planta y al lugar de utilización y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

5. CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO I EN CALIENTE, COMPACTADA AL NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%) DE SU PESO VOLUMÉTRICO MARSHALL.

DEFINICIÓN (SCT).

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor mayor o igual que 4 centímetros, las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Las carpetas de granulometría semiabierta o abierta, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodamiento, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

MATERIAL ASFÁLTICO MODIFICADO.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia de agua. También aumenta la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son: polímero tipo I, Polímero tipo II, Polímero tipo III y Hule molido de neumáticos. Para nuestro caso hablaremos del Polímero tipo I solamente.

Polímero Tipo I.

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a bajas como a altas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

ELAVORACIÓN. Antes de iniciar la producción del concreto se calibrará la planta en seco entregando al organismo los resultados procedentes de banco con tratamiento de trituración y la dosificación aproximada del cemento asfáltico AC-20 modificado con Polímero Tipo I.

La carpeta que se recomienda colocar es de concreto asfáltico modificado con polímeros del tipo I y de un espesor de 10 cm. Se construirá con mezcla asfáltica elaborada en caliente con planta estacionaria. Se utilizará material pétreo triturado a un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " (19 mm.); estos materiales deben tener, un noventa por ciento (90 %), de material producto de trituración, y solo se autorizará hasta un máximo del diez por ciento (10 %) de arena procedente de banco. Además el material triturado debe de cumplir con la granulometría que se define en la Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa S.C.T.) N-CMT-4-04/03 (para nuestro caso se trata de una mezcla de granulometría densa).

TENDIDO DE LA MEZCLA. La carpeta asfáltica se colocará en dos capas de 5.0 cm compactos c/u, para un espesor total de 10 cm, una vez aplicado el riego de liga, para cada una de las capas, se utilizará para su tendido una extendedora de asfalto prevista con equipo de sistema electrónico (sensores), para el control de espesores que garantice una buena distribución y acomodo durante el tendido de la mezcla asfáltica, conservando las pendientes transversales existentes o en su caso corregirlas evitando ondulaciones en la superficie de rodamiento

Previo a la construcción de la carpeta de concreto asfáltico se efectuará el barrido de la superficie por tratar para eliminar los residuos existentes antes de ejecutarla.

Se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido RR-2K, por medio de una petrolizadora con sistemas de control automático de temperatura y riego que garanticen una correcta dosificación y uniformidad en toda el área a razón de 0.50 lts/m² aproximadamente.

Una vez aplicado el riego de liga se construirá la carpeta de concreto asfáltico de 10 centímetros de espesor con la extendedora de asfalto equipada con sensores en dos capas de 5 centímetros compactos cada una, elaborada con cemento asfáltico AC-20 modificado con Polímero Tipo I y tamaño máximo del agregado de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) compactada al 95% de su peso volumétrico MARSHALL.

Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales

Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril, si la mezcla está quemada, no se permitirá su tendido, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. En áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.

COMPACTACIÓN. Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, será compactada, al noventa y cinco por ciento (95%), de su Peso Volumétrico Marshall. En el caso de carpetas de granulometría densa, la capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por el organismo.

MEZCLA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA DENSA.

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre 37.5 mm, (1 1/2 in) y 9.5 mm, (3/8 in). Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, (que es el caso que nos ocupa), o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

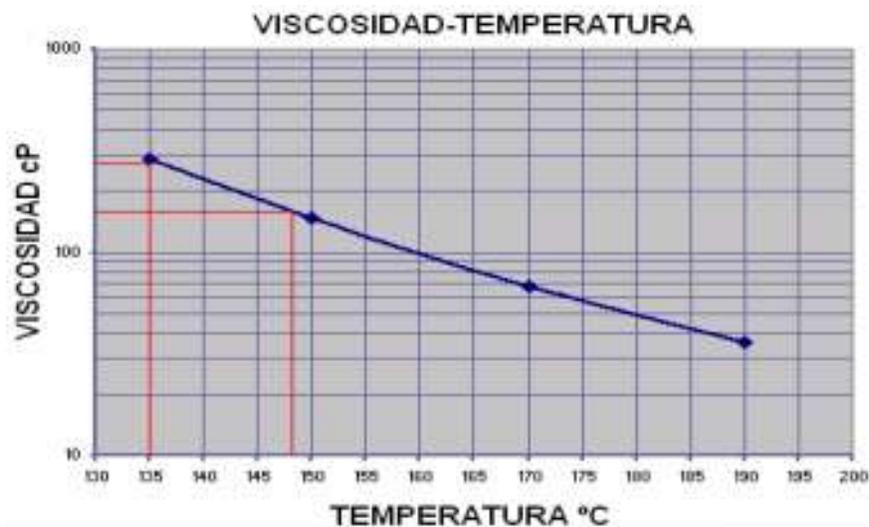
La compactación se terminará cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual o mayor que la mínima conveniente para la compactación, que haya determinado el Contratista de Obra conforme a lo indicado en las normas SCT.

El contratista de la obra determinará, mediante la curva viscosidad-temperatura (*) del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla. Para el caso de emplear asfalto modificado, que es nuestro caso, el proveedor del mismo indicará al contratista de obra, las temperaturas adecuadas de mezclado y compactación para su producto.

Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

() Para asfaltos modificados la viscosidad se realiza a una determinada temperatura especificando las revoluciones por minuto y la aguja utilizada durante el ensayo, debido a que su comportamiento no es newtoniano. Se grafican las temperaturas en el eje x y las viscosidades en el eje y.*

Se miden las propiedades del asfalto modificado a altas temperaturas para determinar las características de mezclado y compactación. Al igual que en los asfaltos convencionales se considera temperatura de mezclado la que se obtiene para una viscosidad de 0.17 ± 0.02 Pa s y la temperatura de compactación para una viscosidad de 0.28 ± 0.03 Pa s.



Grafica 1. Viscosidad-Temperatura Asfalto Modificado.

Fuente:lemac.frlp.utn.edu.ar/wp.../10/tesis2009_Luciana-Garcia-Eiler.pdf

Como se observa en el cuadro la temperatura de mezclado de este asfalto modificado es de 148° C y la de compactación de 135° C.

ACABADO.

Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de la carpeta de granulometría densa, se formará un chaflán en las orillas, cuya base será igual que uno coma cinco (1,5) veces el espesor de la carpeta asfáltica, compactándolo con el equipo adecuado. Para ello se utilizará mezcla asfáltica adicional, colocándola inmediatamente después del tendido, o bien directamente con las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

MEDICIÓN.

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en la Norma, a satisfacción del Organismo, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{L \cdot \bar{e} \cdot \bar{a}}{100} \quad \text{Donde:}$$

V = Volumen de la carpeta asfáltica del tramo, (m³)

L = Longitud del tramo, (m)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm). El Organismo medirá y pagará hasta el volumen máximo de la carpeta asfáltica que resulte cuando el espesor promedio sea igual que el de proyecto más un (1) centímetro.

\bar{a} = Promedio aritmético de los anchos de la carpeta asfáltica, obtenidos con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo, (m).

BASE DE PAGO.

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, incluyen lo que corresponda por:

- Desmonte y despalme de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Secado del material pétreo; dosificación, calentamiento y mezclado de los materiales pétreos.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.
- Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte y transporte al lugar de tendido.
- Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.

Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.

La conservación de la carpeta asfáltica hasta que sea recibida por el organismo. Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

6. CARPETA ASFÁLTICA ALTAMENTE ADHERIDA.

Previo a la construcción de la Carpeta Delgada (Microcarpeta Asfáltica Altamente Adherida) se efectuará con Barredora Autopropulsada el barrido de la superficie para eliminar los residuos existentes.

Sobre la superficie barrida se construirá una Carpeta Asfáltica altamente adherida elaborada en planta de asfalto en caliente, de 20.0 mm de espesor, con cemento asfáltico PG70-28 modificado con polímeros Tipo I.

DEFINICIÓN (SCT).

Las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo CASAA, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de cuatro (4) centímetros, sobre una carpeta de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa de rodadura, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

El Sistema de Sellado y Carpeta Asfáltica tiene dos objetivos principales:

- 1.- Proporcionar una superficie de rodamiento de la más alta calidad en términos de confort y seguridad para el usuario.
- 2.- Servir como tratamiento de conservación preventivo, al garantizar una impermeabilización (sellado), total de la carpeta asfáltica inferior protegiendo de una degradación acelerada la totalidad de la estructura de pavimento.

TENDIDO.

Se colocará un riego de liga (que una vez que se enfríe o seque funcionara como una membrana asfáltica extremadamente homogénea) de emulsión de asfalto modificado con polímero, que es el elemento que garantiza la impermeabilización y la alta adherencia, seguida inmediatamente de una carpeta delgada de concreto asfáltico elaborado en caliente de alto nivel de servicio y durabilidad.

El procedimiento de aplicación deberá asegurar la homogeneidad de la membrana asfáltica polimerizada y una inmediata aplicación del concreto asfáltico, con la finalidad de obtener los beneficios anteriormente descritos y maximizar la durabilidad del tratamiento, ya que de ésta forma se generaría una alta adherencia (Liga), con la capa inferior del pavimento.

APLICACIÓN.

La Membrana de Emulsión de Asfalto Modificado con Polímero sin diluir deberá ser rociada por la barra del equipo a una temperatura entre 49°C y 75°C, o conforme la recomendada por el proveedor del producto asfáltico. El sistema esparcidor deberá trabajar de forma precisa, con monitoreo continuo de dosificación y proveyendo una aplicación uniforme en todo lo ancho del pavimento por colocar.

La dosificación de la Membrana asfáltica sin diluir (riego de liga) será considerada en el orden de los 0.70 a 1.50 lt/m². Los ajustes de campo en dosificación deberán ser determinados basados en las condiciones de la superficie del pavimento existente con el objetivo de lograr una completa impermeabilización.

No se permitirá aplicación sobre el pavimento cuya superficie se encuentre mojada. La temperatura de la superficie del pavimento, así como la temperatura ambiente no deberán ser menores a 10°C en el momento de la aplicación. Una superficie humedecida en el pavimento será aceptable para la aplicación si se encuentra libre de agua estancada y si se esperan condiciones ambientales favorables.

La capa de concreto asfáltico deberá tener un espesor mínimo de 20.0 mm compactos para la granulometría Tipo “B”, y diseñarse bajo el concepto de “Alta Fricción Interna” o SMA (Stone Mastic Asphalt).

La máquina pavimentadora terminadora deberá tener depósito tolva de recepción y banda transportadora para evitar segregación, tanque de almacenamiento de emulsión asfáltica, sistema medidor por volumen de la emulsión de asfalto modificado con polímero, barra de espreas con sistema de calentamiento (de longitud variable), y placa vibrocompactadora.

Asimismo, este equipo deberá ser capaz de rociar la membrana, emulsión de asfalto modificado con polímero, aplicando la capa de mezcla en caliente y nivelando la superficie en una misma acción y en forma sincronizada.

Este equipo deberá tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente y la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero, a una velocidad controlada de 9 a 28 metros lineales / minuto en 3.5 m de ancho; con la garantía de que ninguna rueda u otra parte de la máquina pavimentadora o de cualquier otro elemento externo entre en contacto con la membrana de emulsión antes de que la mezcla en caliente de concreto asfáltico sea aplicada.

La aplicación se realizará desde el centro de la corona, realizando un ajuste vertical por medio de sus extensiones para alcanzar el perfil deseado en el pavimento.

El concreto asfáltico de mezcla en caliente deberá ser aplicado a una temperatura entre 140 - 165 °C y deberá ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado la Membrana de Emulsión de Asfalto Modificado con Polímero sobre toda la superficie de aplicación.

ACOMODO. (Compactación).

Consiste en un mínimo de dos pasadas con un rodillo de tambor metálico liso con un peso mínimo de 10 ton, antes de que la temperatura del material baje a más de 100°C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

El acomodo deberá desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, mediante la utilización de un compactador que se encuentre en buen estado y en buenas condiciones de operación, el cual deberá estar equipado con un sistema de rocío de agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación deberá operarse en el modo estático, ya que una excesiva vibración podría causar la disgregación del material o un deficiente perfil.

La capa asfáltica de rodamiento no deberá ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85°C.

MEDICIÓN.

La aplicación de la microcarpeta para el tratamiento de la superficie de rodamiento deberá ser medida por el número de metros cuadrados (m²), aplicados sobre la superficie del pavimento.

BASE DE PAGO.

La carpeta asfáltica altamente adherida (microcarpeta) elaborada en planta en caliente, por unidad de obra terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado (m²) de carpeta asfáltica altamente adherida acomodada (compactada). El precio unitario incluye lo que corresponde por: producción de materiales pétreos, desmonte y despilme del banco; extracción del material aprovechable y del desperdicio, cualquiera que sea la clasificación; proceso de explotación del banco; carga, acarreo y alimentación a la planta de trituración; proceso de trituración y clasificación; manejo de los desperdicios del proceso; separación en tamaños de los materiales según el proyecto; Carga y acarreo para la formación de almacenes, cemento asfáltico PG70-28 modificado con polímero tipo I, suministro y aplicación de riego de liga a base emulsión ECR-60 modificada con polímero tipo I, puestos en la obra; Carga, acarreo y alimentación de los materiales pétreos de la planta de trituración a la planta de asfalto; secado del material pétreo; mezclado de los materiales pétreos con cemento asfáltico; Carga y acarreo de mezcla asfáltica de la planta de asfaltos al sitio de colocación, Tendido y Compactación; Chaflanes en las orillas de la carpeta y acabado con rodillo liso; Carga, acarreo y acomodo del material excedente de mezcla asfáltica fuera del derecho de vía, el cual se depositará en los sitios previamente determinados por el Organismo, mermas y desperdicios, mano de obra, maquinaria, equipo y herramientas así como todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

Capítulo IV. EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZADO.

1. FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE EN EL CAMINO.

En este sistema se utiliza una máquina escarificadora/perfiladora, llamada RotoMill, fresadora o perfiladora, tiene como función recuperar una parte o todo el pavimento ya colocado, dejando una capa del mismo con una contextura uniforme a fin de que en su superficie se coloque otra capa de pavimento o no dejar nada a fin de hacer todo el proceso nuevamente.

Las fresadoras de pavimento en frío eliminan el pavimento desgastado o deteriorado para proporcionar una pendiente y rasante especificadas y dejar una superficie con una textura que permita su apertura inmediata al tráfico o al inicio del siguiente proceso, (reciclado de bases o el tendido de nueva carpeta asfáltica).

El proceso que se realiza es el molido en frío del pavimento controlado automáticamente mediante un tambor cortador. Este tipo de maquinaria es capaz de establecer control del grado del corte, además de controlar la pendiente transversal, se puede tener el cuidado de no causar daño a cualquier parte de la estructura del pavimento que no vaya a ser removida.

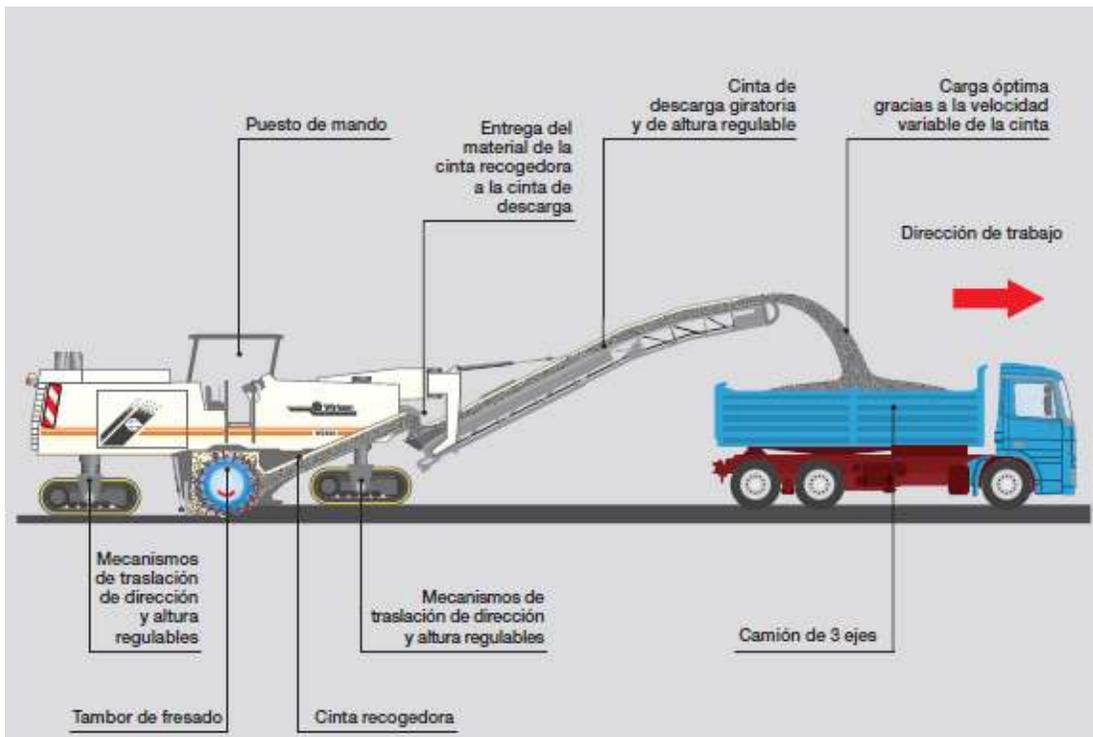


Figura 7: Funcionamiento de una fresadora de carpeta en frío moderna con carga frontal.

Fuente: resansil.com/fresadoras_frio.pdf

Existen tres tipos de diseño de rotor para los diferentes tipos de producción, los cuales son:

1. Rotor con porta púas cónico de 190 púas de ataque de punto con puntas de carbono.



Porta púas de desconexión rápida.

Figura 8. Rotor Cónico de 190 Púas.

Fuente: xml.catmms.com.

2. Rotor con porta púas separable de 170 púas de ataque de punto con puntas de carbono.



Púas en grupos de tres.

Figura 9. Rotor Cónico de 170 Púas.

Fuente: xml.catmms.com.

3. Rotor con porta púas soldado de 147 púas de ataque de punto con puntas de carbono



Porta púas soldado.

Figura 10. Rotor Cónico de 147 Púas.

Fuente: xml.catmms.com.

Las fresadoras tienen anchos que van desde los 60 cm hasta los 2.2 m. La potencia de su motor determina la profundidad de fresado, que puede alcanzar hasta 30 cm. Las características del rotor de fresado, el sistema de enfriamiento y su transmisión, el número de púas, el material con que están fabricadas, las porta púas y el método de descarga, generalmente compuesto de cinta transportadora y descarga frontal, son las características que se deben analizar en el momento de seleccionar el equipo.

La producción de la perfiladora depende del índice de fresado, (o velocidad con la cual se mueve la fresadora hacia delante). La velocidad se determina por el tipo de agregado, la fuerza de adhesión y profundidad de corte.

Partiendo de la profundidad de fresado y la dureza de la carpeta asfáltica, se establece la velocidad de avance en m/min y el rendimiento teórico en m²/hr.

Cuando se fresa los dientes rompen la adhesión de los agregados impregnados con asfalto sin fracturar el agregado en si. Un pavimento con una mezcla de alto porcentaje de agregado fino y gran contenido asfáltico, es mas difícil de moler que el pavimento que tiene un alto porcentaje de agregado grueso.

Una mezcla más densa requiere mayor potencia en el tambor y por lo tanto menor velocidad, limitando la producción.

Para este proyecto se utilizó la fresadora de pavimentos CMI PR-525 la cual podemos observar en las siguientes imágenes: (ancho del rotor de 2.10 m).



Figura 11: Fresadora de pavimentos CMI PR-525, en el proceso de fresado del pavimento actual.
Fuente: Propia.

En resumen: Las fresadoras en frío habitualmente sobre orugas, cuentan en su parte central con un rotor o tambor fresador, el cual se encuentra dentro de una carcasa protectora y es el encargado de fresar el pavimento. Mismo que a través de los giros del rotor es lanzado hacia la parte delantera de la carcasa donde pasa a la cinta recogedora y es por donde se conduce el pavimento fresado y es transportado a la cinta de descarga hacia los camiones para su retiro y almacenamiento fuera la obra.

El reemplazo de pavimentos existentes por nuevos es fundamental para que la calidad de una vía se mantenga intacta. En los trabajos de fresado es fundamental tomar en cuenta la precisión y la producción del equipo, para obtener un trabajo de calidad y rehabilitar la vía en el mínimo tiempo posible.

2. FORMACIÓN DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PÓRTLAND, COMPACTADA AL CIEN POR CIENTO (100%).

Para la formación de la base estabilizada se procederá a recuperar (demoler), homogenizar y a la incorporación de humedad óptima, lechada de cemento en el pavimento existente, en un espesor de 25 cm. Al realizar el recuperado se disgrega el pavimento existente con una **Recuperadora marca Wirtgen modelo WR2500S**, se procede a incorporar el cemento-agua (lechada), para lo cual se utilizará una **dosificadora marca Wirtgen modelo WM1000**, la cual está montada sobre un remolque de 5 ejes y tiene depósitos independientes para el agua y el cemento con las dimensiones suficientes para almacenar las cantidades necesarias de materiales, tiene un procesador que regula la aportación del agua y cemento hacia la mezcladora de suspensión.

Para la conformación y homogenización de la base recuperada se utilizará una motoconformadora Caterpillar 140H, para lograr un mejor mezclado de la lechada de cemento, inmediatamente se procederá a dar la compactación primaria con un vibrocompactador tipo pata de cabra Caterpillar CP 563E.

Después de esta compactación se afinará y se compactará en su capa superior con vibrocompactador de rodillo liso Caterpillar CS 533E con un peso de 15 ton. Hasta alcanzar el 100% del peso volumétrico seco máximo del material obtenido mediante la prueba de compactación AASHTO modificada (5 capas).

Descripción del tren de reciclado. Esta compuesto en primer lugar por la recicladora o recuperadora WR 2500S, la cual estará remolcada a la dosificadora o mezcladora modelo WM 1000, ambas de la marca WIRTGEN. El tren de reciclado se completará con lo incorporación de un autotanque con capacidad de 40,000 litros.



Figura 12: Recicladora WR 2500S.

Fuente: Propia.

La recicladora WR 2500S es una maquina con la capacidad de realizar múltiples tareas, desde la estabilización de suelos hasta el reciclaje en frío, pasando por la pulverización. Trabaja en anchos de 2.50 m a 3.0 m y profundidades de 0 a 50 cm.

Dispone de unos microprocesadores que controlan la dosificación de agua, suspensión de cemento y asfalto espumado en función de las respectivas exigencias.

El rotor para fresar y mezclar permite realizar distintos trabajos a cuatro velocidades de corte diferentes, así como fresar en el sentido del avance y en el sentido opuesto al mismo sin necesidad de reequipar la recicladora.



Figura 13: rotor de la recicladora WR 2500 S.

Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf y Propia.

Los porta picas o porta púas están dispuestos óptimamente en almas elevadas de manera que existe espacio suficiente para mezclar el material en todas las profundidades de trabajo, lo que garantiza un funcionamiento suave, protege los elementos de accionamiento y prolonga considerablemente su vida útil.

La cámara de mezcla variable garantiza una calidad de mezcla constantemente elevada y un alto rendimiento en las diferentes profundidades de trabajo.



Figura 14: Camara de mezcla.

Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

Este sistema permite alcanzar rendimiento elevado, mezcla de alta calidad y un desgaste reducido, incluso trabajando a profundidades máximas en suelos difíciles.

Cuenta con un sistema de nivelación automático (sensores) de dos circuitos de regulación que operan independientemente uno del otro. Todos los sistemas están unidos a la unidad de mando electrohidráulica para la profundidad por medio de conexiones de enchufe y se controlan mediante teclas. El control digital indica los valores teóricos y los valores reales actuales preseleccionados para la profundidad del fresado.

Cuenta con tres modos de dirección de manejo para facilitar el posicionamiento, el trabajo y el traslado de la maquina, los cuales son:

Modo “normal”. Las ruedas delanteras se controlan por el volante, las ruedas traseras permanecen automáticamente en posición de marcha en línea recta.

