



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN LA CARRETERA: BARRANCA LARGA EN
EL ESTADO DE OAXACA”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Ingeniero Civil

PRESENTA:
Antonio Becerril Valencia
Diego Iván Miranda Becerril

DIRECTOR:
M. en I. Sergio Macuil Robles



México. D.F., 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/110/15

Señores
ANTONIO BECERRIL VALENCIA
DIEGO IVÁN MIRANDA BECERRIL
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. SERGIO MACUIL ROBLES, que aprobó este Comité, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CARRETERA:
BARRANCA LARGA EN EL ESTADO DE OAXACA"**

- INTRODUCCIÓN
- I. PAVIMENTOS
- II. PAVIMENTOS FLEXIBLES
- III. CARPETAS ASFÁLTICAS
- IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- V. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 8 de octubre del 2015.
EL PRESIDENTE

Germán
M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

De Acuerdo
18-02-2016
Manuel Rubio Suarez

Manuel Rubio Suarez
17/feb/2016
Manuel Rubio Suarez

Vo. Bo.

ING. SERGIO MACUIL ROBLES
Sergio Macuil Robles

06-02-2016

Tapia
Ing. Alejandro Rojas T.
Alejandro Rojas T.
12-02-2016

Agradecimientos

*A la Facultad de Ingeniería y a la
Universidad Nacional Autónoma de México,
por la formación profesional que nos han dado.*

*A nuestro director de tesis M. en I. Sergio Macuil Robles
gracias por ser un gran profesor guiando a sus estudiantes
para que sean mejores día a día, transmitiendo sus
conocimientos sin esperar algo a cambio y por aceptar el
día de hoy ser parte de este logro en nuestras vidas, por
comprometerse a guiarnos en la realización de este
trabajo, contribuyendo en nuestra formación como
ingenieros.*

*Al personal que nos atendió en el área de campo en el
Estado de Oaxaca, facilitándonos la información
suficiente para la elaboración de esta tesis.*

Muchas gracias.

Agradecimientos

Antonio Becerril Valencia

A Dios

*Que me dió perseverancia y confianza
para creer en lo que en algún momento
me pareció imposible terminar.*

A mi abuelita Carmelita

*Vivía con la esperanza de que algún día fueras
partícipe de mi alegría al haber concluido este sueño
este logro va para ti donde quiera que te encuentres.*

A mi padre Ing. Antonio Becerril G.

*Gracias a ti por apoyarme, aconsejarme y
brindarme todo tu apoyo incondicional para
concluir una de mis metas a nivel profesional
y verme titulado como ingeniero civil, igual
que tú. Es para ti papá.*

A mi madre Rebeca Valencia M.

*Gracias por siempre estar conmigo en los momentos más
díficiles y felices de mi vida, gracias por darme la vida y
tener la dicha de disfrutar estos momentos.*

A mis hermanos Jonathan y Mauricio Becerril

*Por siempre estar a mi lado apoyarme en todos los momentos
más importantes de mi vida. Los quiero mucho
Va por ti Jonathan.*

Adelaida Beatriz Macho Luna

*Por empezar a formar parte de mi vida y ser testigo de este
feliz momento. Ustedes significan mucho para mí. Gracias.*

Ing. Diego Iván Miranda Becerril

*Gracias por creer en mí y por poner toda tú
confianza y entrega a este proyecto que nos
une como grandes amigos. Gracias amigo.*

Agradecimientos

Diego Iván Miranda Becerril

A Dios

Por darme la vida y permitirme realizar este logro tan importante en mi vida para mí y mi familia, por mantenerla unida y luchar por esta meta que hoy se cumple.

A mis padres Sra. Antonia Becerril B. y Sr. Constantino Miranda M.

Por ser el pilar de mi vida, darme su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa y las anteriores, por los momentos de felicidad y satisfacciones, así como en tiempos difíciles, en los que me han enseñado a luchar por lo que se anhela, en todos estos años este también es logro suyo.

A mis hermanos Edgar, Ana y Samantha Miranda B.

Por darme ese apoyo extra en mi desarrollo como persona y profesional, alentarme en buenos y malos momentos, por compartir estos años junto a ustedes, mil gracias, los amo.

A mi abuela Sra. Victoria Benjamín Velázquez

Gracias por cuidar de mí desde que era pequeño, por darme un apoyo incondicional y en algunas ocasiones salvar mi vida, gracias por ser tan bondadosa con toda tu familia y mantenerla unida a pesar de las adversidades y lo difícil que ha sido tu vida, por todo gracias, te amo.