Modo “coordinado”. Las ruedas del eje delantero y trasero se mueven en sentido invertido unas con respecto de las otras, permitiendo un radio de viraje pequeño.

Modo “paso de perro”. Para posicionar la maquina más fácil y rápidamente, por ejemplo para cambiar de vía de trabajo al reciclar tramos paralelos.

Dirección modo (normal, coordinado y paso de perro).



Figura 15: Dirección de la WR 2500 S.
Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

En la siguiente vista frontal de la WR 2500S se puede observar las diferentes instalaciones de inyección pudiendo agregar simultáneamente distintos aditivos en función del trabajo. Adicionalmente, se puede transportar a la cámara de mezcla una suspensión premezclada de cemento y agua, desde una instalación mezcladora de suspensión acoplada.



Figura 16: Dirección de la WR 2500 S.
Fuente: digipro.com

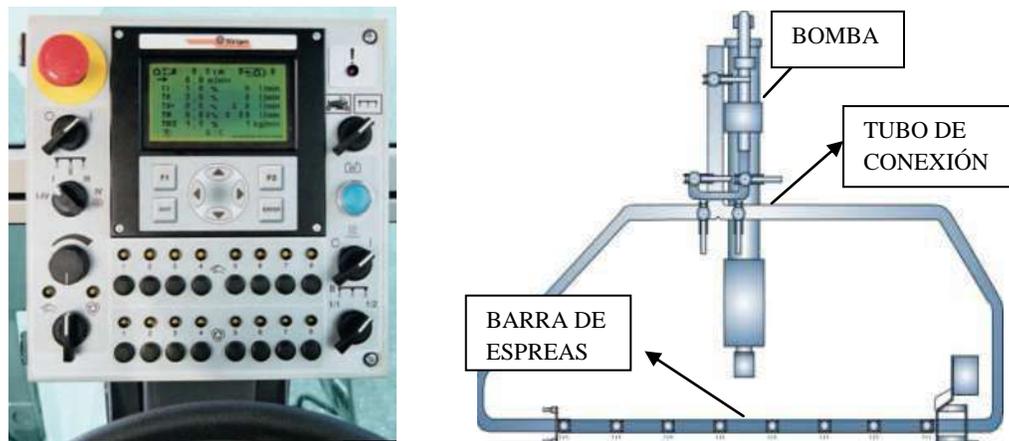


Figura 17: Microprocesador.
 Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

Además cuenta con unos microprocesadores que controlan la cantidad de ligantes o lechada de cemento añadidos, considerando la velocidad de avance. La cual es distribuida por medio de la barra de inyección con 16 toberas o espreas que inyectan el líquido de manera uniforme en toda la anchura de trabajo.

Es posible bloquear algunas toberas o espreas cuando las anchuras de trabajo sean menores.

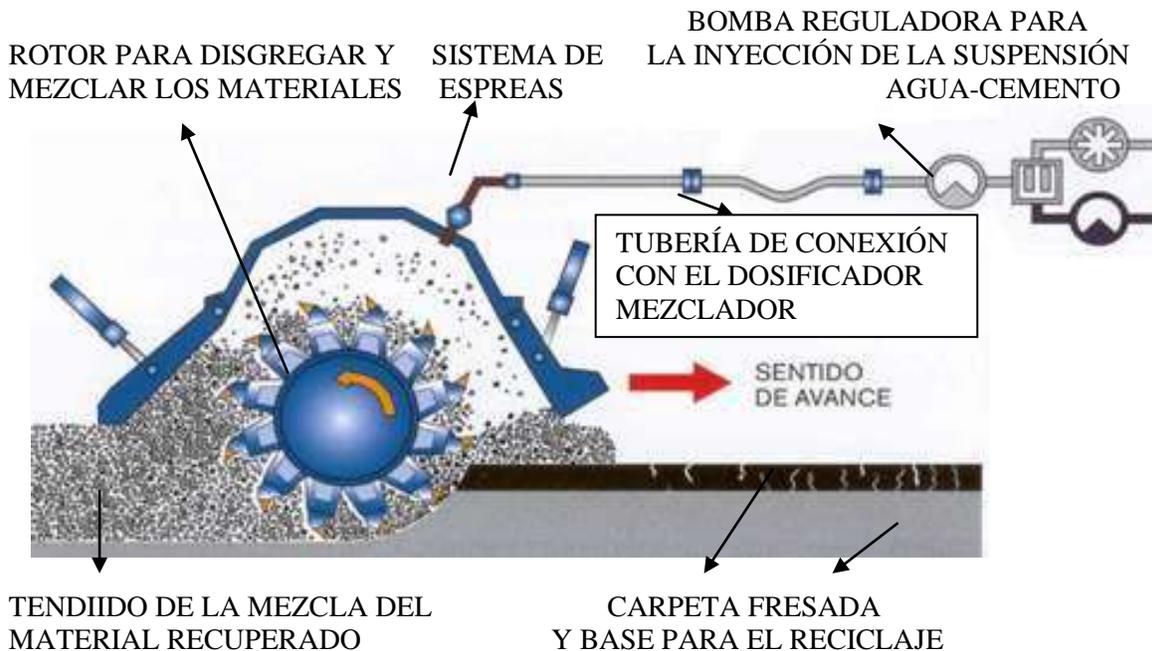


Figura 18: Proceso de la estabilización de la base con cemento portland.
 Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

El siguiente diagrama muestra el procesador el cuál regula la inyección simultánea de la emulsión de asfalto y de agua a través de la barra de inyección. El cual se encuentra en la cabina de operación.

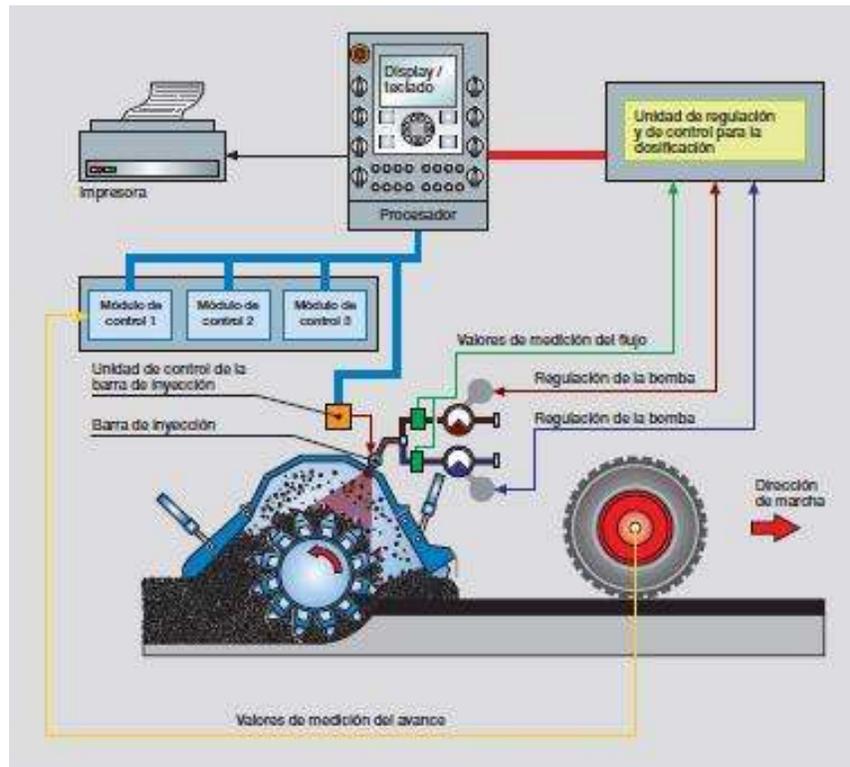


Figura 19: diagrama del funcionamiento del microprocesador.

Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

La WR, incluye un equipo de lavado de alta presión, accionado con bomba hidráulica, permite limpiar las piezas sucias de la maquina directamente in situ, lo que ahorra tiempo y deja la maquina en condiciones para la siguiente jornada de trabajo.

Para el transporte rápido es posible abatir la parte superior de la cabina con solo pulsar un botón. En posición de transporte la recicladora sólo tiene 3 m de altura y, por lo general, no se requiere ningún permiso espacial de transporte.



Figura 20: Recicladora WR 2500S.

Fuente: Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

DOSIFICADORA O MEZCLADORA DE SUSPENSIÓN WM 1000.

Esta maquina adicional se utiliza junto con las recicladoras en frío, tanto para la fabricación in situ de capas de base ligadas de forma hidráulica, durante la construcción de carreteras nuevas, como para el reciclaje en frío de calzadas ya existentes. La cantidad de cemento requerida se mezcla con el agua para obtener una suspensión y se inyecta en la cámara de mezcla de la recicladora sin desprendimiento de polvo. (Capacidad de mezcla agua cemento 1000 lts/min, peso de la maquina 25,450kg).



Figura 21: Dosificadora o mezcladora de suspensión WM 1000.

Fuente: Propia.

La mezcladora de suspensión es un equipo concebido para realizar la dosificación mediante lechadas, de los ligantes (cemento o cal), utilizados en las técnicas de estabilización de los suelos y/o reciclado de firmes, con la precisión requerida. Consisten en remolques-silo con una unidad de mezclado controlada por un microprocesador encargado de regular los aportes de agua y ligante que componen la lechada.

La suspensión agua-cemento es bombeada hasta la rampa de riego de la maquina recicladora o estabilizadora proporcionalmente a la velocidad de avance de las maquinas.

En la actualidad solo existe un modelo comercializado el WM 1000 WIRTGEN. El equipo esta diseñado en forma de contenedor para montar sobre un remolque pesado de 5 ejes. Dispone de un depósito de agua y un silo de ligante de gran capacidad. El microprocesador regula la cantidad de agua y ligante necesarios para fabricar la lechada en la mezcladora según una relación porcentual (% agua + % ligante) preseleccionada.

Durante la ejecución de los trabajos, la maquina recicladora o estabilizadora arrastra o empuja al mezclador, moviéndose ambos de modo coordinado, como se muestra en las siguientes fotos.



A) Recuperadora y Dosificadora.



B) Tren de reciclado completo.

Figura 22: Tren de reciclado.

Fuente: Propia.

La capacidad de los depósitos es de: silo para el almacenamiento del cemento de 25 m³ y el tanque de almacenamiento de agua es de 11,000 litros.

Para el transporte la unidad se engancha a un camión convencional.



Figura 23: a) barra de empuje, b) microprocesador de mando de la dosificadora WM 1000.

Fuente: Wirtgen.de/p_wm1000_s.pdf

En el inciso a) se muestra la barra de empuje de la recicladora la cual se conecta a la parte trasera de la dosificadora y en el inciso b) se muestra el microprocesador de mando de la dosificadora que también puede ser manejado desde la recicladora gracias a un dispositivo de prolongación.

El tren de reciclado se completa con un autotank de 40,000 litros, para transporte y abastecimiento de agua a la dosificadora WM 1000.

A) CONFORMACIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND.

Inmediatamente después de la recuperación de la base se procederá a la conformación y homogenización de la base con motoconformadora o motoniveladora 140H Caterpillar.



a) Conformación de la base H.



b) Tendido de la base H.

Figura 24: Conformación y tendido de la base hidráulica.

Fuente: a) Propia y b) Viarural.com.mx.

Maquina usada para repartir, nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. También puede realizar reperfilado y conservación de cunetas. Se considera como una maquina de terminación superficial.

El funcionamiento de una motoniveladora se basa en la aplicación de una hoja vertedera de empuje o extendido, montada sobre un bastidor de acero (tornamesa) con capacidad de realizar giros tanto sobre un eje vertical como sobre un eje horizontal, confiriéndole a dicha hoja la posibilidad de desplazar materiales mediante el deslizamiento o rodadura de éstos a lo largo de ella.

La cuchilla puede trabajar en diversas posiciones para nivelar y perfilar, en plano horizontal, con la hoja centrada o desplazada a un lado u otro (a), nivelar y perfilar un talud o un corte vertical (b), excavar y perfilar cunetas (c), rellenos de zanjas o desniveles (d).

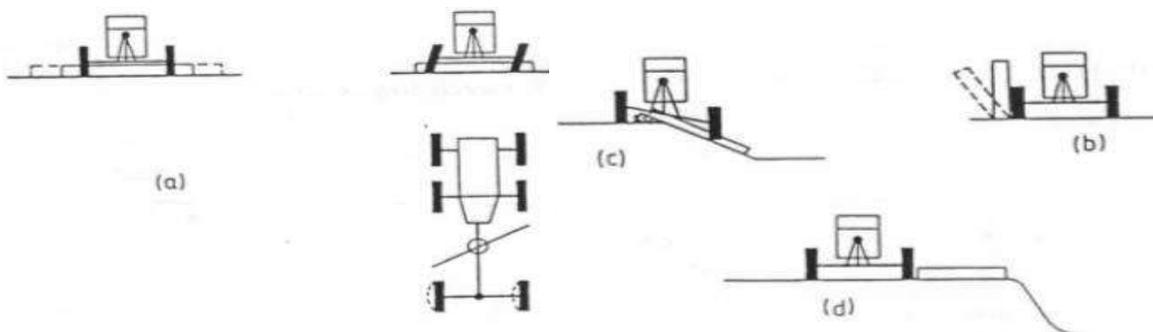


Figura 25: Posiciones de trabajo de la cuchilla.

Fuente: eupave.eu/e4.

Todos los equipos existentes en el mercado son similares, pudiéndose diferenciar únicamente según su peso y potencia, de acuerdo a los cuales, los equipos podrán destinarse a labores de movimiento de tierras (equipos mas pesados y potentes) o acabados (equipos ligeros y de menor potencia)

Los equipos más modernos cuentan con las siguientes características:

Chasis articulado para la reducción de los radios de giro.

Bastidor con rippers para la escarificación de zonas comprimidas.

Sistemas de nivelación automáticos con GPS, 3D y laser.

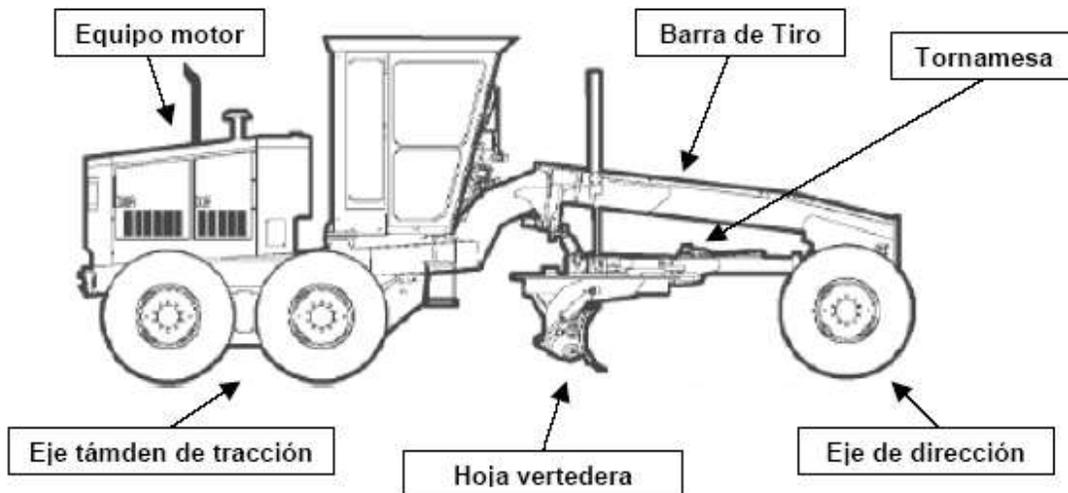


Figura 26: Esquema de una motoniveladora o motoconformadora.

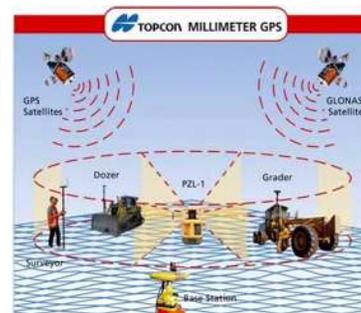
Fuente eupave.eu/e4

Sistemas de nivelación automáticos.

La penetración de nuevos sistemas en la obra civil (GPS, 3D, LASER...) y su utilización cada vez más habitual en las operaciones de replanteo, ejecución y control, está modificando los procedimientos de ejecución de las distintas unidades de obra, también las correspondientes a las de estabilización, habiéndose conseguido con éstos sistemas automáticos nivelaciones de hasta un centímetro de precisión.



a) Sistema 3D.



b) Sistema GPS milimétrico.

Figura 27: Equipos modernos de nivelación.

Fuente. Eupave.eu/e4

B) COMPACTACIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA.

En su primera etapa con un compactador vibratorio tipo pata de cabra CP 563C Caterpillar.



Figura 28: Equipo de compactación tipo pata de cabra.

Fuente: Propia.

La compactación se define como la densificación de un suelo mediante métodos mecánicos. Es la disminución del volumen de poros o vacíos cuando las partículas del suelo son presionadas.

Los compactadores de pata de cabra disponen de rodillos cilíndricos de acero a los que se ha dotado de patas de apoyo puntuales distribuidas uniformemente sobre la superficie del cilindro, cuyo efecto de compactación se debe a la alta presión que trasmite al terreno.

Los bloque o patas penetran el suelo superior compactando la capa de suelo siguiente, es decir compacta desde abajo hacia arriba. Además este tipo de compactación ayuda a secar arcillas y limos mediante el amasado.

Si llueve la capa superior puede actuar como esponja y retardar el proceso de compactación. Usualmente de 6 a 10 pasadas son necesarias para densificar un espesor de 20 cm de suelo.

Cuentan con 2 frecuencias de vibrado a las cuales se les denomina de alta y baja frecuencia, impactos de 5 a 600 golpes por minuto se consideran de baja frecuencia y de 1400 a 3500 golpes por minuto se considera de alta frecuencia.

En general, el problema de la compactación va ligado al del material a compactar y esta es la razón de la existencia de múltiples y diferentes equipos en el mercado que se diferencian más que en la energía de compactación que suministran, en la forma en que dicha energía es transmitida el terreno.

Las características principales de los diferentes equipos son: peso, desde 5.50 hasta 32.70 toneladas y anchos de tambor de 1.37 a 3.00 m.

C) COMPACTACIÓN FINAL CON EL COMPACTADOR DE RODILLO LISO CS 533E CATERPILLAR.

Después de la compactación primaria, se procede al afine de la base estabilizada con la motoniveladora y se compactara en su capa superior con un compactador CS 533E Caterpillar de rodillo liso vibratorio con un peso de 15 ton. Hasta alcanzar el 100% del peso volumétrico seco máximo del material obtenido mediante la prueba de compactación AASHTO modificada (5capas).



Figura 29: Equipo de compactación de rodillo liso.

Fuente: calssified.direcindusy.es

Se le conoce también como compactador vibratorio monocilíndrico, esta compuesto por un cilindro metálico vibratorio liso (con o sin tracción) que actuará como elemento de compactación y dos neumáticos traseros de tracción.

Pueden usarse para la compactación de todo tipo de capas de cimiento, explanadas firmes, teniendo una mejor adaptación a la compactación de suelos no cohesivos, donde el efecto de la vibración posibilita una mejor acomodación de los elementos granulares.

Con este proceso queda concluido el reciclado y estabilizado de la base hidráulica con cemento portland, con el tren de reciclado. El siguiente esquema muestra el proceso constructivo con el tren de reciclado.



Figura 30: diagrama del reciclado de la base hidráulica.

Fuente: digipro.com

En el esquema se muestra el sentido de avance del proceso, en primer lugar se cuenta con un autotanque con agua el cual es el encargado de suministrar el agua a la dosificadora, misma que va remolcada a este, la dosificadora es la encargada de mezclar el agua y el cemento para bombearlo a través de unas conexión especial en forma de lechada de cemento a la recuperadora la cual es la encargada de recuperar la base y mezclar con la lechada de cemento que se inyecta por unas espreas a lo ancho del rotor de corte.

Y el proceso se termina con la homogenización de la base con la motoconformadora y compactación con rodillo liso.

3. SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE RIEGO DE IMPREGNACIÓN Y RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

Previo a la aplicación del riego de impregnación y a la construcción de la carpeta de concreto asfáltico, se efectuará el barrido de la superficie por tratar para eliminar los residuos existentes.

El equipo utilizado para esta actividad fue un minicargador de usos múltiples modelo 216 B Cat. Equipado con cepillo hidráulico.



Figura 31: Minicargador de usos múltiples.
Fuente: maquinariastock.com y latinamerica.cat.com

MINICARGADORA.

Su característica principal es la dirección tipo deslizante, lo que acompañado de sus reducidas dimensiones le proporciona una maniobrabilidad total. El motor va montado en la parte trasera, para así contrarrestar el peso de los acoples de la parte delantera. El conductor se ubica entre ambos ejes, manejando la maquina mediante palancas y pedales. Su principal implemento es la pala cargadora, aunque se le puede instalar desde una barredora hasta una gran variedad de implementos tanto para la construcción como para la conservación de carreteras.

Los cepillos hidráulicos están equipados para realizar prácticamente cualquier trabajo de limpieza de terrenos. El ángulo de barrido que puede o giro del cepillo es de 0° a 30° y es controlado hidráulicamente. El ancho del barrido en posición recta es de 2.13 m y en posición inclinada es de 1.70m, el diámetro de la escobilla es de 81.3 cm. (cepillo BA18).

Sobre la base estabilizada se aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento superestable y también se aplicará un riego de liga de rompimiento rápido antes del tendido de la carpeta asfáltica, los dos riegos se aplicaron con una petrolizadora ETNYRE con capacidad de 14, 000 lts, la cual está equipada con mandos automáticos a través de los cuales se puede controlar la temperatura y la cantidad de litros por suministrar a la barra de riego.

PETROLIZADORA ETNYRE.



Figura 32: Petrolizadora etnyre.

Fuente: Propia y etnyre.com

La mayoría de la petrolizadoras o distribuidores de asfalto se utilizan para las dos funciones siguientes:

1. Para el riego de impregnación y riego de liga frente a la extendedora de mezcla en caliente.
2. Para rociar una cantidad medida y controlada de asfalto líquido frente a un esparcidor de sello en la construcción de carpetas asfálticas por riegos.

Par nuestro caso se muestra el siguiente diagrama del procedimiento constructivo:



Figura 33: Diagrama del proceso constructivo de la carpeta asfáltica.

Fuente: etnyre.com

Donde en primer lugar pasa la petrolizadora dando el riego de liga para iniciar la construcción de la carpeta asfáltica en caliente.

El distribuidor de asfalto o petrolizadora está constituido por un camión o semirremolque sobre el que se monta un tanque aislado. Esta equipado con un sistema de calentamiento que consiste, en general, en un quemador de gas.

El distribuidor cuenta con una motobomba, capaz de manejar productos que varían desde asfaltos líquidos muy ligeros, que se aplican en frío, como las emulsiones bituminosas, hasta cementos asfálticos muy viscosos, que deben calentarse para obtener la viscosidad del riego.

La parte trasera del tanque tiene un sistema de barras de riego con picos o toberas a través de las cuales el asfalto es forzado bajo presión a salir hacia la superficie de la calzada.



Figura 34: Tanque para almacenar gas LP.
Fuente: etnyre.com

La **figura 33** nos indica la parte donde se ubica el tanque para almacenar el gas LP para alimentar a los quemadores para mantener la emulsión a la temperatura de trabajo. La capacidad del tanque es de 196.84 litros aproximadamente o 52 galones americanos.

BARRA ROCIADORA.

Se compone de la barra principal y dos brazos o extensiones plegables los cuales tiene movimiento horizontal para ajustar el ancho y se pueden levantar hasta 90° con respecto de la horizontal, ya que cuenta con articulaciones giratorias. Existen diferentes longitudes de las barras desde 2.43m a 4.87m y la altura máxima del riego es hasta 30 cm.

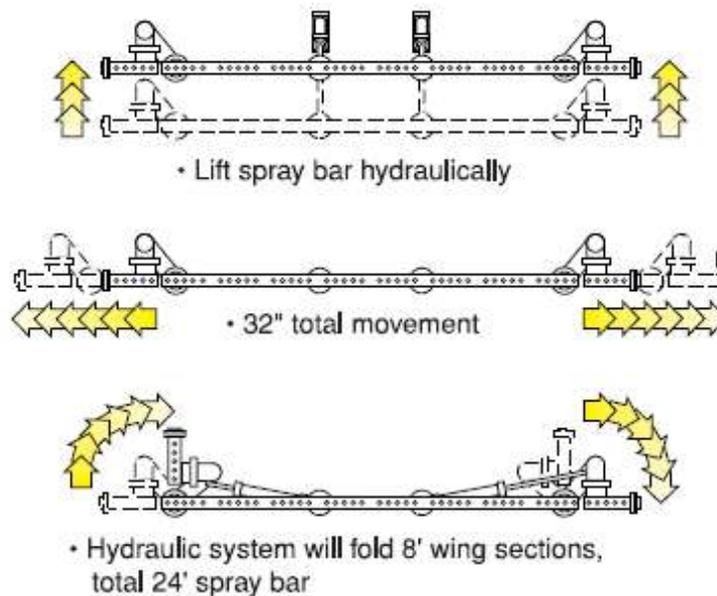


Figura 35: Diagrama representativo de los movimientos tanto horizontal como vertical de la barra rociadora.
Fuente: etnyre.com

El sistema de circulación de forma automática controla las funciones de abastecimiento para la circulación en la barra de rociado y retornar la circulación a través de la barra sin forzar el asfalto el cual pasara por una válvula de alivio.

Lo podemos representar en el siguiente diagrama, el abastecimiento para el riego y la circulación del asfalto o emulsión a través de la barra rociadora.

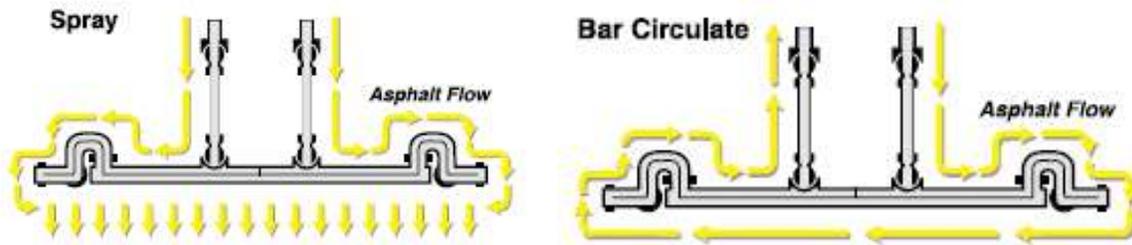


Figura 36: Circulación del asfalto en la barra rociadora.

Fuente: etnyre.com

La libre circulación a través de la barra permite el mantenimiento para que esté siempre en condiciones de trabajo.

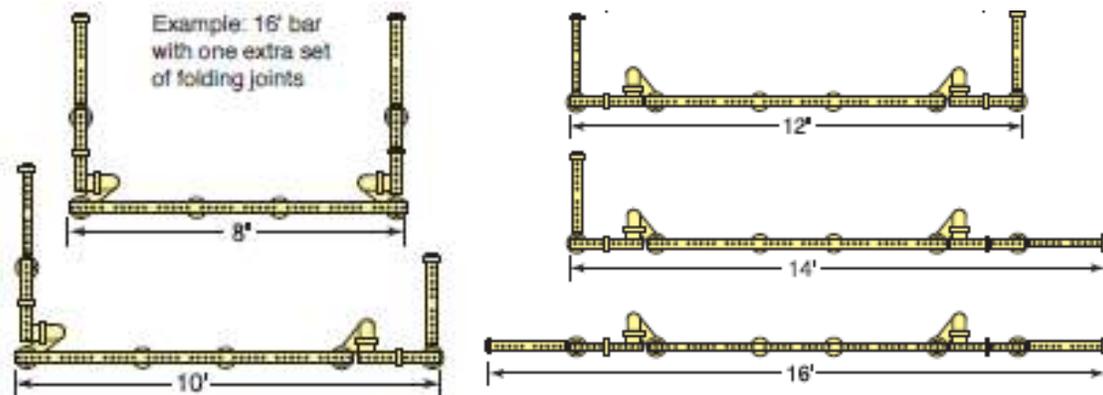


Figura 37: Diagrama de los diferentes tipos de barras rociadoras.

Fuente: etnyre.com

Cuenta también con un sistema de rociador manual y se compone de las siguientes características:

Manguera de alta presión para la circulación del asfalto, pistola rociadora con asas en frío y tres boquillas de aspersión. El sistema de rociador de mano se utiliza para las zonas de rociado donde el camión rociador o petrolizadora no puede llegar, grietas relleno y otros proyectos de mantenimiento. (Inciso a).

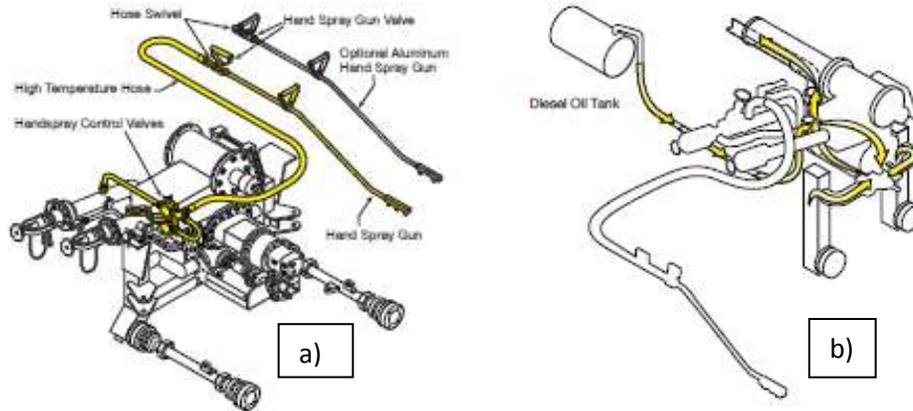


Figura 38: a) rociador de mano, b) sistema de auto lavado.
Fuente: etnyre.com

En la figura del inciso b) se muestra el sistema de auto lavado que generalmente se utiliza para limpieza exterior de la barra rociadora ya que el sistema de la barra es capaz de succionar de nuevo casi todo el material de la barra y de las líneas de alimentación. Este sistema sirve para la limpieza de la bomba por donde pasa el asfalto y la barra rociadora en caso de que por descuido del operador se tapen las líneas del riego.

MEDICIÓN Y CONTROL.

El distribuidor está diseñado para aplicar una cantidad controlada y dosificada de material bituminoso. El operador desde la cabina puede programar a través de la computadora la cantidad de litros en una longitud determinada y el equipo mantiene automáticamente ese ritmo, independientemente de la velocidad del distribuidor o ancho de la barra.



Figura 39: Software de control.
Fuente: etnyre.com

La computadora tiene la capacidad de almacenar en la memoria hasta diez dosis diferentes, la pantalla muestra la dosis o tasa de aplicación en galones por minuto o litros por minuto. El ajuste del ancho y alto de la barra rociadora se controla con el simple accionamiento de un botón desde la cabina de operación del camión.

TANQUE DE ASFALTO.

Construido de acero inoxidable calibre 10, 2 pulgadas de fibra de vidrio especial como aislante y una bolsa de aluminio de 0.040 pulgadas. Cuenta con dos rompe olas con aberturas para el control del material por movimientos bruscos. Termómetro y reloj de medición.

Dos quemadores de gas en forma de U por los que circula el calor para el control de la temperatura, tubos de acero inoxidable.

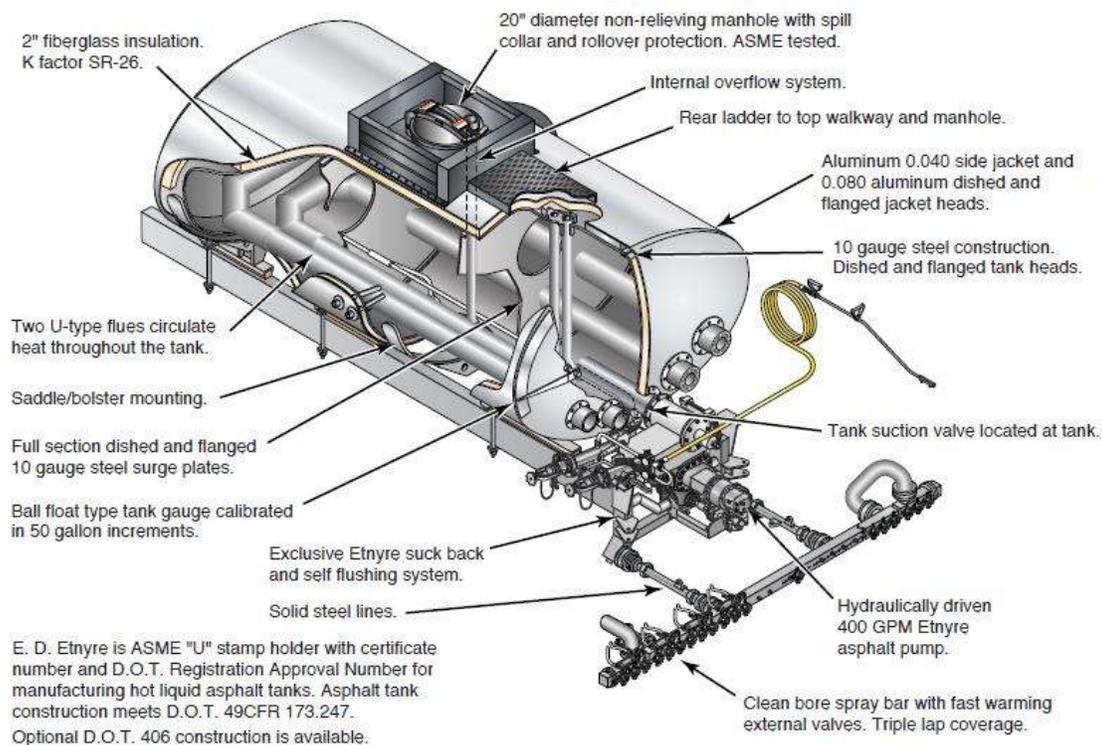


Figura 40: Tanque de asfalto.

Fuente: etnyre.com

4. CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO I EN CALIENTE, COMPACTADA AL NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%).

Para la construcción de la carpeta asfáltica se utilizó la extendedora de asfalto Caterpillar modelo AP 1055B. La máquina de extendido de la mezcla asfáltica se llama terminadora de concreto asfáltico, pavimentadora o finisher. Las pavimentadoras son máquinas automotrices diseñadas para extender el concreto asfáltico en capas de espesor uniforme, cuya superficie debe quedar homogénea, con textura uniforme, anchos especificados y proporciona una compactación inicial.



Figura 41: Pavimentadora AP-1055B (Utilizada en este proyecto).
Fuente: Propia.

Las dos partes principales de una pavimentadora son la unidad de potencia o tractor y la unidad de enrase.

1) La unidad de potencia.

Provee de la fuerza motriz para mover las ruedas u orugas de la maquina del tractor y la unidad de enrase. La unidad del tractor depende de la tolva receptora (que se encuentra en la parte delantera), el transportador alimentador (sistema de fajas o cintas transportadoras) y la unidad de enrase. El motor de la unidad del tractor propulsa la pavimentadora, arrastra la unidad del enrasador y proporciona potencia a los otros componentes mediante las transmisiones.

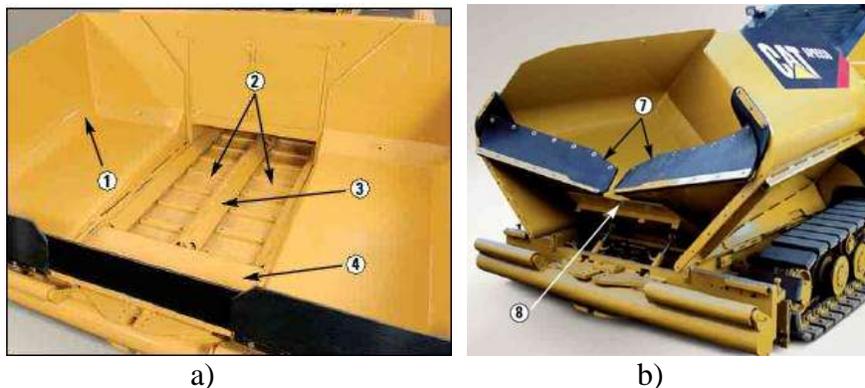


Figura 42: Tolva receptora.
Fuente: xml.catmms.com

- a) 1. Tolva de forma curva. 2. Cintas transportadoras controladas independientemente.
3. Protector de cadenas estrecho. 4 Compuerta delantera plegable.
b) 7. Alas plegables. 8. Compuerta delantera plegable hidráulica.

2) LA UNIDAD DEL ENRASADOR.

Las funciones principales del enrasador son nivelar la mezcla para que cumpla con las especificaciones de espesores y proporcionar la compactación inicial de la mezcla. El enrasador está compuesto por los brazos emparejados de arrastre o extensiones, unidad de calentamiento, barras apisonadoras (barra de enrase) vibratorias y controles.

BARRA ENRASADORA.

El enrasador esta equipado con calentadores usados para calentar la placa de la barra enrasadora al comienzo de cada pavimentación. Si la placa no está inicialmente caliente, la mezcla se romperá y su textura será abierta y gruesa, como si la mezcla estuviera demasiado fría.

La barra extendidora o regla esta equipada para una doble anchura, entendible hidráulicamente, cuenta con vibradores y sistema de apisonado de frecuencia variable y con sistemas de calentamiento a través de quemadores de gas LPG.

La regla extiende el aglomerado asfáltico con la anchura y profundidad deseadas. Proporciona un acabado con una compactación inicial completamente de textura lisa.

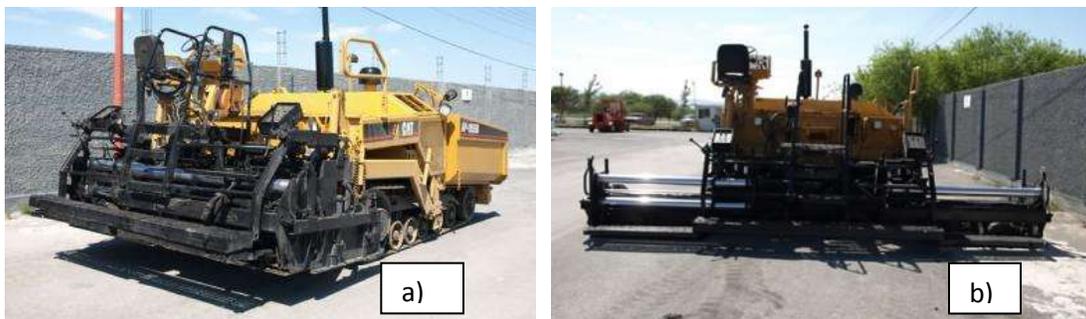


Figura 43: Anchos que puede utilizar para el tendido del concreto asfáltico. El ancho de la regla es desde los 2.44 m inciso a), y hasta los 6.09 m, aproximadamente inciso b).

Fuente: meqcer.com

El proceso de pavimentación es el siguiente: la mezcla en caliente se deposita en la tolva receptora, donde es llevada por las cintas transportadoras hacia las barrenas distribuidoras (barras del tipo sin fin). Estas barrenas distribuyen uniformemente la mezcla en todo el ancho del enrasador.

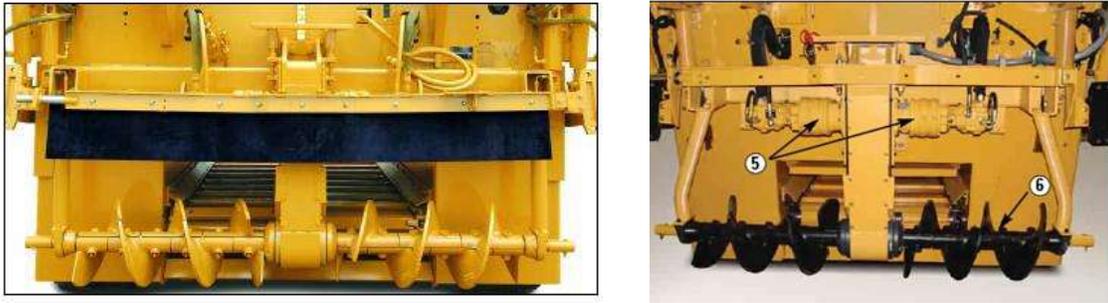


Figura 44: Barras del tipo sinfin de distribución del asfalto.
 Fuente: xml.catmms.com

- 5. Sistema de accionamiento de los sinfines independientes.
- 6. Barra distribuidora del tipo Sinfín.

El funcionamiento del enrasador y ajuste de los sinfines es a través de una bomba hidráulica la cual acciona los pistones encargados del movimiento.

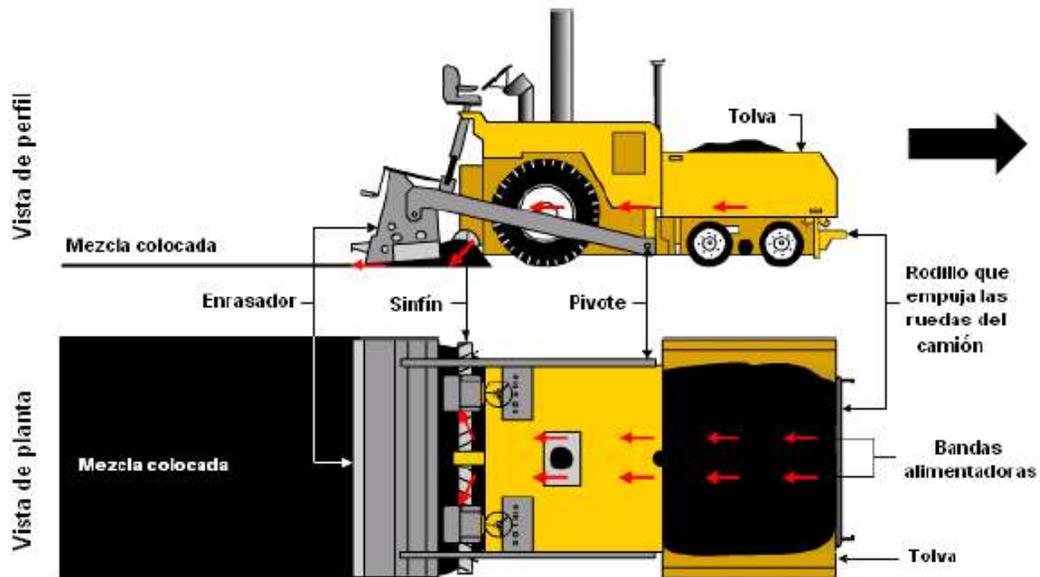


Figura 45: Diagrama de funcionamiento de la pavimentadora.
 Fuente: xml.catmms.com

4.1 EQUIPO DE COMPACTACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA.

Para el inicio de la compactación se utilizó el rodillo liso de doble tambor vibratorio marca Caterpillar modelo CB 634C y para la terminación de la misma con equipo compactador tipo neumáticos marca Caterpillar modelo PS 360C.



Figura 46. Compactador de doble rodillo liso CB 634C CAT.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN.

Máquina autopropulsada, de gran peso, dotada de dos rodillos lisos cuya función consiste en planificar y dar la compacidad requerida al material sobre el cual se desplaza. Tiene inversores del sentido de la marcha de acción suave y dispositivos para mantener los rodillos húmedos y evitar que se pegue la mezcla en ellos.

Conocido también como compactador vibratorio bicilíndrico (o tándem). Está compuesto por dos cilindros metálicos vibratorios lisos (con tracción) que actúan de compactación.

Pueden usarse para la densificación de todo tipo de capas de firme y/o explanadas bien graduadas, aunque generalmente son usados para la compactación y el acabado de capas asfálticas.

MODO DE FUNCIONAMIENTO.

Tiene su fundamento en la presencia combinada del peso estático y de una fuerza dinámica generadora de vibración. Utiliza una maza excéntrica que gira dentro de un rodillo liso, produciendo una fuerza centrífuga que se suma al peso de la máquina al producir la correspondiente presión sobre el suelo.

Características principales del equipo vibratorio tándem son peso de 12.8 ton, ancho del tambor de 2.13m.

4.2 COMPACTACIÓN FINAL.

Con equipo compactador de neumáticos modelo PS 360C de la marca Caterpillar.



Figura 47: Compactador de neumáticos PS 360C CAT.

Fuente: Propia.

Son conocidos como equipos de compactación de presión estática los compactadores de ruedas neumáticas.

Están formados por una hilera de 3 llantas delanteras y una hilera de 4 llantas traseras de neumáticos lisos, en número, tamaño y configuración tales que permiten el solape de las huellas delanteras con las traseras. Es capaz de alcanzar una masa de 25 toneladas, una carga por rueda de 3.570 toneladas, y el ancho de rodado 2.28 m.

Se usan para la densificación de todo tipo de capas de firme y/o explanadas bien graduadas, ya que durante la compactación se consigue un incremento en el efecto de amasado, resultando una superficie acabada más densa y uniforme.

6. EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARPETA DELGADA ALTAMENTE ADHERIDA.

Previo a la construcción de la carpeta delgada (microcarpeta) asfáltica se efectuará un barrido de la superficie para eliminar los residuos existentes. Sobre la superficie barrida se construirá una carpeta delgada (microcarpeta) asfáltica elaborada en planta de asfalto en caliente, con cemento asfáltico PG-70-28 modificado con polímeros Tipo I, de 20.0 mm de espesor, para garantizar una impermeabilización total de la carpeta asfáltica inferior protegiendo de una degradación acelerada la totalidad de la estructura del pavimento.

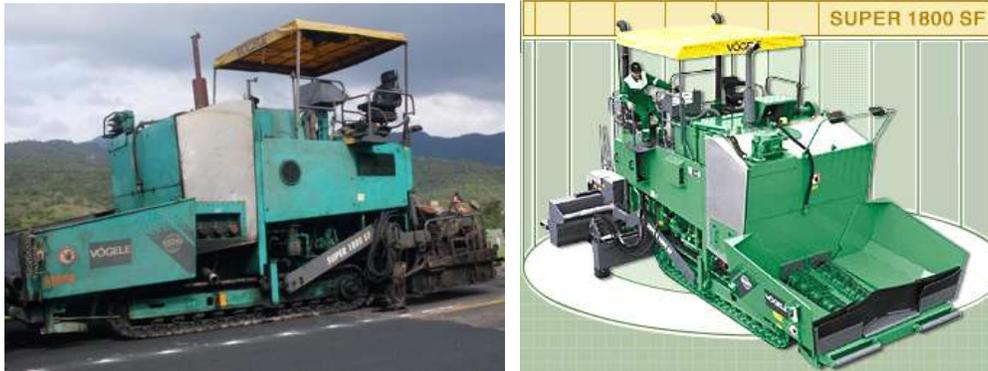


Figura 48. Extendedora SUPER 1800 SF VöGELE.

Fuente: Propia y vögele.com

Para la construcción de la microcarpeta altamente adherida, se baso en una extendedora SUPER 1800 SF VöGELE con regla AB 500TP1 de alta compactación. La abreviatura SF del modelo de la máquina es sinónimo de “Sprühfertiger”, que describe la capacidad de la extendedora de esparcir un riego de liga y la colocación de la capa delgada en una sola pasada. Ya que cuenta además de un tanque para almacenar emulsión y abastecer las barras de riego.

Este equipo cuenta con un sistema de rociado de emulsiones asfálticas, sincronizado al tendido de micro carpeta altamente adherida. Realizando ambos procesos a la vez, garantizando con esto la adherencia de las capas y un acabado de alta calidad. Adicional a esto los trabajos son más limpios ya que los vehículos que transportan el concreto asfáltico no contaminan los otros carriles ya que no pasan sobre la emulsión asfáltica.

DESCRIPCIÓN.

Cuenta una tolva receptora de material, barras de transporte o distribución del tipo sin fin y regla de nivelación o de tendido, Sistema de Spray el cual cuenta con 2 barras de riego, con boquillas de aspersión de auto-limpieza, las que son controladas de forma individual a través de unidades de control remoto, en donde es posible también programar la dosificación del riego de liga. Las barras de aspersión se pueden ajustar hasta un ancho de 2.50 m cada una.

Las características de equipo son las siguientes:

- Sistema de riego de 0.8 litros hasta 2.0 litros por metro cuadrado.
- Espesor de nivelación mínimo de 1 cm y máximo de 15 cm.
- Tanque contenedor de la emulsión de 4,000 litros.
- Dimensiones: Largo de 7.50 m y altura de 4.50 m con toldo puesto, ancho de 3 m con las extensiones de tendido y tolvas levantadas.
- Regla de tendido. Tiene un ancho de 4.75 m y dos brazos extendibles alcanza los 6.75 m de ancho.

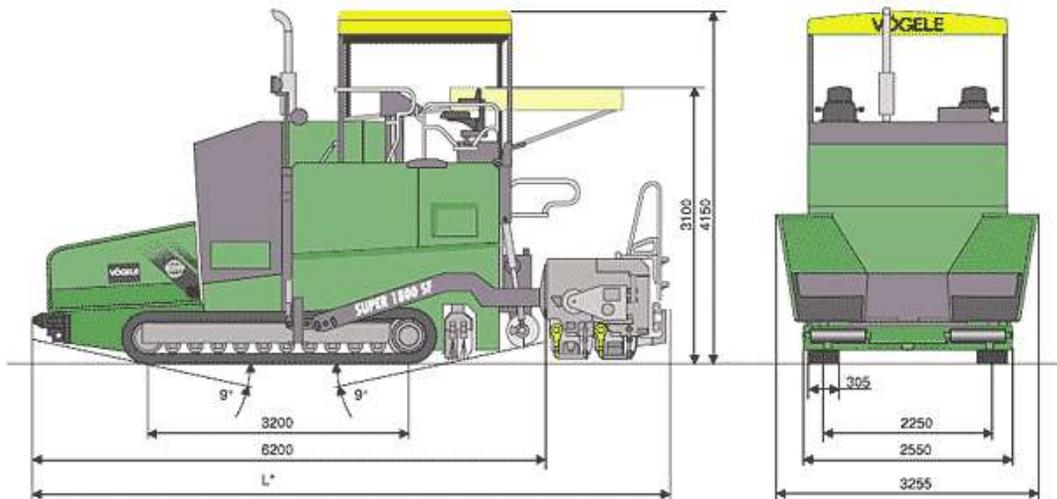


Figura 49: Diagrama del equipo.

Fuente vögele.com

PROCESO CONSTRUCTIVO.

Para la construcción de la microcarpeta asfáltica altamente adherida se utilizó el equipo de pavimentación marca VÖGELE modelo Súper 1800 SF, el cual es un equipo de tendido sincronizado, que combina las funciones de petrolizadora y una extendidora finisher.

Este equipo aplica de manera sincronizada la membrana asfáltica y la mezcla en caliente, entrando ambas en contacto en menos de 3 segundos, lo cual garantiza que el agua presente en la membrana asfáltica se vaporice y que la membrana suba a través de los vacíos de la mezcla.

La capa drenante es una mezcla en caliente de granulometría escalonada (semiabierta) de alta fricción interna, con agregados producto de trituración y ligado con una membrana asfáltica de emulsión asfáltica elaborada con asfalto ECR-60 modificado con polímero con una dosificación de 1.10 litros por metro cuadrado aproximadamente y manejando la colocación de la misma con solo el uso de este equipo.

Por último esta carpeta delgada altamente adherida se compactará con un compactador vibratorio modelo CB-634C de doble tambor a rodillo muerto, descrito anteriormente.

Las siguientes fotografías muestran algunas de las partes de la maquina que se utilizó para la construcción de la microcarpeta. (Fuente: Recopilación propia).

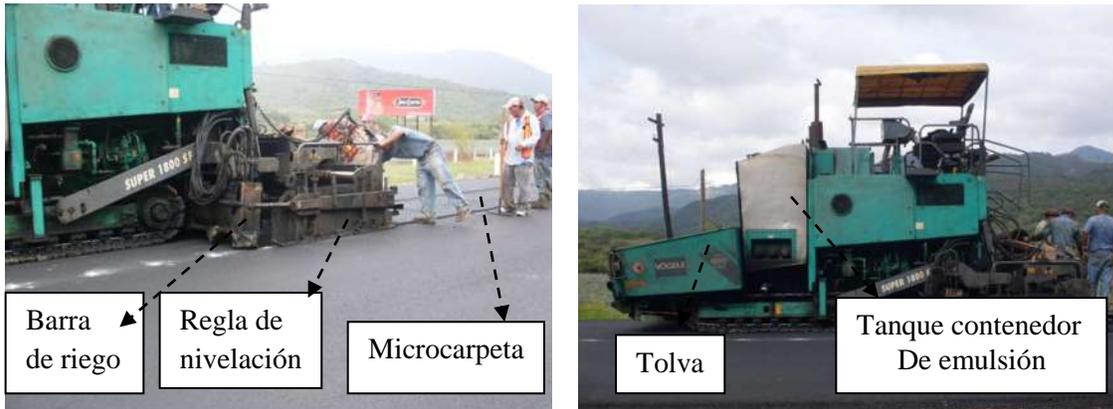


Figura 50: En la foto se observa a el equipo Súper 1800 SF en pleno proceso.
Fuente Propia.



Figura 51: Regla de tendido y barra de riego de liga.
Fuente: vogele.com y Propia.



Figura 52: Compactación de la microcarpeta a rodillo muerto.
Fuente: Propia.

Con esto queda concluido el proceso de construcción de la microcarpeta altamente adherida.

Capítulo V. NORMATIVA DE LOS MATERIALES.**A) ESPECIFICACIONES GENERALES.**

Tienen aplicación las siguientes:

**DE LA NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE
(NORMATIVA SCT).**

NORMAS	DESIGNACION
Dispositivos para protección de obras.....	N·PRY·CAR·10·03·001/01
Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.....	N·CTR·CAR·1·04·006/04
Riegos de liga.....	N·CTR·CAR·1·04·005/00
Riegos de impregnación.....	N·CTR·CAR·1·04·004/00
Subbases y bases.....	N·CTR·CAR·1·04·002/03
Capas estabilizadas.....	N·CTR·CAR·1·04·003/00
Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas	
Asfálticas.....	N·CMT·4·04
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N·CMT·4·05·001/00
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados...	N·CMT·4·05·002/01
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras...	N·CMT·4·05·003/02
Bancos.....	N·CTR·CAR·1·01·008/00
Rellenos.....	N·CTR·CAR·1·01·010/00
Concreto Hidráulico.....	N·CTR·CAR·1·02·003/04
Bordillos.....	N·CTR·CAR·1·03·007/00
Cunetas.....	N·CTR·CAR·1·03·003/00
Lavaderos.....	N·CTR·CAR·1·03·006/00
Vialetas y botones.....	N·CTR·CAR·1·07·004/02
Señales verticales Bajas.....	N·CTR·CAR·1·07·005/00
Indicadores de alineamiento.....	N·CTR·CAR·1·07·007/00
Defensas.....	N·CTR·CAR·1·07·009/00
Señalamiento y dispositivos para protección en	
Obras.....	N·CTR·CAR·1·07·016/00
Ejecución de control de calidad durante la	
Construcción y conservación.....	N·CAL·1·01 /01

Manual de dispositivos para el control del tránsito de calles y carreteras, capítulos I (Señales Preventivas), II (Señales Restrictivas), III (Señales Informativas), IV (Marcas), V (Obras y dispositivos Diversos) y VI (Dispositivos para Protección en Obras).

B) ESPECIFICACIONES PARTICULARES. (E. P.).**I) PAVIMENTOS.****E. P. 1. FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE, P.U.O.T.****EJECUCIÓN.**

Se realizará el corte del pavimento con una máquina perfiladora de pavimentos que permita fresar en una sola pasada un espesor que indique el proyecto, siendo esta un promedio de doce centímetros (12 cm), los trabajos se realizarán en todo el ancho de corona.

El material producto del fresado, será retirado y utilizado para el arroyo de taludes en el derecho de vía, donde indique el Organismo a una distancia no mayor de 2 km. sin obstruir obras de drenaje, obras complementarias y todo lo relacionado con esta vía de comunicación.

El acomodo del material fresado en los bancos de almacenamiento y/o desperdicio será por cuenta del contratista.

Por ningún motivo se fresara una longitud mayor a la que se pueda cubrir con carpeta asfáltica en la misma jornada de trabajo semanal. El licitante tendrá que considerar lo anterior en la integración del programa de obra y presupuesto.

Para dar por terminado el corte en frío del pavimento existente, se deberá cumplir con una tolerancia de ± 0.50 cm. en los niveles de la superficie fresada.

MEDICIÓN.

La unidad de medición del corte se hará tomando como unidad el metro cúbico (m^3) de material fresado, para efecto de pago se considerará el volumen resultante de las secciones transversales obtenidas antes y después de realizar el trabajo, calculado mediante el método de promedio de áreas extremas, la unidad de medición se aproximará con una decimal.

BASE DE PAGO.

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico (m^3) de material fresado, este precio unitario incluye: El fresado del pavimento, carga, descarga y acarreo del material fresado al banco de almacenamiento y/o desperdicio aprobado por el Organismo, tendido y perfilado del material desperdiciado en el derecho vía, el equipo y herramienta menor que fuera necesario, peaje de casetas y los tiempos de los vehículos de transporte durante las cargas y descargas, y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

E. P. 2. FORMACIÓN DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PÓRTLAND, COMPACTADA AL CIEN POR CIENTO (100%), P.U.O.T.**EJECUCIÓN.**

Se conformará una base estabilizada con cemento portland en el espesor que indique el proyecto promedio de 25 cm, para esta actividad se empleará material producto de la recuperación de la base existente, incorporándole cemento Pórtland tipo CPO en proporción de 6% en peso volumétrico seco suelto.

Se cortará y disgregará el pavimento en el espesor de proyecto con maquina recicladora de pavimentos, eliminando materiales mayores a 2" (5.08 cm) hasta tener una superficie descubierta uniforme; posteriormente, una vez que se haya tendido el cemento Pórtland, con el equipo adecuado y en el porcentaje indicado anteriormente, se dará una segunda pasada con la maquina recuperadora para mezclar en seco el material pétreo y el cemento Pórtland, inmediatamente después se realizara la homogeneización del material con motoconformadora, mezclando los materiales y el agua en la cantidad que indiquen los ensayos del laboratorio del contratista, el tiempo entre la aplicación del agua y la compactación del material no deberá ser mayor de dos horas.

El proceso de recuperación deberá ser eficiente de tal manera que se obtenga una base homogénea, un espesor constante y se conserve el bombeo mínimo del 2.0% en tangente.

La compactación de la capa mejorada deberá realizarse con un rodillo vibratorio tipo pata de cabra hasta el 100% del peso volumétrico seco máximo del material obtenido mediante la prueba de compactación AASHTO modificada (5 capas). Y en apego a la norma N-CTR-CAR-1-04-003-00 inherente a capas estabilizadas de la SCT vigentes. Una vez terminada la jornada de trabajo, se aplicarán dos riegos superficiales con agua limpia, a razón de uno punto cinco litros por metro cuadrado (1.50 l/m²) con un intervalo de ocho horas entre los mismos. No debe permitirse que la superficie de la capa se muestre seca. La carpeta será construida en un lapso no menor de 12 horas ni mayor de 24 horas, por lo que deberá contarse con un tren de equipo para la recuperación e incorporación de cemento Pórtland balanceado en cuanto a su producción.

Deberá efectuarse un tramo de prueba en donde lo ordene el Organismo antes de efectuar la recuperación para ajustar la cantidad del cemento Portland, así como el número de pasadas de los equipos compactadores; además, se definirá la velocidad de recorrido, la amplitud y la frecuencia de oscilación de dichos equipos. En caso de que el tramo de prueba cumpla con las especificaciones técnicas de esta licitación podrá ser considerado como obra terminada, en caso necesario por cuenta del contratista deberá ser tratado nuevamente hasta alcanzar la resistencia a la compresión simple a los siete días de 30 kg/cm² Es conveniente que en la ejecución de este tramo de prueba participen, además de la constructora, la supervisora y CAPUFE.

Durante la recuperación del pavimento se requiere un control riguroso y frecuente de los pesos volumétricos de los materiales extraídos para ir ajustando la dosificación correcta del cemento Portland.

Terminada la construcción de la base se verificará el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado, de acuerdo con lo indicado en este proyecto y según las siguientes tolerancias:

Nivel de la superficie	± 0.5 cm
Espesores de la capa tratada	± 0.5 cm
Profundidad de las depresiones observadas Colocando una regla de 3 (tres) m de longitud, Paralela y transversal al eje	± 0.5 cm máximo

MEDICIÓN.

La base mejorada se medirá tomando como unidad el metro cúbico compacto, según secciones de proyecto, y determinado con el procedimiento de áreas extremas con aproximación a un decimal.

BASE DE PAGO.

El pago por unidad de obra terminada de recuperación del pavimento para formar base estabilizada se hará al precio unitario fijado en el contrato para el metro cúbico compacto; este precio incluye lo que corresponda por: corte, disgregado y homogeneización y compactación del material recuperado al grado especificado, agua para homogeneización y compactación, los cargos por utilización del equipo adicional necesario, herramientas, mano de obra, desperdicios, acarreo, sobre acarreo y los tiempos de los vehículos empleados durante la carga y descarga, así como todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto a satisfacción del Organismo.

E. P. 3. CEMENTO PÓRTLAND ORDINARIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASE, P.U.O.T.**DEFINICIÓN:**

El cemento Pórtland normal es el producto que se obtiene de la pulverización del clinker, el cual esta constituido esencialmente por silicatos de calcio, agua y/o sulfato de calcio reuniendo los requisitos químicos establecidos por la S.C.T

Tabla 28: Características físicas del cemento pórtland tipo CPO (cemento pórtland ordinario).
Fuente: Normativa SCT (N-CMT-2-02-001/02).

Cemento Pórtland		Clinker Pórtland + sulfato de calcio	Componentes principales				Componentes minoritarios
Tipo	Denominación		Puzolanas [1]	Escoria granulada de alto horno	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland ordinario	95 - 100	--	--	--	--	0 - 5
CPC [3]	Cemento Pórtland compuesto	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5

Unidades en % en masa.

[1] Las puzolanas pueden ser naturales, artificiales y cenizas volantes.

[2] Los componentes minoritarios pueden ser uno o más de los componentes principales salvo que estén incluidos ya como tales en el cemento.

[3] El Cemento Pórtland compuesto tendrá dos componentes principales como mínimo, excepto cuando se trate de caliza, la que puede ser el único componente principal.

El contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) en la caliza que se utilice como componente principal del cemento Pórtland compuesto (CPC), determinado mediante cualquier método de análisis convencional será como mínimo de setenta y cinco (75) por ciento en masa.

En cualquier tipo de cemento Pórtland el contenido máximo de trióxido de azufre (SO_3) será tal que no cauce una expansión mayor de cero coma cero dos (0,02) por ciento a los catorce (14) días de inmersión en agua, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en manual m-mmp.2.02.011, expansión potencial por la acción de los sulfatos.

3.1) REQUISITOS FISICOS.**Resistencia a la compresión.**

Las resistencias mecánicas a la compresión inicial y normal determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.004, resistencia a la compresión del cemento, de cualquier tipo del cemento Pórtland serán las indicadas en la tabla 1 de esta norma, según su clase resistente.

Tiempo de fraguado.

Para cualquier tipo de cemento Pórtland y todas las clases resistentes, los tiempos de fraguado inicial y final serán como mínimo de cuarenta y cinco (45) y seiscientos (600) minutos, respectivamente determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.006, tiempo de fraguado del cemento por el método de vicat.

Estabilidad de volumen.

Para cualquier tipo de cemento Pórtland y todas las clases resistentes, la expansión y la contracción será como máximo de cero coma ocho (0,8) por ciento y cero coma dos (0,2) por ciento, respectivamente determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.0.02.009, sanidad del cemento.

Actividad puzolanica.

Para los componentes principales el índice de actividad determinado de acuerdo con procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.10 actividad puzolanica del cemento con cemento Pórtland ordinario CPO 30, a veintiocho días será como mínimo de setenta y cinco (75) por ciento con las adiciones de puzolanas o de escoria granulada de alto horno y de cien (100) por ciento con las adiciones de humo de sílice.

Expansión por ataque de sulfatos.

La expansión por ataque de sulfatos en los cementos Pórtland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial rs (resistencia a los sulfatos) será como máximo de cero coma cinco (0,05) por ciento a seis (6) meses y de cero coma uno (0,1) por ciento a un (1) año determinado de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.012, expansión por ataque de sulfatos.

Expansión por reacción álcali-agregado.

La expansión por reacción álcali-agregado en los cementos Pórtland de a cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial (baja reactividad álcali-agregado) será como máximo de cero coma dos (0,02) por ciento a catorce (14) días y de cero coma seis (0,06) por ciento a veintiocho (28) días, determinado de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.034, reactividad potencial de los agregados mediante barras de mortero.

Calor de hidratación.

El calor de hidratación de los cementos Pórtland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial bch (bajo calor de hidratación) será como máximo de doscientos cincuenta (250) y de doscientos noventa (290) kilojoules por kilogramo, a siete (7) y veintiocho (28) días, respectivamente de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.013, calor de hidratación del cemento.

Blancura.

La blancura de los cementos pórtland de cualquier tipo y clase resistente con la característica especial b (blanco) será como mínimo de setenta (70) por ciento determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual m-mmp.2.02.014 blancura del cemento.

Envase y etiquetado.

Si el cemento Pórtland se provee en sacos, estos mostraran clara e indeleblemente:

El nombre o denominación genérica del producto.

La marca registrada.

La razón social y el domicilio fiscal del fabricante.

El nombre y la ubicación de la planta productora.

La designación normalizada.

El contenido en kilogramos de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-030-scfi.

La tolerancia del contenido neto de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-002-scfi, y la leyenda "hecho en México "

Si el cemento pórtland se provee a granel o en envases de cualquier naturaleza cuyos contenidos pueden variar, en la factura o remisión correspondiente se asentara la información contenida en la fracción de esta norma, indicando la cantidad suministrada en kilogramos o toneladas según convenga.

En su caso y cuando así lo especifique la secretaria el contratista de obra o el proveedor cuando se trate de obras por administración directa, informara por escrito el tipo, composición origen y cantidad de los componentes principales y minoritarios empleados en el cemento Pórtland suministrado.

EJECUCIÓN

La distribución del cemento Pórtland Compuesto se hará por medios mecánicos, mediante los cuales vaciaran el cemento a la tolva dosificadora que formara el tren de avance junto con la recuperadora, con el objeto de agregar el cemento y agua en la caja de recuperación y tender la base estabilizada.

MEDICIÓN

La unidad de medición de obra terminada, será el kilogramo (kg.), para efectos de pago se cuantificarán las cantidades realmente ejecutadas en la obra, de acuerdo al proyecto.

BASE DE PAGO

Se pagará al precio unitario fijado en el contrato para el kilogramo (kg). Este precio unitario incluye: suministro, mano de obra y equipo necesario para la incorporación a la base hidráulica por estabilizar, almacenamiento, cargas y descargas necesarias, acarreo de material a la obra.

E. P. 4. SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE RIEGO DE IMPREGNACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, P.U.O.T.**DEFINICIÓN.**

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base hidráulica del pavimento, con objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica.

Las emulsiones asfálticas ECS 60-90 de rompimiento superestable, deberán cumplir con la calidad que se indica en las normas N.CMT.4.05.001/00 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los materiales que se utilicen en la aplicación de riegos de impregnación, serán del tipo y con las características establecidas en esta especificación.

EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO SUPERESTABLE ECS 60.

De la emulsión.

Contenido de cemento asfáltico en masa (%) en peso	60.0 mínimo.	60
Viscosidad Saybol furol a cada 25°C (seg).		25
Asentamiento a 5 días (% peso).		5
Retenido en malla No. 20 en la prueba del tamiz (% máximo).		0.1
Pasa la malla No. 20 y se retiene en la malla No. 60		
En la prueba del tamiz (% máximo).		0.25
Carga eléctrica de las partículas.		(+)
Disolvente en volumen, %.		---
Índice de ruptura (%).		>120

Del residuo de la destilación.

Viscosidad dinámica a 60°C (pa. s).		50 + - 10
Penetración a 25°C, 100 g y 5 s: (10 ⁻¹ mm).		100-250
Solubilidad en (%).		---
Ductilidad, a 25°C. (cm).		---

El contratista deberá proporcionar datos sobre la planta industrial de emulsiones que le suministre el producto y garantizar su calidad cumpliendo con las especificaciones técnicas indicadas en esta especificación.

No se aceptará el suministro y aplicación de materiales que no cumplan con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por el Organismo, ni aún en el supuesto de que fueren mejorados posteriormente en el lugar de trabajo por el Contratista.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de CAPUFE, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la misma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista.

EJECUCIÓN.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de impregnación, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por el Organismo.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

El riego de impregnación se aplicará con emulsión asfáltica de rompimiento superestable (ECS 60-90) a razón de 1.5 l/m² para riego de impregnación de la base hidráulica.

Las petrolizadoras serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones controladas; estar equipadas con odómetro, medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contar con una bomba y barras de circulación completas, que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

MEDICIÓN.

La unidad de medición para el riego de impregnación será el litro (l); Para efectos de pago se cuantificarán las unidades realmente ejecutadas.

BASE DE PAGO.

El riego de impregnación liga por unidad de obra terminada se pagará al precio fijado en el contrato para el litro (l), este precio unitario incluye lo que corresponda por: suministro operación de calentamiento o recalentamiento dentro de la petrolizadora; precauciones o protección a las estructuras o partes de ella para no mancharlas, aplicación o riego del material asfáltico en la forma que se fije, mermas, desperdicios y los tiempos de la nodriza y de la petrolizadora durante las cargas y las descargas, incluye el barrido de la superficie el retiro del producto del barrido y los fletes por acarreo al lugar de almacenamiento, a la planta y al lugar de utilización y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

E. P. 5. SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, P.U.O.T.**DEFINICIÓN.**

Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima.

MATERIALES.

Las emulsiones asfálticas RR-2K, deberán cumplir con la calidad que se indica en las normas N. CMT. 4.05. 001. De la secretaria de comunicaciones y Transportes.

Los materiales que se utilicen en la aplicación de riegos de liga, serán del tipo y con las características establecidas en esta especificación particular.

EMULSIÓN CATIONICA DE DE ROMPIMIENTO RÁPIDO RR-2K.

De la emulsión.

Contenido de cemento asfáltico en masa (%) en peso	60.0 mínimo.	65
Viscosidad Saybol furol a cada 50°C (seg).		20-100
Asentamiento a 5 días (% máximo).		5
Retenido en malla No. 20 en la prueba del tamiz (% máximo).		0.1
Pasa la malla No. 20 y se retiene en la malla No. 60		
En la prueba del tamiz (% máximo).		0.25
Carga eléctrica de las partículas.		(+)
Disolvente en volumen, %. (máximo)		3
Índice de ruptura (%).		<100

Del residuo de la destilación.

Viscosidad dinámica a 60°C (pa. s).		50 + - 10
Penetración a 25°C, 100 g y 5 s: (10 ⁻¹ mm).		80-100
Solubilidad en (%). (Mínimo)		97.5
Ductilidad, a 25°C. (cm).		40

E. P. 6. CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO COMPACTADA AL NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%), DE SU PESO VOLUMÉTRICO MARSHALL. P.U.O.T.**DEFINICIÓN:**

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

1) MATERIALES

Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, cumplirán con lo establecido en las Normas N·CMT·4·04/02, Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas, N·CMT·4·05·001, Calidad de Materiales Asfálticos, N·CMT·4·05·002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados y N·CMT·4·05·003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe CAPUFE. Los materiales pétreos procederán de los bancos propuestos por el contratista.

La licitante en su propuesta debe incluir un croquis de localización de los bancos de materiales propuesto indicando la distancia de acarreo a la planta de asfalto, así como el Diagrama de Flujo de producción de agregados pétreos

A) Agregados Pétreos.- Se utilizará material pétreo triturado a un tamaño máximo de diecinueve milímetros (19 mm), estos materiales además de cumplir ampliamente con las especificaciones generales que marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y las particulares que aquí se marcan. Debe tener, un noventa por ciento (90 %) de material producto de trituración, y solo se autorizará hasta un máximo del diez por ciento (10 %) de arena procedente de banco.

El material pétreo triturado proveniente del banco propuesto por el contratista debe cumplir con los siguientes requisitos:

Desgaste de los Angeles.	30%.
Adherencia con el asfalto.	Buena.
Absorción.	3% máximo.
Densidad.	2.40 mínimo.

Además el material pétreo de la mezcla de ambos materiales para la fabricación de la carpeta asfáltica debe de cumplir con la granulometría y características que a continuación se define.

Tabla 29. Granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.
Fuente: Normativa SCT. (N-CMT-4-04/02).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo		
Abertura	Designación		mm (in)	
mm			19	
			(3/4)	
Porcentajes que pasa				
25	1"			
19	3/4"		100	
12.5	1/2"		90-100	
9.5	3/8"		76-90	
6.3	1/4"		56-69	
4.75	No. 4		45-59	
2	No. 10		25-35	
0.85	No. 20		15-22	
0.425	No. 40		11-16	
0.25	No. 60		8-13	
0.15	No. 100		5-10	
0.075	No. 200		2-6	

Tabla 30: Calidad del material pétreo.
Fuente: CAPUFE.

Equivalente de arena	50 mínimo
Limite líquido	25 máximo
Indice plástico	inapreciable
Contracción lineal	0.50%
Forma de la partícula (Lajeo y/o Alargamiento)	25% máximo
Partículas trituradas una cara	90% mínimo
Partículas trituradas dos caras	70% mínimo
Material deleznable	0.00%
Permeabilidad	10% máximo

B) Características que deben de presentar el asfalto AC-20.**Tabla31:** Especificaciones del asfalto AC-20.

Fuente: Normativa SCT. (N.CMT.4.05.001/01).

Del cemento asfáltico original:	
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg.)	200 ± 40
Viscosidad cinemática a 135°C (mm ² /seg.)	300 mínimo
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C (seg.)	120 mínimo
Penetración a 25 °C, 100 gr. 5 seg. (10 ⁻¹ mm.)	60 mínimo
Punto de inflamación Cleveland, (°C)	232 mínimo
Solubilidad (%)	99 mínimo
Punto de reblandecimiento (°C)	48 – 56
Prueba de la película delgada:	
Pérdida por calentamiento (%)	0.5 máximo
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg)	800 máximo
Ductilidad a 25°C, 5 cm/mín (cm)	50 mínimo
Penetración retenida a 25°C (%)	54 mínimo

C) Polímero para modificar el asfalto.

Para la modificación del cemento asfáltico que será empleado en la fabricación de la carpeta asfáltica, se utilizará un polímero de tipo I, en la dosificación que defina el contratista para cumplir con las especificaciones solicitadas.

Características que deben de presentar el asfalto modificado con polímeros.**Tabla 32:** Especificaciones del asfalto modificado con polímeros.

Fuente: Normativa SCT. (N.CMT.4.05.002/01).

Del cemento asfáltico modificado:	
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C (seg)	1000 máximo
*Viscosidad rotacional Brookield a 135°C (Pa*seg)	4 máximo
*Penetración a 25°C, 100 grs, 5 seg. (10 ⁻¹ mm.)	40 mínimo
Penetración a 4°C, 200 grs, 60 seg. (10 ⁻¹ mm.)	25 mínimo
Punto de inflación Cleveland (°C)	230 mínimo
*Punto de reblandecimiento (°C)	55 mínimo
Separación diferencia anillo y esfera (°C)	3 máximo
Recuperación elástica por torción a 25°C (%)	30 máximo
Resilencia a 25°C (%)	20 mínimo
Del residuo de la prueba de la película delgada	
Pérdida por calentamiento a 163°C (%)	1 máximo
Ductilidad a 4°C y 5 cm/mín. (cm)	7 mínimo
Penetración retenida 4°C, 200 grs, 60 seg. (%)	65 mínimo
*Recuperación elástica por ductilómetro a 25°C (%)	50 mínimo
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (kPa)	2.2 mínimo
Angulo de fase () [visco-elasticidad] a 76°C (grados)	75 máximo

*Pruebas para control de obra.

D) Características que deben de presentar la carpeta asfáltica.

Se cumplirá con las tolerancias de granulometría especificadas, por lo que en caso de utilizar una planta de producción continua, ésta deberá de contar con tres tolvas en frío para este fin. Se compactará al noventa y cinco por ciento (95%), de su peso volumétrico Marshall. La mezcla deberá cumplir los requisitos siguientes, conforme al método Marshall de pastillas elaboradas con 75 golpes por cara:

Tabla 33: Requisitos de calidad en mezclas asfálticas.
Fuente: CAPUFE.

Estabilidad (Kg.)	900 mínimo
Vacíos (%)	3-5
Flujo (mm)	2-4
VAM (%)	14 mínimo
Tensión Indirecta a 25°C (Kg/cm ²)	± 20% de diseño
Tensión Indirecta a 40°C (Kg/cm ²)	± 20% de diseño
Deformación a la falla a 25°C (%)	1.5 máxima
Deformación a la falla a 40°C (%)	1.5 máxima

E) Equipo.

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

2) PLANTA DE MEZCLADO.

La mezcla asfáltica se elaborará en plantas mezcladoras que cuenten como mínimo con:

Secador con inclinación ajustable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual o mayor que la capacidad de producción de la planta.

Un pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo.

Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres (3) tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla.

Tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.

Dispositivos que permitan dosificar los materiales pétreos por masa, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen. Los dispositivos permitirán un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.

Equipo necesario para calentar el cemento asfáltico en forma controlada, que garantice que éste no se contamine y que esté provisto de un termómetro con rango de veinte (20) a doscientos diez (210) grados Celsius.

Dispositivos que permitan dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla.

Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.

Recolector de polvo.

Dispositivo para agregar finos.

3) PAVIMENTADORAS.

Las pavimentadoras serán autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, como son: un enrasador o aditamento similar, que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal, ser calentado en caso necesario y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones; una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores de niveles, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que afecte las lecturas. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente, la Secretaría, a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el tendido del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el tendido no se podrá reiniciar en tanto que los controles automáticos funcionen adecuadamente.

4) COMPACTADORES.**Compactadores de rodillos metálicos**

Los compactadores de rodillos metálicos serán autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos. Pueden ser de tres (3) rodillos metálicos en dos (2) ejes, o de dos (2) o tres (3) ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de un (1) metro (40”), en todos los casos.

COMPACTADORES NEUMÁTICOS

Los compactadores neumáticos, ya sean remolcados o autopropulsados, tendrán nueve (9) ruedas como mínimo, de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas, dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran, en una pasada, el espacio completo entre las llantas adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro (4) capas e infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de treinta y cuatro coma cinco (34,5) kilopascales (5.lb/in²).

5) BARREDORAS MECÁNICAS.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria con filamentos de material adecuado según la superficie por barrer y podrán ser remolcadas o autopropulsadas.

6) TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas, N·CMT·4·05·001, Calidad de Materiales Asfálticos, N·CMT·4·05·002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados y N·CMT·4·05·003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

7) TENDIDO DE LA MEZCLA.

La carpeta se colocara en dos capas de 5 cm. (Compactos),

Después de elaborada la mezcla asfáltica, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.

Si la mezcla está quemada, no se permitirá su tendido.

El Contratista de Obra determinará, mediante la curva Viscosidad-Temperatura del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.

El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.

En el caso de carpetas de granulometría densa, cuando el tendido se haga en dos (2) o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligarán con cemento asfáltico o con emulsión de fraguado rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras en batería.

En el caso de carpetas de granulometría densa, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a cuarenta y cinco (45) grados antes de iniciar el siguiente tendido, ligando las juntas con cemento asfáltico o con emulsión de fraguado rápido.

En cualquier caso, se tendrá especial cuidado para que el enrasador traslape las juntas de tres (3) a cinco (5) centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida, para que al ser compactado, el pavimento quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

En el caso de carpetas de granulometría densa, de ser necesario, la mezcla se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la Fracción G.8 de esta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. Cuando el tendido se haga por capas, la capa sucesiva no se tenderá hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de setenta (70) grados Celsius en su punto medio.

Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril.

Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla si existe segregación.

Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de mezcla.

La longitud de tendido de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.

En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, el tiempo de almacenamiento de la mezcla no excederá de treinta (30) minutos, por lo que habrá una coordinación adecuada entre la producción, el transporte y la colocación de la carpeta.

8) COMPACTACIÓN.

Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, será compactada, al noventa y cinco por ciento (95%), de su Peso Volumétrico Marshall

En el caso de carpetas de granulometría densa, la capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

La compactación se terminará cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual o mayor que la mínima conveniente para la compactación, que haya determinado el Contratista de Obra conforme a lo indicado en el Inciso G.7.3, de las normas SCT

Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

9) ACABADO.

Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de la carpeta de granulometría densa, se formará un chaflán en las orillas, cuya base será igual que uno coma cinco (1,5) veces el espesor de la carpeta asfáltica, compactándolo con el equipo adecuado. Para ello se utilizará mezcla asfáltica adicional, colocándola inmediatamente después del tendido, o bien directamente con las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

10) EJECUCIÓN.

La carpeta asfáltica de un espesor de 10 cm. se construirá con mezcla asfáltica elaborada en caliente con planta estacionaria. Se utilizará material pétreo triturado a un tamaño máximo de diecinueve milímetros (19 mm.), estos materiales, deben tener, un noventa por ciento (90 %), de material producto de trituración, y solo se autorizará hasta un máximo del diez por ciento (10 %) de arena procedente de banco. Además el material triturado debe de cumplir con la granulometría que se define en la Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa S.C.T.) **N-CMT-4-04/03**

La carpeta asfáltica se colocará en dos capas de 5.0 cm c/u, para un espesor total de 10 cm, una vez aplicado el riego de liga, para cada una de las capas, se utilizará para su tendido una extendedora con equipo de sistema electrónico (sensores), para el control de espesores que garantice una buena distribución y acomodo durante el tendido de la mezcla asfáltica, conservando las pendientes transversales existentes o en su caso corregirlas evitando ondulaciones en la superficie de rodamiento.

11) OBSERVACIONES QUE DEBE CONSIDERAR EL CONTRATISTA.

Para el suministro de la mezcla asfáltica, el participante deberá tomar en cuenta las siguientes alternativas:

Si el Participante cuenta con una planta propia y en operación, deberá acreditar la producción diaria y mensual de su planta que permita cumplir con el programa general de ejecución de los trabajos y que cumple con la calidad de la mezcla asfáltica a producir, para lo cual deberá contar en la planta con un laboratorio, con el equipo necesario para el control de calidad. Además deberá anexar en la propuesta, croquis de localización de la planta asfáltica con distancias al centro de gravedad del área de trabajo y al banco de materiales pétreos.

El contratista deberá tener en la planta de asfaltos un lote de refacciones suficientes que garanticen el funcionamiento continuo de la planta de asfaltos y del equipo de trituración.

Si el contratista propone una planta de asfaltos instalada en la región que no sea de su propiedad deberá presentar en su Propuesta carta compromiso en original del proveedor de la mezcla asfáltica que permita cumplir con el programa general de ejecución de los trabajos y que cumple con la calidad de la mezcla asfáltica a producir. Además deberá anexar en la propuesta, croquis de localización de la planta asfáltica con distancias al centro de gravedad del área de trabajo y al banco de materiales pétreos.

12) BANCOS DE MATERIAL PÉTREO

El organismo no asigna bancos, será la constructora la que proponga los bancos de material pétreo a utilizar, tomando en consideración que debe ser basalto, y deberá cumplir con lo indicado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativas SCT)

1. Queda excluido el uso de bancos de materiales de origen calizo.

De estar en explotación el banco, la constructora deberá demostrar la capacidad instalada, con una producción mínima necesaria para el cumplimiento del plazo de ejecución fijado por el organismo, anexando relación de los equipos de la planta de trituración instalada y carta compromiso del productor de agregados pétreos para el suministro de materiales para esta licitación.

En caso de ser un banco sin explotación, el contratista demostrará la disponibilidad inmediata del equipo de trituración, incluyendo en su propuesta, modelo y capacidad de los equipos de la planta de trituración. En particular en bancos sin explotar la constructora deberá de anexar en su propuesta carta compromiso de autorización de explotación del banco por parte del propietario del banco.

En ambos casos deberá presentar croquis de localización del banco propuesto con respecto al centro de gravedad de la zona donde se ejecutarán los trabajos motivo de esta licitación.

2. Con relación al banco propuesto por el contratista en su propuesta, será responsabilidad de éste, lo siguiente:

Que cumpla con las especificaciones de calidad de roca solicitadas.

Que cuente con la liberación de los terrenos donde se instalará la planta de trituración y donde se almacenarán los materiales pétreos ya procesados.

Que cuente con la capacidad para satisfacer los volúmenes de la obra por ejecutar.

Que cuente con los permisos y autorizaciones necesarios ante las autoridades competentes tales como, de tenencia y/o propiedad de la tierra, Estudio de Impacto Ambiental, Jurídicos o Sociales.

Que en su caso, cuente con el permiso de Uso y Empleo de Explosivos ante la Secretaria de la Defensa Nacional.

Que en su caso, cuente con el permiso de la Comisión Nacional del Agua para la extracción de materiales en zonas federales bajo su jurisdicción.

No será objeto de reclamación ni de solicitud de reprogramación en monto o plazo por parte del contratista hacia el organismo por:

2.1. Cambio de banco.

Si el contratista cambiara de banco, no procederá reclamo alguno de incremento en el precio unitario o precios unitarios que involucre el concepto de explotación de bancos, y sí estará sujeto a decremento en caso de disminución de costos de acarreos al centro de gravedad de la zona donde se ejecutaran los trabajos.

Insuficiencia de volumen del banco para satisfacer las necesidades de la obra.

Conflictos sociales suscitados por la propiedad o tenencia del banco y/o por caminos de acceso, que originen suspensión parcial o definitiva del suministro de materiales pétreos.

Problemas jurídicos, ambientales y/o sociales, motivados por la explotación del banco.

Suspensión de la explotación del banco por falta del Estudio de Impacto Ambiental o incumplimiento a las regulaciones del mismo.

Falta del permiso de Uso y Empleo de Explosivos emitido por la Secretaria de la Defensa Nacional.

Falta del permiso de extracción de materiales emitido por la Comisión Nacional del Agua.

La suspensión del suministro de materiales pétreos por cualquier motivo.

3. Acarreos de materiales.

En los acarreos de los materiales pétreos de los bancos a la planta y de la planta a los sitios de colocación (tiro) se podrán aplicar las tarifas de fleteros de la zona de la obra, que estén vigentes a partir de la fecha de concurso, o utilizar camiones propios de la empresa, en este caso se deberá anexar acuerdo por escrito con la unión de transportistas locales.

El licitante deberá anexar en su **propuesta una carta compromiso en original para la prestación del servicio, con las tarifas actuales de acarreo** de materiales pétreos y mezclas asfálticas expedida por la unión de transportistas local (de la zona de los trabajos) que les proporcionará el servicio **y/o el acuerdo para realizar los acarreo con vehículos de la empresa constructora.**

La suspensión del servicio de acarreo de materiales pétreos o de concreto asfáltico, no será motivo ni justificación para diferir el programa de ejecución de la obra.

Cuando se utilice tarifas de fleteros, las actualizaciones para los acarreo se hará de acuerdo al criterio de incrementos autorizados por la SCT, partiendo de las tarifas de fleteros de la zona, actualizadas a la fecha de apertura del concurso y en la parte proporcional conforme al tiempo transcurrido que le correspondan, ó bien lo que indique el contrato que en todo caso regirá sobre este. En este caso deberá incluir en sus análisis de precios unitarios, los análisis de costos horarios del equipo de transporte.

MEDICIÓN.

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{L \cdot \bar{e} \cdot \bar{a}}{100}$$

Donde:

V = Volumen de la carpeta asfáltica del tramo, (m³)

L = Longitud del tramo, (m)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), obtenido como se indica en el Inciso H.3.6 de esta Norma. La Secretaría medirá y pagará hasta el volumen máximo de la carpeta asfáltica que resulte cuando el espesor promedio sea igual que el de proyecto más un (1) centímetro.

\bar{a} = Promedio aritmético de los anchos de la carpeta asfáltica, obtenidos con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo, (m).

BASE DE PAGO.

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras, incluyen lo que corresponda por:

Desmante y despalme de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.

Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.

Secado del material pétreo; dosificación, calentamiento y mezclado de los materiales

Pétreos.

Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.

Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte y transporte al lugar de

Tendido.

Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.

Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.

La conservación de la carpeta asfáltica hasta que sea recibida por la Secretaría.

Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

E. P. 7. CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 MODIFICADO EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, P.U.O.T.

Se empleará cemento asfáltico AC-20 modificado con polímeros del tipo I para la fabricación de carpeta asfáltica, debiendo cumplir el cemento asfáltico base con las especificaciones. (N.CMT.4.05.001/00).

Tabla 34: Especificaciones del asfalto AC-20.

Fuente: Normativa SCT. (N.CMT.4.05.001/01).

Del cemento asfáltico original:	
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg.)	200 ± 40
Viscosidad cinemática a 135°C (mm ² /seg.)	300 mínimo
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C (seg.)	1 mínimo
Penetración a 25 °C, 100 gr. 5 seg. (10 ⁻¹ mm.)	60 mínimo
Punto de inflamación Cleveland, (°C)	232 mínimo
Solubilidad (%)	99 mínimo
Punto de reblandecimiento (°C)	48 - 56
Prueba de la película delgada:	
Pérdida por calentamiento (%)	0.50 máximo
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg)	800 máximo
Ductilidad a 25°C, 5 cm/mín (cm)	50 mínimo
Penetración retenida a 25°C (%)	54 mínimo

Centro proveedor de productos asfálticos.

El suministro del cemento asfáltico base, podrá hacerse de manera indistinta de cualquiera de las refinerías que produzcan ese tipo de cemento asfáltico, siempre y cuando cumplan con las especificaciones marcadas.

Acarreos de cemento asfáltico

Los acarreos serán considerados dentro del análisis de precio unitario de los materiales asfálticos por unidad de obra terminada. Se aplicará la tarifa que el contratista proponga anexando a su propuesta, comprobación de la vigencia de esas tarifas.

Modificador.

Para la modificación del cemento asfáltico que será empleado en la fabricación de la carpeta asfáltica, se utilizará un polímero de tipo I en la dosificación que defina el contratista para cumplir con las especificaciones solicitadas por la Secretaria.

Considerando que para la elaboración de asfalto modificado sea necesario el empleo de una planta especial, es requisito indispensable que el licitante presente en su propuesta carta compromiso de una planta industrial, donde se comprometa a elaborar el producto y cumplir con las especificaciones indicadas.

Anexar croquis con la localización de la planta.

En el caso de que el participante cuente con planta propia, deberá anexar en la propuesta las características de la misma, croquis de localización y procedimiento de modificación al cemento asfáltico.

MEDICIÓN.

La unidad de medición para el cemento asfáltico modificado con polímero Tipo I, será el kilogramo (Kg.); para efectos de pago se cuantificarán las unidades realmente ejecutadas de acuerdo al proyecto del diseño Marshall tomando en cuenta las tolerancias especificadas, aproximando la cantidad a la unidad. La cantidad de polímero que se deberá incorporar al asfalto AC-20, será propuesta y determinada por el licitante, de manera que se cumpla cabalmente con las especificaciones indicadas anteriormente, con aproximación a una (1) décima.

BASE DE PAGO.

El cemento asfáltico modificado, que se emplee en la elaboración de concreto asfáltico por unidad de obra terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el kilogramo. El precio unitario incluye lo que corresponda por: suministro de todos y cada uno de los materiales, transporte de todos los materiales de los centros productores o distribuidores a la planta que fabricará el asfalto modificado, mezclado del asfalto con el polímero en la proporción determinada por el diseño que cumpla la calidad especificada, almacenaje, limpieza del tanque en que se transporte, arrastres en la planta de producción del material y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento fijado, descarga en este lugar, cargo por calentamiento, acarreo del depósito a la planta mezcladora e incorporación en ésta a los materiales pétreos, todas las operaciones de calentamientos y bombeo requeridas y los tiempos de los vehículos empleados en los transportes durante las cargas y las descargas, mermas y desperdicios, la herramienta y/o equipo de construcción y seguridad necesario para la correcta ejecución del trabajo.

E. P. 8. CARPETA DELGADA ALTAMENTE ADHERIDA, P.U.O.T.**CONTENIDO.**

Esta Especificación Particular contiene las características de calidad que deberán considerarse para la construcción de la Microcarpeta Asfáltica, para que sea parte constitutiva de la sección de pavimento, como capa de desgaste.

DEFINICIÓN.

El Sistema de Sellado y Carpeta Asfáltica tiene dos objetivos principales:

Proporcionar una superficie de rodamiento de la más alta calidad en términos de confort y seguridad para el usuario.

Servir como tratamiento de conservación preventivo, al garantizar una impermeabilización (sellado), total de la carpeta asfáltica inferior protegiendo de una degradación acelerada la totalidad de la estructura de pavimento.

Se colocara una membrana extremadamente homogénea de emulsión y de asfalto modificado con polímero, que es el elemento que garantiza la impermeabilización y la alta adherencia, seguida inmediatamente de una carpeta delgada de concreto asfáltico elaborado en caliente de alto nivel de servicio y durabilidad.

El procedimiento de aplicación deberá asegurar la homogeneidad de la membrana asfáltica polimerizada y una inmediata aplicación del concreto asfáltico, con la finalidad de obtener los beneficios anteriormente descritos y maximizar la durabilidad del tratamiento, ya que de ésta forma se generaría una alta adherencia (Liga), con la capa inferior del pavimento.

La capa de concreto asfáltico deberá tener un espesor mínimo de 20.0 mm para la granulometría Tipo “B”, y diseñarse bajo el concepto de “Alta Fricción Interna” o SMA (Stone Mastic Asphalt).

1) REQUISITOS DE CALIDAD.

El agregado grueso Material pétreo retenido en la malla No. 4, deberá ser de un banco de roca basáltica aprobado por la Dependencia y que típicamente se utilice para superficies de alto desempeño, debiendo cumplir este con las especificaciones que se muestran en la **Tabla 35.**

Los agregados gruesos, tales como grava triturada debe de ser de piedra de basalto.

Tabla 35: Requisitos de calidad para el agregado grueso.
Fuente: CAPUFE.

PRUEBAS		MÉTODO	ESPECIFICACIÓN
Pérdida por Abrasión "Los Angeles"		AASHTO T 96-94	35 % Máx.
Intemperismo	Sulfato de Magnesio o	AASHTO T104-94	18 % Máx.
Acelerado	Sulfato de Sodio		12 % Máx.
Índice de partículas planas y alargadas, @ 3:1		ASTM D 4791	25 % Máx.
Partículas trituradas, una sola cara.		ASTM D 5821	95 % Mín.
Partículas trituradas, dos o mas caras.		ASTM D 5821	85 % Mín.
Pérdida por abrasión " Micro-Deval"		AASHTO TP 58-99	18 % Máx.

Agregado Fino. Material que pasa la malla No 4, constituirá parte del “Stone Asphalt Mastic” y deberán provenir de un banco propuesto por la contratista de origen de roca basáltica y ser aprobado por la dependencia y cumplir con las especificaciones marcadas en la **Tabla 36.**

Tabla 36: Requisitos de calidad para el agregado fino.
Fuente: CAPUFE.

PROPIEDADES DEL AGRAGADO FINO	
PRUEBAS	MÉTODO
Equivalente de arena	AASHTI T 176 - 86
Azul de Metileno (en materiales que pasan la malla No. 200).	AASHTO TP 57 - 99
contenido de Vacíos (en muestra sin compactar).	AASHTO T 304 - 96

Filler (Llenante) Mineral. Podrá ser utilizado como una opción para alcanzar los requerimientos de granulometría.

Cal hidratada, ceniza volante, cemento portland tipo I, polvo de trituración, finos extraídos del “Baghouse” o casa de bolsas de una planta de asfaltos, pueden ser aceptables como filler mineral.

Este filler mineral deberá cumplir con las especificaciones que se muestran a continuación:

100% pasa la malla No. 30

75 – 100% pasa la malla No. 20

No se permitirá el uso de material reciclado como parte constitutiva del concreto asfáltico.

CEMENTO ASFALTICO.

El asfalto modificado con polímero que se utilice en la elaboración del concreto asfáltico, deberá cumplir con las especificaciones Super Pave para un tipo PG70-28 y las mostradas a continuación en la **Tabla 37**.

Tabla 37: Especificaciones para el asfalto modificado con polímero.

Fuente: CAPUFE.

PRUEBAS	MÉTODO	MÍN.	MÁX.
Estabilidad de la Red de Polímero.	AASHTO PP - 5		10%
Separación de Polímero.	Anillo - Bola		2° c.
Recuperación Elástica a 10° C.	ASTM D 6084	65%	

2) DISEÑO DE LA MEZCLA.

El diseño de la mezcla asfáltica lo deberá realizar un laboratorio aprobado por CAPUFE, y tendrá que satisfacer lo que en el presente apartado se especifica y dentro de los límites granulométricos para una mezcla del tipo “B” que se muestra a continuación:

Tabla 38: Granulometría tipo B.

Fuente: CAPUFE.

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS	TIPO B
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	9.5 mm (3/8")
ABERTURA O No. DE MALLA (ASTM).	% Que Pasa
19.00 mm. (3/4")	
15.8 mm (5/8")	
12.7 mm (1/2")	100
9.5 mm(3/8")	85 - 100
No. 4	28 - 38
No. 8	25 - 32
No. 16	15 - 23
No. 30	10 - 18
No. 50	8 - 13
No. 100	6 - 10
No. 200	4 - 7
Contenido de Asfalto en peso (Rango de Referencia)	4.8 - 5.6 %

El espesor de película asfáltica deberá ser de 9 micrones como mínimo cuando se calcula utilizando el Contenido de Asfalto Efectivo considerando el área superficial del agregado. Los factores para la determinación del área superficial serán conforme se especifican en el

Manual del Instituto Americano del Asfalto MS-2 “Métodos para el Diseño de Mezclas para Concreto Asfáltico y otros tipos de Mezclas en Caliente“.

La mezcla deberá presentar un drene máximo de 0.10 % de acuerdo al método de prueba AASHTO T305. La prueba de drene deberá ser corrida con el contenido óptimo de asfalto mas 0.5% y a una temperatura de 3°C. Por arriba de la máxima de mezclado.

El concreto asfáltico deberá presentar un comportamiento de resistencia a esfuerzos de tensión de tal forma de tener una resistencia mínima de 80 % conforme al método de prueba AASHTO T-283. Los especímenes para esta prueba deberán ser de 4.0 pulgadas de diámetro y compactados de acuerdo a AASHTO TP-4 con 100 giros. Un ciclo de congelamiento deberá ser aplicado antes de realizar la prueba. Las temperaturas de mezcla y acomodo deberán ser las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico conforme a la viscosidad rotacional generada.

2.1) CEMENTO ASFALTICO PG70-28 MODIFICADO CON POLIMERO TIPO I, PARA LA ELABORACION DE CARPETA ASFÁLTICA SUPERFICIAL ALTAMENTE ADHERIDA.

Se empleará cemento asfáltico PG70-28 modificado con polímeros del tipo I, para la fabricación de carpeta asfáltica, debiendo cumplir el cemento asfáltico base con las especificaciones. (N.CMT.4.05.001/00).

Tabla 39: Especificaciones del asfalto AC-20.
Fuente: Normativa SCT. (N.CMT.4.05.001/01).

Del cemento asfáltico original:	
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg.)	200 ± 40
Viscosidad cinemática a 135°C (mm ² /seg.)	300 Mínimo
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C (seg.)	120 Mínimo
Penetración a 25 °C, 100 gr 5 seg. (10 ⁻¹ mm.)	60 Mínimo
Punto de inflamación Cleveland, (°C)	232 Mínimo
Solubilidad (%)	99 Mínimo
Punto de reblandecimiento (°C)	48 - 56
Prueba de la película delgada:	
Pérdida por calentamiento (%)	0.50 Máximo
Viscosidad dinámica a 60°C (Pa*seg)	800 Máximo
Ductilidad a 25°C, 5 cm/mín (cm)	50 Mínimo
Penetración retenida a 25°C (%)	54 Mínimo

CENTRO PROVEEDOR DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS.

El suministro del cemento asfáltico base, podrá hacerse de manera indistinta de cualquiera de las refinerías que produzcan ese tipo de cemento asfáltico, siempre y cuando cumplan con las especificaciones marcadas.

ACARREOS DE CEMENTO ASFÁLTICO.

Los acarreos serán considerados dentro del análisis de precio unitario de los materiales asfálticos por unidad de obra terminada. Se aplicará la tarifa que el contratista proponga anexando a esta propuesta comprobación de la vigencia de esas tarifas.

2.2) MEZCLADO DE LOS MODIFICADORES CON EL CEMENTO ASFALTICO.

Para la modificación del cemento asfáltico PG70-28 que será empleado en la fabricación de la carpeta asfáltica, se utilizará un Polímero de Tipo I en la dosificación que defina el contratista para cumplir con las especificaciones solicitadas por CAPUFE.

El mezclado de los modificadores se podrá realizar en una planta industrial, integrando los equipos especiales adecuados para el tipo de modificador que se emplee, a menos que, de acuerdo con las indicaciones del proveedor del modificador no se requiera de dicho equipo.

Tabla 40: Especificaciones del asfalto PG70-28 modificado con polímeros tipo “I”.
Fuente: Normativa SCT. (N.CMT.4.05.002/01).

Pruebas al Asfalto Original	Método	Min.	Max.
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C, Pa.s	AASHTO T316		3
Penetración, 25°C, 100 grs, 5 seg, 10 ⁻¹ mm	AASHTO T49	40	
Punto de Reblandecimiento, °C	AASHTO T53	55	
Separación de Polímero, °C	Anillo – Bola		2
Módulo Reológico de Corte Dinámico, 70°C, kPa	AASHTO T315	1	
Pruebas al Residuo de la Película Delgada (RTFO/TFOT)			
Recuperación Elástica, 10°C, %.	ASTM D6084	65	
Módulo Reológico de Corte Dinámico, 70°C, kPa	AASHTO T315	2.2	
Módulo Reológico de Corte Dinámico, 25°C, kPa	AASHTO T315		5,000
Angulo Fase, 70°C, grados	AASHTO T315		70

2.3) RIEGO DE LIGA PARA CARPETA ASFÁLTICA ALTAMENTE ADHERIDA.

La emulsión a utilizar para garantizar una impermeabilización completa y proporcionar una alta adherencia entre la sección del pavimento y el sistema CASAA, deberá ser de asfalto modificado con polímero Tipo I, y deberá cumplir las especificaciones marcadas a continuación:

Tabla 41: Pruebas en la emulsión.
Fuente: CAPUFE.

Pruebas en la Emulsión.	Método	Min.	Max.
Viscosidad, Saybolt Furol @ 25°C, s	AASHTO T59	20	100
Estabilidad al Almacenaje (Asentamiento a 24 hrs.), %	AASHTO T59		1
Retenido en Malla No 20	AASHTO T59		0.05
Residuo de la Destilación ¹ , %	AASHTO T59	63	
Demulsibilidad, %	AASHTO T59	60	
Pruebas en el residuo de la destilación.			
Penetración @ 25°C	AASHTO T49	60	150
Recuperación Elástica, %	AASHTO T301	60	
¹ Nota: AASHTO T59 con modificaciones para incluir una temperatura máxima de 204°C ± 12°C la cual deberá ser sostenida por un período de			

3) EJECUCION.

Preparación de la superficie.

La preparación óptima de la superficie será determinada por CAPUFE, y/o por la supervisión que designe el organismo, se deberá realizar previamente a la aplicación del sistema CASAA. En caso necesario, la superficie deberá ser previamente renivelada y bachada para garantizar una superficie uniforme.

Aplicación. El riego de liga con Emulsión de Asfalto ECR- 60 Modificado con Polímero sin diluir deberá ser rociada por la barra del equipo a una temperatura entre 49°C a 75°C, o conforme la recomendada por el proveedor del producto asfáltico. El sistema esparcidor deberá trabajar de forma precisa, con monitoreo continuo de dosificación y proveyendo una aplicación uniforme en todo lo ancho del pavimento por colocar.

La dosificación del riego de liga será considerada en el orden de los 0.70 a 1.50 l/m². Los ajustes de campo en dosificación deberán ser determinados basados en las condiciones de la superficie del pavimento existente con el objetivo de lograr una completa impermeabilización. Los ajustes a la dosificación del riego de liga a base de emulsión modificada con polímero, deberán ser aprobados por CAPUFE y se podrá considerar la prueba de permeabilidad como referencia.

4) CONSTRUCCIÓN.

A) Clima. No se permitirá aplicación sobre el pavimento cuya superficie se encuentre mojada. La temperatura de la superficie del pavimento, así como la temperatura ambiental no deberán ser menores a 10°C en el momento de la aplicación. Una superficie humedecida en el pavimento es aceptable para la aplicación si se encuentra libre de agua estancada y si se esperan condiciones ambientales favorables.

B) Equipo. La máquina pavimentadora – terminadora, que proponga el licitante obligatoriamente deberá cumplir con las siguientes características: deberá tener la capacidad de ser autopropulsada, deberá estar especialmente diseñada y construida para aplicar la membrana extremadamente homogénea de emulsión y de asfalto modificado con polímero.

La pavimentadora deberá tener depósito - tolva de recepción y banda transportadora para evitar segregación, tanque de almacenamiento de emulsión asfáltica, sistema medidor por volumen de la emulsión de asfalto modificado con polímero, barra de espreas con sistema de calentamiento (de longitud variable), y placa vibrocompactadora.

Asimismo, este equipo deberá ser capaz de rociar la emulsión del cemento asfáltico modificado con polímero, aplicando la capa de mezcla en caliente y nivelando la superficie en una misma acción y en forma sincronizada.

Este equipo deberá tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente y el riego de emulsión de asfalto modificado con polímero, a una velocidad controlada de 9 a 28 metros lineales / minuto en 3.5 m de ancho; con la garantía de que ninguna rueda u otra parte de la máquina pavimentadora o de cualquier otro elemento externo entre en contacto con el riego de emulsión antes de que la mezcla en caliente de concreto asfáltico sea aplicada. Lo anterior también no podrá estar en función de la habilidad humana durante la operación.

La aplicación se realizará desde el centro de la corona, realizando un ajuste vertical por medio de sus extensiones para alcanzar el perfil deseado en el pavimento.

El concreto asfáltico de mezcla en caliente deberá ser aplicado a una temperatura entre 140 - 165 °C y deberá ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado el riego de liga de Emulsión de Asfalto Modificado con Polímero sobre toda la superficie de aplicación.

C) Acomodo. (Compactación). Consiste en un mínimo de dos pasadas con un rodillo de tambor metálico liso con un peso mínimo de 10 ton, antes de que la temperatura del material baje a más de 100°C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

El acomodo deberá desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, mediante la utilización de un compactador que se encuentre en buen estado y en buenas condiciones de operación, el cual deberá estar equipado con un sistema de rocío por agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación deberá operarse en el modo estático, ya que una excesiva vibración podría causar la disgregación del material o un deficiente perfil.

La capa asfáltica de rodamiento no deberá ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85°C.

5) CONTROL DE CALIDAD.

Lotes y sub-lotes. Un lote estará conformado por 1,300 Ton. Estos lotes podrán ser divididos a su vez en sub-lotes siempre y cuando no excedan las 350 Ton.

Los **sub-lotes** podrán ser incorporados a la producción del día siguiente para integrar un nuevo y completo lote, siempre y cuando la infraestructura de la planta permita que la mezcla asfáltica no presente segregación ni pérdida de temperatura.

Control de Calidad. Las siguientes medidas deberán ser consideradas por el contratista para mantener la uniformidad y control de calidad.

El contratista será el responsable de obtener las muestras para el aseguramiento y control de calidad. Previamente a la producción, CAPUFE determinará el método utilizado por el Contratista para la obtención de las muestras representativas; asimismo, el Contratista será el responsable de la operación del equipo y de su correspondiente calibración. La dosificación de la Membrana de Emulsión deberá ser verificada, dividiendo el volumen aplicado entre el área total aplicada.

Un mínimo de tres muestras por lote deberán ser analizadas para verificar contenido asfáltico y granulometría antes de continuar con la producción del siguiente lote. Si el promedio de los resultados obtenidos en estas tres muestras sufren una desviación importante contra lo propuesto en el diseño, excediendo las tolerancias establecidas en los Límites de Tolerancias para Control de Calidad, la producción deberá ser detenida. El contratista deberá identificar la causa y documentar en detalle que acción correctiva se tomará.

El Diseño de la Mezcla ya aprobado por CAPUFE solo podrá ajustarse si en la revisión del diseño, los requerimientos de la obra coinciden con los especificados en el proyecto. La primera muestra tomada después de que la planta de mezcla en caliente inicie sus actividades deberá ser tomada entre la carga tercera y quinta de la producción.

La primera muestra de la mezcla asfáltica deberá ser tomada directamente de la planta de mezcla en caliente, ya sea desde la banda transportadora o tomada del camión de transporte antes de salir de la planta.

Para verificaciones de campo, los límites generales de diseño mostrados y los Límites Granulométricos podrán ser utilizados cuando el Diseño de la Mezcla se encuentra dentro de las tolerancias establecidas en la siguiente **Tabla 42.**

Tabla 42: Límites de Tolerancia para Control de Calidad.
Fuente: CAPUFE.

Tamaño Máximo Nominal en función del Tipo de Mezcla	No. 4 Tipo A	9.5 mm (3/8") Tipo B	12.7 mm (1/2") Tipo C
Abertura o No. de Malla (ASTM)	-	Tolerancia %	Tolerancia, %
19.0 mm (3/4")	-	-	-
12.7 mm (1/2")	-	-	±5
9.5 mm (3/8")	-	±5	-
No. 4	±5	±4	±4
No. 8	±4	-	±4
No. 16	±4	-	-
No. 200	±2.0	±2.0	±2.0
Contenido de Asfalto, %	±0.5	±0.5	±0.5

Todas las pruebas de calidad de los materiales pétreos y asfálticos, deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la Dependencia.

6) ACEPTACIÓN DE LA MEZCLA.

El Contratista será la responsable del aseguramiento y control de calidad, y CAPUFE en forma directa o a través de una empresa Supervisora realizará la verificación de calidad, por medio de muestreos y ensaye de materiales.

Las pruebas de verificación de calidad de la mezcla asfáltica serán realizadas en un laboratorio de campo, debiendo completarse en un tiempo razonable. Los procedimientos, tanto de muestreo como los de ensaye, deberán ser los mismos que los utilizados por la empresa Contratista.

Un mínimo de tres muestras por lote de mezcla deberán ser ensayadas para determinar contenido de asfalto y granulometría antes de producir el siguiente lote.

La aceptación de la mezcla para la carpeta, de acuerdo a su contenido asfáltico y a su granulometría para cada lote, podrá ser determinada por CAPUFE de acuerdo al método de muestreo que sea indicado por la misma.

CAPUFE podrá seleccionar aleatoriamente la ubicación de donde se extraerá la muestra en cada sub-lote de mezcla. Los resultados obtenidos en los sub-lotes, de cada lote deberán ser promediados y deberán estar dentro de los límites de tolerancia del Diseño de la Mezcla.

Si a juicio de CAPUFE es necesario remover las partes defectuosas, el Contratista deberá removerlas y reemplazarlas corriendo a cargo del Contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en esta especificación particular.

MEDICIÓN.

La aplicación de la microcarpeta para el tratamiento de la superficie de rodamiento deberá ser medida por el número de metros cuadrados (m^2), aplicados sobre la superficie del pavimento, cumpliendo con los requerimientos establecidos en la presente especificación particular.

BASE DE PAGO.

La microcarpeta asfáltica elaborada en planta en caliente, por unidad de obra terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado (m^2), de microcarpeta asfáltica acomodada (compactada). El precio unitario incluye lo que corresponde por: producción de materiales pétreos, desmonte y despilme del banco; extracción del material aprovechable y del desperdicio, cualquiera que sea la clasificación; proceso de explotación del banco; carga, acarreo y alimentación a la planta de trituración; proceso de trituración y clasificación; manejo de los desperdicios del proceso; separación en tamaños de los materiales según el proyecto; Carga y acarreos para la formación de almacenes, cemento asfáltico PG70-28 modificado con polímero tipo I, suministro y aplicación de riego de liga a base emulsión ECR-60 modificada con polímero tipo I, puestos en la obra; Carga, acarreo y alimentación de los materiales pétreos de la planta de trituración a la planta de asfalto; secado del material pétreo; mezclado de los materiales pétreos con cemento asfáltico; Carga y acarreo de mezcla asfáltica de la planta de asfaltos al sitio de colocación, Tendido y Compactación; Chaflanes en las orillas de la carpeta y acabado con rodillo liso; Carga, acarreo y acomodo del material excedente de mezcla asfáltica fuera del derecho de vía, el cual se depositará en los sitios previamente determinados por el Organismo, mermas y desperdicios, mano de obra, maquinaria, equipo y herramientas así como todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

II. ESTRUCTURAS Y OBRAS DE DRENAJE.**E. P. 9. RECUBRIMIENTO DE CUNETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO SIMPLE
F'C=150 KG/CM², P.U.O.T.****DEFINICIÓN**

El zampeado se realizara en las cunetas adyacentes a los hombros de la corona del camino, en uno o en ambos lados, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del pavimento, de los taludes de los cortes, o del terreno contiguo, conduciéndola a un sitio donde no haga daño a la carretera o a terceros.

EJECUCION.

Las cunetas se reconstruirán a base de concreto hidráulico $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ de 10 cm, de espesor en los lugares donde se encuentre dañada la cuneta, indicados por CAPUFE, retirando el concreto dañado, al banco de desperdicio, atendiendo a lo estipulado en la norma CTR-CAR-03-003/00.

A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe CAPUFE, la cuneta de concreto hidráulico se reconstruirá con juntas frías a cada dos metros de longitud, mediante el colado de las losas en forma alternada, afinando y compactando el terreno donde se colocará el concreto. (Norma N-CTR-CAR-1-03-003/00) inciso G.3.4.

A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe CAPUFE, la sección transversal de la cuneta, será la misma de las existentes. (Norma N-CTR-CAR-1-03-003/00) INCISO G.2.2.

MEDICION.

El zampeado de concreto en cunetas se medirá tomando como unidad de medida el metro cúbico (m³), con aproximación a un decimal.

BASE DE PAGO.

El pago por unidad de obra terminada, se hará al precio fijado en el contrato, para la unidad de medida por metro cúbico (m³).de concreto hidráulico.

Para la integración del precio unitario deberá considerarse la demolición del concreto hidráulico y el retiro del material a los bancos de desperdicio indicados por CAPUFE a una distancia de un (1) kilómetro, la carga y descarga de los materiales necesarios para la construcción de la cuneta, los tiempos de los vehículos empleados en los transportes para la carga y descarga de los materiales, trazo y nivelación, affine, cimbra, elaboración y vaciado del concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ rematando los bordes de las juntas frías con volteador de 7 cm, descimbrado y curado y todo lo necesario para su correcta ejecución (P.U.O.T).

E. P. 10. CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS DE CONCRETO HIDRÁULICO, (P.U.O.T).**DEFINICIÓN.**

Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en los lavaderos, para evitar erosión a los taludes de los terraplenes que estén conformados por material erosionable. Los bordillos pueden ser de concreto hidráulico, concreto asfáltico o de suelo-cemento. En todos los casos se considerarán obras provisionales en tanto el talud se vegete y se proteja por sí mismo o sea protegido mediante otro procedimiento, y/o momento en que deben ser removidos y retirados.

MATERIALES.

El concreto que se utilice en la construcción de bordillos, cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables del Título 02. Materiales para Concreto Hidráulico, de la Parte 2. Materiales para Estructuras, del Libro CMT. Características de los Materiales, así como en las Normas N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas, N·CMT·4·05·001, Calidad de Materiales Asfálticos y N·CMT·4·05·003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.

No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción anterior, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1 de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

EQUIPO.

El equipo que se utilice para la construcción de bordillos, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas aplicables del Título 02. Materiales para Concreto Hidráulico, de la Parte 2. Materiales para Estructuras, del Libro CMT. Características de los Materiales, así como en las Normas N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas, N·CMT·4·05·001, Calidad de Materiales Asfálticos y N·CMT·4·05·003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

EJECUCIÓN.**CONSIDERACIONES GENERALES.**

Para la construcción de bordillos se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras.

LOCALIZACIÓN.

Los bordillos sólo se construirán en los terraplenes mayores de uno coma cinco (1,5) metros de altura, conforme las dimensiones y características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

Los bordillos se ubicarán longitudinalmente en ambos lados en los terraplenes que se encuentren en tangente, sólo en el acotamiento interno de los terraplenes en curva horizontal y en la zona de terraplén de las secciones de corte en balcón. Se colocarán en el lado exterior del acotamiento y a una distancia de veinte (20) centímetros del hombro del camino. No se construirán bordillos y lavaderos en tramos de carretera sin pendiente longitudinal.

En los tramos en tangente se dejará un espacio libre para la descarga del escurrimiento hacia los lavaderos ubicados a una distancia de entre cincuenta (50) y cien (100) metros, a menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.

COLOCACIÓN.

A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, los bordillos tendrán forma trapezoidal con base inferior de dieciséis (16) centímetros, base superior de ocho (8) centímetros y altura de doce (12) centímetros. Los bordillos se colocarán considerando para cada tipo, lo siguiente:

BORDILLOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

El concreto hidráulico será de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$, y se construirán colocando los moldes sobre la superficie del pavimento, previamente preparada con la colocación de una varilla longitudinal de $3/8''$ de diámetro anclada mediante varillas corrugadas de $3/8''$ de diámetro y 20 Cm de longitud incadas al terreno 10 cm a cada metro de distancia, considerando lo indicado en la Norma N·CTR·CAR·1·02·003, Concreto Hidráulico.

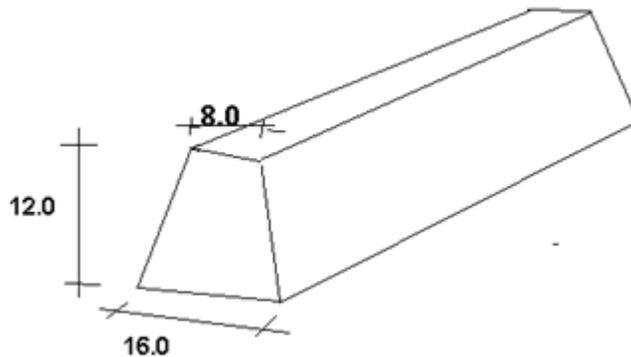


Figura 53: Sección tipo de bordillo de concreto hidráulico.

Fuente: Capufe.

MEDICIÓN.

Cuando la construcción de bordillos se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro de bordillo terminado, según su tipo, con aproximación a un décimo (0,1).

BASE DE PAGO.

Cuando la construcción de bordillos con concreto $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro de bordillo terminado, Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras, incluyen lo que corresponda por:

Adquisición o fabricación del concreto hidráulico, equipo, acero de refuerzo y demás materiales necesarios para la construcción del bordillo. Carga, transporte y descarga de todos los materiales hasta el sitio de su utilización, y cargo por almacenamiento.

Cimbrado.

Colocación y acomodo del concreto hidráulico y curado,

Colocación de las varillas de anclaje.

Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.

Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

E. P. 11. LAVADEROS DE CONCRETO HIDRÁULICO DE F'C= 150 KG/CM², P.U.O.T.**DEFINICIÓN.**

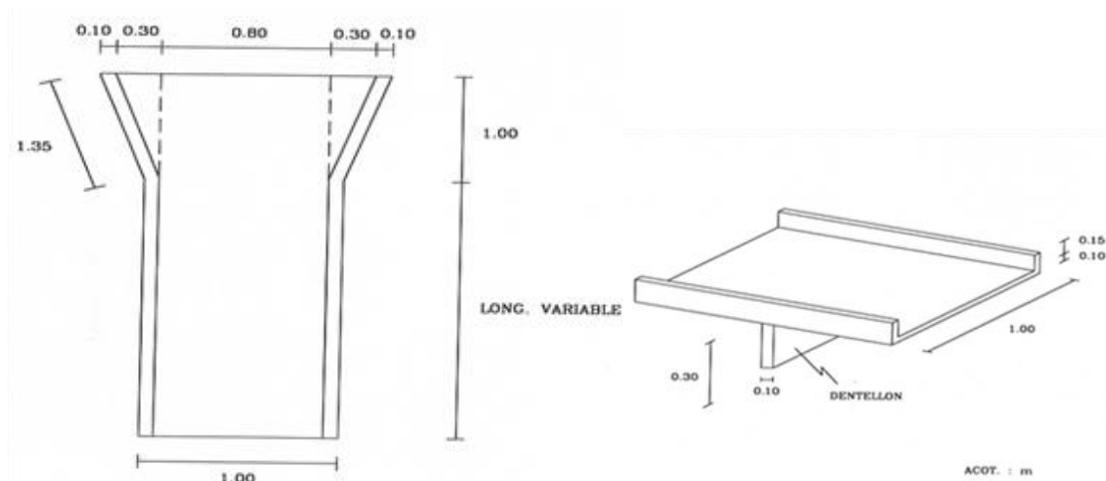
Son los elementos de conducción de los escurrimientos superficiales en la corona de la carretera, que son vertidos en las salidas de las guarniciones y bordillos, y que se ubican sobre los taludes para evitar su erosión.

EJECUCIÓN.

Los lavaderos se construirán con concreto hidráulico simple, colados en el lugar, de resistencia a la compresión (f'c) de ciento cincuenta (150) kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), con la forma y dimensiones indicadas en el proyecto. Estos elementos se fijarán al talud del terraplén mediante dentellones de concreto de treinta (30) centímetros de profundidad, para garantizar su anclaje y evitar su deslizamiento. La descarga de los lavaderos deberá llevarse hasta terreno firme, después del pie del talud y estar provista de un dentellón, también de concreto, hasta la profundidad indicada en el proyecto y/o lo indicado por el ORGANISMO.

MEDICIÓN.- Los lavaderos de concreto hidráulico, por unidad de obra terminada, se medirán tomando como unidad el metro lineal (m).

BASE DE PAGO.- Los lavaderos de concreto hidráulico, colados en el lugar, se pagarán al precio fijado en el contrato para el metro lineal (m). Este precio unitario incluye lo que corresponda por: excavaciones; rellenos; valor de concreto hidráulico, que a su vez incluye: permisos de explotación de bancos; extracción o adquisición de los agregados fino y grueso y agua; los acarreo que sean necesarios; trituración y/o cribado y/o lavado de los agregados pétreos; adquisición y transporte del cemento y de todos los aditivos que se requieran, al lugar de la obra; cargas, descargas, almacenamientos y movimientos en la obra de todos los materiales; parte proporcional del costo de la madera, herrajes y/o acero y otros materiales para los moldes; transporte de estos materiales a la obra; fabricación, aceitado y colocación de los moldes, cualquiera que sea su altura; elaboración del concreto; transporte de la revoltura; agua para el humedecimiento de los moldes; colado a cualquier altura; acomodo y compactación de la revoltura; mermas y desperdicios; preparación de las juntas de construcción; curado, incluyendo agua y/o los materiales; descimbrado y remoción de la cimbra; acabados, limpieza de la obra; los tiempos de los vehículos empleados en los transportes durante las cargas y descargas y, en general, todo lo necesario para la ejecución de estos elementos a satisfacción del Organismo. Demolición de los lavaderos en mal estado, incluye los tiempos de utilización de la mano de obra, los equipos y vehículos necesarios para la demolición, carga, retiro y descarga hasta el banco de tiro propuesto por el Organismo.



Nota: los lavaderos se construirán en módulos de 2.0 m máximo con sus juntas de construcción respectivas. Concreto hidráulico de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 54: Sección tipo de lavadero de concreto hidráulico.

Fuente: CAPUFE.

III. SEÑALAMIENTO.

E. P. 12. APLICACIÓN DE PINTURA EN RAYAS CANALIZADORAS, P.U.O.T.

Aplicación de pintura blanca y/o amarilla en rayas continuas y/o discontinuas, P.U.O.T.

DEFINICIÓN.

Es el conjunto de marcas en pavimento que tienen por objeto delinear las características geométricas del camino, con el fin de regular y canalizar el tránsito de vehículos.

MATERIALES

Los materiales que se utilicen en la aplicación o colocación de las marcas en el pavimento, cumplirán con lo establecido en las Normas N·CMT·5·01·001, Pinturas para Señalamiento Horizontal, así como en las demás Normas aplicables del Libro CMT. Características de los Materiales, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.

No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción anterior, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1 de esta Norma SCT, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

CARACTERÍSTICAS DE LA PINTURA DE TRÁFICO.

Las pinturas para marcas sobre pavimento tendrán el color que fije el proyecto o el organismo. El pigmento deberá ser de origen inorgánico; el vehículo será a base de resina alquídica modificada con hule clorado y el disolvente de origen orgánico.

La pintura para marca sobre pavimento podrá utilizarse en las siguientes formas:

Con la adición de esferas de vidrio, cuyas características se indican en la cláusula (012-D).

El lote de pintura suministrado para marcas sobre pavimento deberá ser idéntico en su composición y comportamiento a la muestra presentada, ya ensayada y aprobada previamente

La pintura para señalamiento horizontal será proporcionada por CAPUFE.

LA MICROESFERA DEBE DE CUMPLIR CON:

Las características de calidad de las esferas de vidrio reflejantes, serán las siguientes: apariencia, esfericidad, granulometría, resistencia a agentes químicos, índice de refracción, resistencia a la humedad superficial y contenido de sílice.

Por lo que se refiere a la apariencia, las esferas de vidrio reflejantes, deberán ser incoloras, limpias y transparentes, estar exenta de manchas de aspecto lechoso y de burbujas de aire en exceso.

Por lo que se refiere a la esfericidad, resistencia a agentes químicos, índices de refracción, resistencia a la humedad superficial y contenido de sílice, las esferas de vidrio deberán cumplir con los requisitos que se indican en la tabla requisitos de esferas de vidrio.

Por lo que se refiere a granulometría, las esferas de vidrio reflejantes para marcas sobre pavimento en carreteras y aeropistas y para señales de tránsito, deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla requisitos de granulometría.

Son las características que deben reunir las esferas de vidrio que se adicionan a la pintura para el señalamiento horizontal del pavimento para impartirle mayor visibilidad por reflexión.

Tabla 43: Requisitos de esferas de vidrio.

Fuente: CAPUFE.

CONTENIDO	ESPECIFICACIÓN
Esfericidad, en %	70 mínimo
Resistencia a agentes químicos	Debe pasar
Índice de refracción	1.50 a 1.60
Resistencia a la humedad superficial	Debe pasar
Contenido de Sílice, en %	60 mínimo

Tabla 44: Requisitos de granulometría de las esferas de vidrio ^[1].

Fuente: CAPUFE.

MALLA		DENOMINACIÓN % QUE PASA	
ABERTURA mm	DESIGNACIÓN	TIPO I	TIPO II
		PARA PINTURAS BASE SOLVENTE Y BASE AGUA	PARA PINTURAS BASE AGUA Y TERMOPLÁSTICAS
0.85	No. 20	100	-
0.6	No. 30	79 - 95	100
0.425	No. 40	30 - 60	100 - 90
0.3	No. 50	10 - 25	75 - 50
0.18	No. 80	0 - 5	5 - 0
0.15	No. 100	0	0

1] De acuerdo con el método de prueba indicado en la Cláusula 122-35 de las *Especificaciones Generales de Construcción*, Parte Novena, Libro Cuarto, de la extinta Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

La cantidad de esfera de vidrio reflejantes que debe tener la película de pintura se indica en la siguiente **Tabla 45**.

Tabla 45: Cantidad de esferas de vidrio.

Fuente: CAPUFE.

Tipo de pintura	Espesor de la película de pintura en húmedo (mm)	Cantidad de esferas kg/cm ²		Tipo de granulometría
		Integradas	Sembradas, mínimo	
Base solvente	0.38 a 0.50	-	0.33	I
Base agua	0.38 a 0.50	-	0.33	I Ó II
Termoplástica	1.50 a 3.00	0.57 a 0.69	0.33	II

Las esferas de vidrio reflejantes deberán almacenarse de tal manera que no se altere su calidad por contaminación y puedan inspeccionarse fácilmente.

El muestreo de las esferas de vidrio reflejantes y la determinación de la apariencia, esfericidad, granulometría, resistencia a agentes químicos, índice de refracción, resistencia a la humedad superficial, contenido de sílice y cantidad de esferas en la película de pintura, deberán efectuarse de acuerdo con los métodos indicados en el Capítulo (01.04.013), del libro 6 de las normas S.C.T.

La microsfera será proporcionada por el contratista.

EQUIPO.

El equipo que se utilice para la aplicación de pintura para señalamiento de tráfico, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

EQUIPO AUTOPROPULSADO PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA CONVENCIONAL.

Maquina pintarrayas autopropulsada, con dispositivos que permitan ajustar la cantidad de pintura y el ancho de película que se aplique, con mecanismos que regulen automáticamente la intermitencia de rayas y la dosificación de microesfera retroreflejante.

BARREDORAS MECÁNICAS.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria con filamentos de material adecuado según la superficie por barrer y podrán ser remolcadas o autopropulsadas.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en la Norma N-CMT-5-01-001, Pinturas para Señalamiento Horizontal. Se sujetarán en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

La pintura será entregada por CAPUFE al contratista, en el campamento de conservación "Compostela" ubicado en el Km 24+850 lado izquierdo del Camino Directo Chapalilla – Compostela, en el Estado de Nayarit.

EJECUCIÓN.

La aplicación de pintura de tráfico para raya discontinua y continua se ejecutara de acuerdo a lo siguiente:

- Ancho de la raya: 15 cm, rendimiento 57 l / km de raya efectiva
- Tipo de pintura: Pintura de tráfico base solvente (suministrada por CAPUFE)
- Microesfera 700 (setecientos) gramos por cada litro de pintura (**adquirida por el contratista**)

MEDICIÓN.

Cuando la aplicación o colocación de marcas se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, de la siguiente manera:

Las rayas se medirán tomando como unidad el metro de raya efectiva, con aproximación a una décima (0,1).

BASE DE PAGO

Cuando la aplicación o colocación de marcas se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato, para el metro de raya efectiva, estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N·LEG·3, Ejecución de Obras, incluyen lo que corresponda por:

Valor de adquisición de las microesfera retroreflejante, así como carga y descarga de todos ellos hasta el sitio de su aplicación o colocación, y cargo por almacenamiento.

Limpieza de la superficie donde se aplicarán o colocarán las marcas.

Ubicación y premarcado o delineado de las marcas.

Aplicación o colocación de las marcas.

Incorporación de la microesfera retroreflejante.

Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.

Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

E. P. 13. VIALETAS.

Bidireccionales.- Con reflejante en 2 caras Blanco en el sentido del tránsito y amarillo en el contrasentido, P.U.O.T.

Unidireccionales.- Con reflejante en 1 cara Rojo, blanco y/o amarilla, P.U.O.T

DEFINICIÓN.

Son dispositivos que tienen un elemento reflejante en una o en ambas caras, dispuestos de tal forma que al incidir en ellos la luz proveniente de los faros de los vehículos se refleje hacia los ojos del conductor en forma de un haz luminoso. Los lados de las vialetas deben tener las dimensiones adecuadas para que la superficie de cada cara reflejante tenga como mínimo veinte (20) centímetros cuadrados. **N-PRY-CAR-10-01-002/99.**

MATERIALES.

Según su utilización, los reflejantes en las vialetas, pueden ser de color blanco, amarillo o rojo.

El material reflejante de la vialeta deberá ser de cristal con un área mínima de 20 cm²

Las vialetas que se colocan sobre el pavimento, deben ser de sección trapezoidal en ambos sentidos, de base cuadrada o rectangular, con una superficie de contacto del orden de cien (100) centímetros cuadrados, deben tener textura lisa, sin protuberancias en las aristas y no deben sobresalir más de dos (2.0) centímetros del nivel del pavimento.

El color del cuerpo de las vialetas colocadas sobre el pavimento debe ser igual al del reflejante que se coloque en el sentido de aproximación al tránsito.

El licitante deberá presentar en papel membretado de su empresa firmado por el representante legal la siguiente información.

Material de fabricación.

Dimensiones (presentar figura)

Tipo y características del reflejante

.-Método de reflectividad

.-Medida de reflectividad

Características físicas de la vialeta

.-Dureza

.-Resistencia al impacto

.-Resistencia a la abrasión

Método de fijación.

Características de los pegamentos a utilizar del tipo epoxico, indicando la forma de presentación de los productos, forma de utilización, vida útil y equipos necesarios para su instalación.

DATOS TÉCNICOS.

Las vialetas propuesta por el contratista deberán cumplir con las siguientes especificaciones de resistencia a la compresión, retroreflectividad y luminosidad.

Tabla 46: Resistencia a la compresión.
Fuente: CAPUFE.

PRUEBA	RESISTENCIA
Carga de 10 ton	Sin cambio
Carga de 25 ton.	Fracturas en dos aristas máximo
Resistencia a la tensión	340 kg/cm2 mínimo
Alargamiento	11.0 máximo
Dureza shore “ a ”	75 puntos mínimo
Cambio dimensional %	0
Resistencia al impacto	30 kg-m (sufre deformación)

Tabla 47: Retroreflectividad.

Fuente: CAPUFE.

PRUEBA	RESULTADO
Caso I = 0.2° bh = 0°	(simulación 180 m entre vehículo y reflector)
Caso II = 1.5° bv = 3.5°	(simulación 25 m entre vehículo y reflector)

El material de protección del reflejante de la vialeta deberá ser de cristal, o en su caso el reflejante de esferas de cristal o en su caso con protección contra el rayado o desgaste prematuro que cumpla con lo mínimo establecido en milicandela/ lux.

Tabla 48: Requisitos mínimos MCD/LX (Milicandela/ lux).
Fuente: CAPUFE.

Caso I	109	73	-0.67%
Caso II	37	22	(0.60%)

El licitante deberá presentar tres muestras de vialetas, la muestra deberá marcarse en bajo o alto relieve, indicando la marca del fabricante, y 1.00 (un) kilogramo de pegamento epoxico propuesto, indicando la marca.

Cada licitante debe proporcionar certificado de calidad de las vialetas avaladas por laboratorio de calidad acreditado, indicando las pruebas y resultados obtenidos en el ensaye.

Será motivo de desechamiento en la propuesta técnica, el que el proponente no presente las muestras solicitadas, vialetas y pegamento, así como el certificado de calidad de las vialetas.

EJECUCIÓN.

Se colocaran sobre la superficie de rodamiento con el fin de incrementar la visibilidad de las marcas durante la noche y en condiciones de climas adversas.

Las vialetas de una cara color blanca o amarilla de 10 x 10 x 1.9 cm utilizando resina epoxica para su colocación sobre el pavimento. Para las tres líneas tanto central como laterales, se colocaran a cada 15 metros en curva o 30 metros en tangentes o lo marque el proyecto o indique el Organismo.

Será responsabilidad del contratista la reposición de las vialetas que presenten deformaciones, pierdan sus características de retroreflectividad o se desprendan del pavimento, mientras tanto no sean recibidas por el Organismo.

MEDICIÓN.

La unidad de medición será por pieza (pza.) para efecto de pago, se cuantificarán las unidades realmente suministradas y colocadas en obra.

BASE DE PAGO.

El pago será por unidad de obra terminada y se hará al precio fijado en el contrato por pieza (pza.), este precio unitario incluye: trazo, marcado en el pavimento, suministro de materiales, colocación, peaje, acarreo, almacenamiento, mermas y desperdicios, limpieza, equipo para la carga; los tiempos de los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas, los acarreos internos y externos para el retiro del material producto de la limpieza, sobrantes y/o desperdicios y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

E. P. 14. OBRAS Y DISPOSITIVOS DIVERSOS: INDICADORES DE ALINEAMIENTO: OD - 6 DE 13 CM DE DIÁMETRO Y 100 CM DE ALTURA, P.U.O.T.

Son señales bajas que se usan para delinear la orilla de una carretera o autopista, en cambios del alineamiento horizontal, para marcar estrechamientos de la corona y para señalar los extremos de muros de cabeza de alcantarillas.

Los indicadores de alineamiento son postes que delimitan la orilla exterior de los acotamientos, sobresaliendo setenta y cinco (75) centímetros respecto al hombro de la vialidad, y que tienen un elemento reflejante en su parte superior, dispuesto de tal forma que al incidir en él la luz proveniente de los faros de los vehículos, se refleja hacia los ojos del conductor en forma de un haz luminoso.

Los postes deben de ser de concreto hidráulico.

TAMAÑO.

Los postes que se utilicen para los indicadores de alineamiento, deben tener una longitud mínima de un (1) metro, con el propósito de que al ser hincados en el hombro de la carretera o autopista, sobresalgan setenta y cinco (75) centímetros.

Los postes de concreto, deben tener sección circular de trece (13) centímetros de diámetro, con su punta superior semiesférica de seis coma cinco (6,5) centímetros de diámetro, como se muestra en la Figura 5.7 del Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras. El elemento reflejante debe ser de siete coma cinco (7,5) centímetros de altura y estar colocado a diez (10) centímetros del extremo superior del poste, en el semiperímetro del lado que sea visible por el tránsito que se aproxima.

UBICACIÓN.

Los indicadores de alineamiento se deben colocar de manera que su orilla interior coincida con el hombro de la carretera o autopista, en los siguientes sitios:

En el lado exterior de las curvas horizontales, desde el principio de la transición de entrada hasta el final de la transición de salida, con una separación entre postes que depende del grado de curvatura, como se establece en las Figuras 5.7 y 5.8 del Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras.

En ambos lados de los tramos en tangente, a cada cuarenta (40) metros

En ambos lados cuando se utilicen para marcar estrechamientos de la carretera o autopista, a cada cinco (5) metros, en un tramo de cincuenta (50) metros antes y después del estrechamiento.

En ambos lados de la carretera o autopista para señalar los extremos de muros de cabeza de alcantarillas, en los lugares que definan las proyecciones horizontales de los sitios donde principie y termine el muro correspondiente.

Los indicadores de alineamiento no se deben colocar en los sitios donde existan defensas laterales.

COLOR.

Los postes para los indicadores de alineamiento, en los sesenta (60) centímetros superiores deben ser color blanco mate que cumpla con el patrón autorizado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría o acabado galvanizado y negro en los quince (15) centímetros inferiores del tramo que sobresalga del hombro de la vialidad.

Cuando los indicadores de alineamiento se coloquen del lado derecho del tránsito, el elemento reflejante debe ser color blanco. En carreteras y autopistas de cuatro o más carriles en cuerpos separados, los indicadores de alineamiento que se coloquen en el lado izquierdo del tránsito, deben tener el elemento reflejante de color amarillo.

Los colores blanco y amarillo de los elementos reflejantes, deben estar dentro del área correspondiente definida por las coordenadas cromáticas presentadas en la Tabla 2 al final de esta Norma.

EJECUCIÓN:

Material: Concreto hidráulico $f'c=150$ KG/CM² armado con acero de refuerzo armex (3 varillas de ¼”).

Reflejante: color blanco de alta intensidad de 10 cm. de ancho por 15 cm. de alto.

Fijación de alineador: Se deberá ahogar en concreto ($f'c=100$ kg/cm²) en una profundidad de 25 cm y un diámetro de 25 cm

MEDICIÓN:

Se medirá tomando como unidad la pieza (pza.).

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada de suministro y colocación de indicadores de alineamiento se hará al precio unitario fijado en el contrato para la pieza (pza.) de indicador que haya quedado correctamente colocado, este precio unitario incluye lo que corresponda por el suministro del poste y el concreto hidráulico $f'c=100$ Kg/Cm² utilizado en la fijación, almacenamiento, mano de obra, herramientas, equipo, y los tiempos de los vehículos empleados en los transportes durante las cargas y las descargas.

CONCLUSIONES.

Para poder determinar las condiciones actuales del pavimento se realizó una revisión estructural del pavimento para ver el estado actual en que se encontraba y con esta revisión saber el tiempo o vida útil del camino en estudio.

La revisión se realizó por diferentes métodos, en los que en este trabajo de tesis únicamente se hizo una descripción de manera breve de cada método utilizado, para tener una idea de lo que se hace en el método de revisión en estudio.

En los resultados que arroja cada revisión se aprecian: la vida útil en años obtenida de los diferentes sub tramos del camino, haciendo la recomendación en términos de sobre carpeta y luego en términos de una rehabilitación de la estructura del pavimento (a base del reciclado y estabilizado de la base hidráulica y tendido de una nueva carpeta asfáltica), para aumentar la vida útil del camino y atender las solicitudes de servicio.

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes revisiones, se hizo una comparación de los resultados, observándose que se coincide en que la vida útil de pavimento es corta y que para atender las solicitudes de carga actuales del camino se recomienda la construcción de una sobre carpeta sobre el pavimento.

Una vez analizados los resultados de los diferentes métodos se hizo la recomendación de hacer una rehabilitación de la estructura del pavimento actual, realizándose en base a la sustitución de la carpeta actual por carpeta asfáltica nueva, realizando también el reciclado de la base hidráulica y estabilizándola con cemento portland ordinario. Con esto se logra tener una base más resistente ya que esta es la que se encarga de soportar y distribuir de manera uniforme las cargas hacia las demás capas que conforman el camino.

REHABILITACIÓN:

Para dar a conocer algunos de los nuevos procesos de rehabilitación y tecnología que se están empleando en gran parte de caminos de cuota en México, se hizo la descripción de cada proceso de la rehabilitación del pavimento actual, desde el fresado de la carpeta asfáltica actual del camino hasta la compactación de la nueva carpeta asfáltica de rodamiento.

En cada procedimiento de la rehabilitación se hizo la definición del proceso constructivo, describiendo paso por paso de manera clara y sencilla cada procedimiento del proceso constructivo, se describió también con que tipo de maquinaria se realizará la actividad, los materiales empleados y como se hace la medición de cada proceso para efectos de pago.

EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADO:

De igual manera se hizo la descripción de todos los tipos de maquinaria empleada en cada uno de los procesos constructivos, realizando la descripción de cada uno de los equipos utilizados, partes que los componen y que trabajos pueden realizar comúnmente.

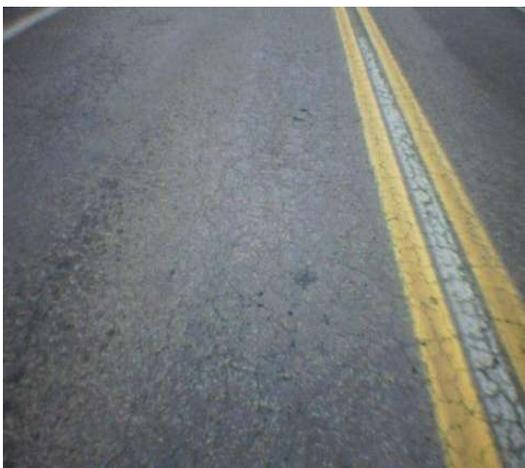
ANEXO 1: ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.



Km 0+110 lado derecho, carpeta fatigada con presencia de agrietamiento tipo mapa.



Km 2+420 lado derecho, agrietamiento moderado en ambas roderas.



Km 3+360 lado derecho agrietamiento tipo piel de cocodrilo con abertura de 3mm.



Km4+290 lado derecho. Fisuras con eyección de finos de la base.



Km 6+420 lado izquierdo grietas leves con con eyección de finos de la base.



Km 9+530 lado izquierdo presencia de agrietamiento con deformación.

ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.



Km 11+760 lado izquierdo, sello en buen estado.



Km 13+310 lado derecho presencia de calavereo y bacheo superficial.



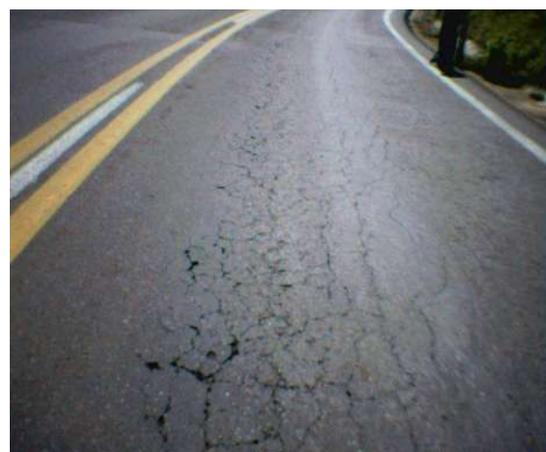
Km 14+940 lado derecho, agrietamientos calavereo y deformación hasta 2.0 cm.



Km 16+160 lado izquierdo, carpeta fatigada y calavereo.



Km 17+180 lado izquierdo, presencia de Agrietamientos con desprendimiento de agregados.



Km 19+560 lado izquierdo, agrietamiento intenso, con formación de calavereo.

ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.



Km 22+140 lado izquierdo, superficie con sello en buen estado.



Km 25+540 lado derecho, grietas Longitudinales con abertura hasta de 1 cm y desprendimiento de agregados.



Km 27+000 lado derecho, superficie en Buen estado.



Km 28+180 lado izquierdo, desprendimiento de agregados y algo de calavereo.



Km 29+650 lado derecho, grietas con presencia de eyección de finos de la base.



Km 31+200 lado derecho, agrietamiento y Presencia de calavereo.

ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.



Km 32+440 lado derecho, carpeta fatigada con agrietamiento tipo piel de cocodrilo.



Km 33+100 transporte del HWD lado Derecho (deflectómetro de impacto).



Km 34+600 lado derecho, agrietamiento intenso tipo piel de cocodrilo en roderas.



Km 34+800 lado izquierdo, grieta longitudinal con abertura hasta de 3 cm.

ANEXO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Life	layer	Mode	Overlay(mm)
0+000	2,968	131	73	83	0	2	func	190
0+100	4,581	154	174	86	0	2	func	160
0+200	3,725	181	100	88	0	2	func	145
0+300	7,008	150	153	84	0	2	func	154
0+400	2,876	225	125	131	0	2	func	120
0+500	1,708	194	52	154	0	3	func	189
0+600	4,065	124	69	239	0	2	func	191
0+700	2,928	235	130	101	0	2	func	114
0+800	3,108	287	159	179	1	2	func	84
0+900	1,103	68	38	92	0	2	func	287
1+000	2,935	471	261	154	3	2	func	48
1+100	1,586	491	272	38	1	4	func	134
1+200	2,615	242	134	145	0	2	func	112
1+300	1,679	119	66	68	0	2	func	212
1+400	2,127	147	82	121	0	2	func	179
1+500	1,999	106	59	75	0	2	func	224
1+600	2,845	55	31	149	0	2	func	297
1+700	1,569	124	69	93	0	2	func	209
1+800	3,966	130	72	302	0	2	func	183
1+900	9,161	211	117	207	1	2	func	104
2+000	2,927	249	138	156	1	2	func	104
2+100	4,291	189	105	139	0	2	func	137
2+200	5,436	252	140	187	1	2	func	89
2+300	2,732	402	223	217	2	2	func	60
2+400	5,950	152	184	84	0	2	func	154
2+500	5,438	318	176	173	2	2	func	62
2+600	2,694	324	179	265	1	2	func	71
2+700	2,876	225	125	131	0	2	func	121
2+800	3,483	252	140	358	1	2	func	99
2+900	3,132	299	166	203	1	2	func	79
3+000	2,994	257	142	269	1	2	func	105
3+100	1,216	304	168	71	1	2	func	105
3+200	3,943	192	107	137	0	2	func	140
3+300	3,505	237	131	268	1	2	func	110
3+400	2,765	240	133	169	0	2	func	117
3+500	3,672	154	221	82	0	2	func	166
3+600	1,980	193	107	89	0	2	func	161
3+700	3,471	58	112	32	0	2	func	290
3+800	4,660	418	232	114	3	2	func	51
3+900	2,751	102	57	97	0	2	func	223
4+000	2,007	548	304	197	15	2	func	0
4+100	6,772	372	206	102	3	2	func	47
4+200	1,190	86	144	48	0	3	func	217
4+300	3,602	338	187	60	1	2	func	97
4+400	5,170	205	114	43	0	2	func	156
PROMEDIO	3,405	227	137	140	0.9			140
DESV. EST.	1,651	116	63	75	2.3			67

ANEXO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Life	layer	Mode	Overlay(nm)
4+500	5,249	221		131	18	3	func	0
4+600	2,849	194		210	2	2	func	61
4+700	4,846	141		161	18	3	func	0
4+800	3,220	441		90	10	3	func	19
4+900	4,200	342		175	20	3	func	0
5+000	5,181	912		184	17	3	func	0
5+100	2,898	181		134	11	3	func	18
5+200	3,558	308		280	6	2	func	27
5+300	1,731	213		69	2	3	func	97
5+400	3,395	792		210	20	3	func	0
5+500	3,406	250		329	5	2	func	34
5+600	7,208	286		96	7	3	func	41
5+700	3,516	406		87	4	3	func	68
5+800	1,839	429		42	0	3	func	208
5+900	3,086	426		104	2	3	func	94
6+000	2,463	23		122	0	2	func	259
6+100	3,548	100		227	1	2	func	119
6+200	3,066	372		164	7	3	func	52
6+300	2,739	327		41	0	3	func	237
6+400	1,276	26		81	0	2	func	266
6+500	1,789	306		92	2	3	func	87
6+600	1,419	264		70	0	3	func	175
6+700	2,454	359		59	0	3	func	164
6+800	1,097	140		53	0	3	func	224
6+900	2,033	198		68	1	3	func	118
7+000	2,922	141		82	0	2	func	182
7+100	1,003	699		45	0	3	func	166
7+200	2,872	61		85	0	2	func	202
7+300	2,757	674		63	0	3	func	171
7+400	2,556	82		47	0	2	func	259
7+500	2,236	37		199	0	2	func	215
7+600	3,200	794		442	20	2	func	0
7+700	2,137	151		82	1	3	func	154
7+800	2,193	49		233	0	2	func	198
7+900	1,739	335		62	0	3	func	171
8+000	1,730	299		46	0	3	func	229
8+100	1,709	695		59	1	3	func	156
8+200	1,101	107		59	0	3	func	217
8+300	1,329	561		41	0	3	func	208
8+400	1,697	404		49	0	3	func	218
8+500	1,487	341		48	0	3	func	201
8+600	1,026	384		43	0	3	func	223
8+700	1,719	845		31	0	3	func	241
8+800	1,605	102		45	0	3	func	258
8+900	1,899	185		63	0	3	func	181
9+000	2,571	267		151	20	3	func	0
PROMEDIO	2,599	323		114	4.2			135
DESV. EST.	1,263	232		87	6.9			91

ANEXO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Lif	layer	Mode	Overlay(mm)
9+100	1,623	158		59	0	3	func	168
9+200	1,374	270		90	0	3	func	172
9+300	2,047	179		56	0	3	func	218
9+400	2,478	202		57	0	3	func	214
9+500	1,843	279		47	0	3	func	228
9+600	2,500	148		85	0	2	func	179
9+700	2,212	515		57	0	3	func	190
9+800	3,171	838		50	0	3	func	184
9+900	1,578	167		84	0	3	func	183
10+000	2,032	324		100	1	3	func	149
10+100	2,836	218		80	0	3	func	194
10+200	1,904	619		39	0	3	func	244
10+300	1,281	250		48	0	3	func	237
10+400	1,645	672		41	0	3	func	242
10+500	1,402	155		68	0	3	func	208
10+600	1,856	115		58	0	3	func	168
10+700	3,578	554		93	1	3	func	125
10+800	1,626	786		56	0	3	func	188
10+900	1,681	876		69	0	3	func	159
11+000	2,349	402		69	0	3	func	179
11+100	2,753	597		52	0	3	func	188
11+200	2,217	540		56	0	3	func	194
11+300	2,979	123		82	1	3	func	116
11+400	1,839	323		55	0	3	func	212
11+500	5,218	562		112	2	3	func	95
11+600	2,034	599		71	0	3	func	167
11+700	1,625	964		93	1	3	func	126
11+800	1,550	581		68	0	3	func	178
11+900	2,245	689		67	0	3	func	163
12+000	1,299	557		90	1	3	func	154
12+100	1,616	306		68	0	3	func	191
12+200	2,543	651		110	2	3	func	115
12+300	1,919	504		38	0	3	func	248
12+400	1,844	188		91	1	3	func	125
PROMEDIO	2,138	439		69	0.3			179
DESV. EST.	776	244		20	0.6			39

ANEXO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Life	layer	Mode	Overlay(mm)
12+500	1,568	776		30	0	3	func	292
12+600	1,106	512		25	0	3	func	277
12+700	1,979	161		22	0	3	func	264
12+800	1,266	372		91	0	3	func	182
12+900	2,021	276		121	1	3	func	148
12+000	1,669	222		62	0	3	func	229
12+100	1,766	186		24	0	3	func	267
12+200	1,621	90		102	0	2	func	190
12+300	1,976	722		25	0	3	func	262
12+400	1,690	102		56	0	3	func	262
12+500	2,072	167		66	1	3	func	152
12+600	1,711	212		26	0	3	func	274
12+700	1,028	662		30	0	3	func	279
12+800	1,207	72		67	0	2	func	278
12+900	1,116	88		21	0	3	func	266
13+000	1,279	266		22	0	3	func	228
13+100	1,662	77		75	0	2	func	224
13+200	2,622	622		66	0	3	func	182
13+300	2,616	29		106	0	2	func	206
13+400	1,722	107		67	0	2	func	264
13+500	1,421	599		25	0	3	func	267
13+600	2,626	259		29	0	3	func	261
13+700	2,722	571		66	0	3	func	162
13+800	2,677	260		66	0	3	func	226
13+900	2,291	120		20	0	3	func	227
14+000	1,892	192		26	0	3	func	267
14+100	2,616	611		22	1	3	func	166
14+200	1,726	967		66	0	3	func	202
14+300	2,006	176		27	0	3	func	182
14+400	1,206	126		20	0	3	func	220
14+500	1,611	766		62	0	3	func	192
14+600	1,726	212		26	0	3	func	212
14+700	2,721	166		20	1	3	func	166
14+800	1,626	269		69	0	3	func	194
14+900	1,662	262		61	0	3	func	196
15+000	1,946	176		72	0	3	func	170
15+100	1,892	916		22	1	3	func	161
15+200	1,892	166		26	0	2	func	201
15+300	2,022	616		26	1	3	func	167
15+400	1,697	722		72	0	3	func	196
15+500	2,122	160		126	2	3	func	22
15+600	1,266	527		62	0	3	func	209
15+700	4,626	262		66	1	3	func	117
15+800	2,010	262		126	2	3	func	66
15+900	4,160	211		122	2	3	func	76
17+000	1,072	206		102	0	3	func	178
17+100	1,906	226		107	0	3	func	172
17+200	1,206	111		110	0	2	func	182
17+300	1,126	219		66	0	3	func	211
17+400	1,029	222		22	0	3	func	196
17+500	2,226	222		22	1	3	func	169
17+600	1,692	622		121	1	3	func	169
17+700	2,226	261		21	1	3	func	126
17+800	1,722	222		26	1	3	func	112
17+900	2,212	260		122	2	3	func	27
18+000	6,267	272		122	2	3	func	126
PROMEDIO	2,122	267		72	0.5			196
DESV. EST.	1,892	272		20	1.1			60

ANE XO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Lif	layer	Mode	Over lay(mm)
18+100	3,342	310		99	5	2	func	49
18+200	2,927	25		141	0	2	func	281
18+300	3,249	163		101	1	2	func	84
18+400	1,409	86		135	0	2	func	168
18+500	3,141	580		101	11	3	func	17
18+600	1,393	118		125	0	2	func	142
18+700	1,702	447		59	2	3	func	106
18+800	2,629	110		193	0	2	func	132
18+900	1,623	63		73	0	2	func	186
19+000	4,117	215		458	3	2	func	49
19+100	3,954	284		124	6	2	func	28
19+200	2,968	161		106	1	2	func	93
19+300	5,070	517		131	20	3	func	0
19+400	4,508	154		256	2	2	func	85
19+500	3,705	626		143	20	3	func	0
19+600	2,834	228		173	2	2	func	57
19+700	5,107	289		120	8	2	func	20
19+800	3,182	292		123	4	2	func	39
19+900	3,160	441		169	10	2	func	10
20+000	1,743	243		96	1	2	func	87
20+100	5,284	297		123	8	2	func	17
20+200	2,554	58		236	0	2	func	185
20+300	2,834	303		126	4	2	func	36
20+400	1,621	157		118	0	2	func	112
20+500	4,532	665		136	20	3	func	0
20+600	1,911	201		130	1	2	func	75
20+700	2,953	940		124	20	3	func	0
20+800	2,558	118		162	0	2	func	127
20+900	2,309	601		118	12	3	func	10
21+000	4,319	569		149	20	2	func	0
21+100	2,636	295		100	4	2	func	59
21+200	2,146	213		121	1	2	func	69
21+300	5,840	346		144	13	2	func	4
21+400	2,744	146		136	1	2	func	105
21+500	3,615	510		111	12	3	func	12
21+600	2,899	454		124	9	2	func	17
21+700	2,693	677		92	9	3	func	25
21+800	2,142	651		175	16	2	func	0
21+900	2,817	648		150	20	2	func	0
22+000	2,279	45		236	0	2	func	210
22+100	3,794	194		145	2	2	func	53
22+200	4,944	952		128	20	3	func	0
22+300	3,644	412		178	11	2	func	11
22+400	2,641	98		190	0	2	func	141
22+500	2,752	269		119	3	2	func	44
22+600	1,504	106		113	0	2	func	149
22+700	3,690	266		152	4	2	func	36

ANE XO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Life	layer	Mode	Over lay(mm)
22+800	4,297	328		186	7	2	func	23
22+900	8,086	84		201	1	2	func	112
23+000	2,867	101		193	0	2	func	137
23+100	4,877	814		171	20	3	func	0
23+200	2,468	146		125	1	2	func	108
23+300	3,073	237		101	3	2	func	63
23+400	2,224	78		183	0	2	func	165
23+500	3,470	95		97	0	2	func	131
23+600	1,610	685		134	14	3	func	3
23+700	3,979	470		222	15	2	func	0
23+800	3,595	357		255	7	2	func	24
23+900	1,864	673		131	15	3	func	0
24+000	2,453	58		155	0	2	func	187
24+100	3,308	240		180	3	2	func	45
24+200	3,363	57		350	0	2	func	179
24+300	6,682	367		186	16	2	func	0
24+400	2,760	566		142	14	2	func	2
24+500	4,758	128		271	20	2	func	0
24+600	2,117	130		149	0	2	func	123
24+700	4,623	418		176	13	2	func	3
24+800	1,960	411		176	5	2	func	32
24+900	3,369	507		165	15	2	func	0
25+000	4,410	155		109	1	2	func	85
25+100	3,105	872		130	20	3	func	0
25+200	3,561	119		165	1	2	func	116
25+300	4,146	117		138	1	2	func	110
25+400	2,187	68		183	0	2	func	176
25+500	3,476	234		116	3	2	func	46
25+600	1,827	177		100	1	2	func	97
25+700	2,766	265		144	3	2	func	49
25+800	1,609	196		76	1	2	func	121
25+900	3,888	330		192	6	2	func	26
26+000	1,900	538		81	4	3	func	66
26+100	3,082	323		106	4	2	func	48
26+200	3,038	312		177	4	2	func	37
26+300	4,202	277		93	5	2	func	59
26+400	2,475	390		86	4	3	func	68
26+500	5,765	354		90	7	3	func	40
26+600	2,996	495		70	4	3	func	72
26+700	2,382	197		79	1	2	func	107
26+800	2,654	770		79	7	3	func	38
PROMEDIO	3,212	326		147	6.3			66
DESV. EST.	1,226	226		60	6.7			62

ANEXO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Lifts	layer	Mode	Overlay(mm)
26+000	3,900	341		69	3	3	finc	83
27+000	3,374	465		61	3	3	finc	81
27+100	3,530	381		81	3	3	finc	77
27+200	1,632	292		61	1	2	finc	131
27+300	4,337	125		116	1	2	finc	111
27+400	2,737	276		55	1	3	finc	156
27+500	2,839	166		66	0	2	finc	138
27+600	2,824	128		67	0	2	finc	192
27+700	1,072	161		59	0	2	finc	162
27+800	1,713	150		81	0	2	finc	134
27+900	1,925	99		81	0	2	finc	173
28+000	1,006	150		62	0	2	finc	142
28+100	1,818	405		62	2	3	finc	104
28+200	1,826	194		85	0	2	finc	114
28+300	2,210	404		68	2	3	finc	89
28+400	1,273	238		76	1	2	finc	108
28+500	2,510	106		82	0	2	finc	128
28+600	1,740	97		103	0	2	finc	154
28+700	2,329	110		55	0	2	finc	166
28+800	1,839	123		65	0	2	finc	135
28+900	2,114	225		72	1	2	finc	112
29+000	1,249	112		52	0	2	finc	177
29+100	2,689	186		75	1	2	finc	112
29+200	1,525	62		73	0	2	finc	192
29+300	2,047	23		132	0	2	finc	282
29+400	1,773	71		112	0	2	finc	179
29+500	1,566	8		102	0	2	finc	402
29+600	1,387	80		88	0	2	finc	175
29+700	2,339	94		123	0	2	finc	158
29+800	1,052	81		69	0	2	finc	180
29+900	2,174	92		91	0	2	finc	162
30+000	1,264	158		67	0	2	finc	126
30+100	1,548	60		122	0	2	finc	204
30+200	1,962	37		108	0	2	finc	231
30+300	1,610	77		82	0	2	finc	183
30+400	1,518	172		145	1	2	finc	105
30+500	2,555	111		146	0	2	finc	142
30+600	1,689	55		92	0	2	finc	204
30+700	2,289	112		72	0	2	finc	124
30+800	2,223	164		50	0	2	finc	157
30+900	1,530	119		59	20	3	finc	0
31+000	2,071	122		112	1	2	finc	112
31+100	5,297	183		154	2	2	finc	76
31+200	1,645	194		74	1	2	finc	112
31+300	2,601	26		100	0	2	finc	256
31+400	2,878	28		79	0	2	finc	245
31+500	1,236	428		124	3	2	finc	65
31+600	1,073	48		69	0	2	finc	222
31+700	2,286	120		62	0	2	finc	127
31+800	2,647	229		66	1	2	finc	116
31+900	1,613	260		79	2	2	finc	88
32+000	2,027	119		96	0	2	finc	142
PROMEDIO	2,212	159		84	0.9			150
DESV. EST.	924	110		26	2.8			64

ANE XO 3 (Análisis estructural).

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	Life	layer	Mode	Over lay(mm)
32+100	2,975	112		83	0	2	func	141
32+200	3,891	363		218	5	2	func	33
32+300	3,016	430		107	5	2	func	31
32+400	3,007	344		176	3	2	func	43
32+500	2,582	172		176	20	3	func	0
32+600	2,575	312		184	2	2	func	53
32+700	1,338	54		82	0	2	func	218
32+800	1,857	94		55	0	2	func	174
32+900	2,159	120		103	0	2	func	140
33+000	1,025	71		54	0	2	func	199
33+100	1,071	167		48	0	2	func	179
33+200	1,624	124		52	0	2	func	173
33+300	1,152	346		48	1	3	func	142
33+400	1,323	98		55	0	2	func	181
33+500	3,500	223		52	1	3	func	129
33+600	1,985	281		41	1	3	func	158
33+700	1,576	290		35	0	3	func	180
33+800	1,309	45		45	0	2	func	232
33+900	1,014	63		50	0	2	func	209
34+000	1,516	87		49	0	2	func	192
34+100	1,111	418		55	1	3	func	118
34+200	2,926	57		213	0	2	func	194
34+300	2,094	184		85	1	2	func	101
34+400	1,033	134		74	0	2	func	146
34+500	1,412	21		70	0	2	func	297
34+600	2,298	15		81	0	2	func	359
34+700	1,859	72		60	0	2	func	186
34+800	1,567	26		69	0	2	func	293
34+900	1,138	146		49	0	2	func	181
35+000	1,667	25		57	0	2	func	296
35+100	1,202	123		36	0	2	func	218
35+200	1,842	53		51	0	2	func	226
35+300	1,955	87		48	0	2	func	205
35+400	1,157	19		69	0	2	func	313
35+500	1,434	64		86	0	2	func	201
PROMEDIO	1,863	150		80	1.1			175
DES. EST.	769	122		50	3.5			82

Bibliografía.

1. Informe No. 102-10-03. GEOSOL S. A. DE C. V.
2. Manual de Evaluación de Pavimentos (Nicaragua).
Universidad Nacional de Ingeniería.
Facultad de Tecnología de la Construcción. mti.
Programa de Capacitación Académica.
AUTORES: Ing. Maylin Corras B.
 Ing. Ernesto Urbáez P.
 Ing. Gustavo Corredor M.
3. Normativa SCT.
4. Normativa CAPUFE.
5. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No. 22. (MS-22). Instituto del Asfalto.
6. Vías de Comunicación. Caminos, ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Tercera edición. Autor: Ing. Carlos Crespo Villalaz.
7. Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones.
7ª. Edición. Autores: Rafael Cal y Mayor R. y James Cárdenas G.

Internet.

- WWW. Aepo.es/equiposarea5.
- WWW. Clase 8 compactación.
- WWW. Classified.direcindusty.es.
- WWW. Cuevadelcivil.com/2010/05/ejesequivalentes.htm.
- WWW. Digipro.com.
- WWW. Dinates.com/chile.
- WWW. Etnyre.com.
- WWW. Eupave.eu/e4.es.
- WWW. Grouptractorandina.com.
- WWW. Itzamna.bnct.ipn.mx:8080/.../168_2005_EISA-ZAC_superior.

WWW. Latinamerica.cat.com.

WWW. Lemac.frlp.utn.edu.ar/wp/10/tesis2009_luciana-garcia-Eiler.pdf.

WWW. Maquinariastock.com.

WWW. Meqcer.com.

WWW. Normas.imt.mx/contenido_normas.htm.

WWW. Resansil.com/fresadoras_frío.pdf.

WWW. Ropdigital.ciccp.es/pdf/public/1971/1971_tomo_1_3080_01.pdf.

WWW. Scrib.com/carpetas-de-granulometría-discontinua.

WWW. Sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manualdeevaluación1.pdf.

WWW. Stalori.com.uy/data/files/sistemasdepavurvanadevajoespesor.pdf.

WWW. Viarural.com.mx.

WWW. Vögele.com.

WWW. Wirtgen.de/p_wm1000_s.pdf.

WWW. Wirtgen.de/wr2500s_pdf.

WWW. Xml.catmms.com.

WWW. You tuve.com/equipo de medición SCRIM.

WWW.Xa.yimg.com/ábacos_para_diseño_de_refuerzos_de_pavimentos_empleando_capas_granulares_de_transición.

WWW.maquinariaparatodos.com/.../135-¿Quéslarehabilitacióndepavimentos?