A mi compañero de tesis Ing. Antonio Becerril Valencia

Gracias por ser un gran amigo y compañero en los últimos años de mi estancia como estudiante en la facultad, así como darme apoyo y aliento en esos momentos difíciles que enfrentamos día a día, ser parte importante de este logro y compartir juntos la felicidad que nos colma el día de hoy.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVO	2
III.	BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS CAMINOS	2
IV.	CAMINOS Y RUTAS DE INTERCAMBIO PREHISPÁNICO	2
V.	TIPOS DE TRANSPORTE	4
VI.	DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA AL GOLFO DE MÉXICO	4
VII.	VEREDAS Y CAMINOS EN TIEMPOS DEL AUTOMÓVIL.....	5
CAPÍTULO 1. PAVIMENTOS		9
1.1	DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS	9
1.2	COMPONENTES DE UN PAVIMENTO.....	9
1.3	TIPOS DE PAVIMENTOS.....	10
1.3.1	Pavimentos flexibles.....	10
1.3.2	Pavimentos semi-rígidos	12
1.3.3	Pavimentos rígidos	12
1.3.4	Pavimentos articulados	14
1.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS.....	14
1.4.1	Resistencia estructural.....	15
1.4.2	Deformabilidad.....	16
1.4.3	Durabilidad	17
1.4.4	Costo	17
1.4.5	Requerimientos de la conservación	18
1.4.6	Comodidad	18
1.4.7	Comparación entre pavimentos flexibles y rígidos	19
1.5	FALLAS EN LOS PAVIMENTOS	21
1.5.1	Fallas funcionales	21
1.5.2	Fallas estructurales	22
CAPÍTULO 2. PAVIMENTOS FLEXIBLES		29
2.1	DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	29
2.2	PROPÓSITOS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	29
2.3	TIPOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	29
2.4	COMPONENTES ESTRUCTURALES	30
2.5	TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	31
2.5.1	Otros tipos de fallas en la superficie	32

CAPÍTULO 3. CARPETAS ASFÁLTICAS	49
3.1 DEFINICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA	49
3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS	49
3.2.1 Tratamientos superficiales.....	50
3.2.2 Macadam asfáltico.....	51
3.2.3 Mezcla en el lugar	52
3.2.4 Mezcla en planta por dosificación por volumen	53
3.2.5 Concretos asfálticos.....	53
3.3 MATERIALES PARA CARPETAS ASFÁLTICAS	53
3.3.1 Materiales pétreos.....	54
3.3.2 Materiales asfálticos	61
3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS	62
3.4.1 Cementos asfálticos.....	62
3.4.2 Emulsiones asfálticas.....	66
3.4.3 Asfaltos rebajados	68
3.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS.....	69
3.5.1 Durabilidad	69
3.5.2 Adhesión y cohesión.....	70
3.5.3 Susceptibilidad a la temperatura	70
3.5.4 Velocidad de curación	71
3.5.5 Envejecimiento y endurecimiento.....	72
3.5.6 Resistencia a la acción del agua	72
CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	75
4.1 UBICACIÓN DE LA OBRA.....	75
4.2 ESPECIFICACIONES DE LA OBRA.....	75
4.2.1 Generalidades	77
4.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA.....	78
4.3.1 Base hidráulica.....	79
4.3.2 Riego de impregnación.....	87
4.3.3 Carpeta de concreto asfáltico	91
4.3.4 Aplicación de riego de sello premezclado	96
CONCLUSIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS.....	109

I. Introducción

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, desde los caminos basándose en piedra y aglomerante hasta nuestra época con métodos perfeccionados basándose en la experiencia que conducen a grandes construcciones de carpetas asfálticas basándose en pavimento flexible o rígido.

Es por esto, que la tesis que se presenta, sobre el análisis de la carpeta asfáltica flexible de cierto tramo en el Estado de Oaxaca, desarrollará el tema sobre identificar los cambios que han sufrido los caminos, precisarán las técnicas constructivas, las normas actuales y sus modificaciones.

Los autores se propusieron desarrollar el tema sobre una reseña histórica de los caminos, ya que es algo más que trazar su ruta, medir su anchura y localizar en un mapa su recorrido. Implica, además, detectar las formas de significación a lo largo de la historia y referenciar las huellas que dejaron en la mente de los hombres del pasado y de lo que les posibilitaron a los distintos grupos sociales que interactuaban sobre el territorio mexicano.

El trabajo en sus capítulos relacionados con la descripción del procedimiento constructivo de una carpeta asfáltica flexible, así como de sus criterios para aceptación fue tratado con un nivel muy general.

Pero este describirá las definiciones de carretera y todas aquellas más necesarias para su comprensión, sus características y método de construcción, así como todas aquellas especificaciones necesarias para poder cumplir con los requisitos de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, también se considerarán las consideraciones físicas y geográficas que intervienen en el diseño y construcción, los cuales varían dadas las características del lugar, suelo y condiciones climatológicas.

II. Objetivo

Al final de este trabajo se pretende ampliar los conocimientos de los que suscribe, así también como de toda aquella persona que tenga contacto con este trabajo.

Dar a conocer cada una de las etapas utilizadas en la elaboración de infraestructuras de transportes, empleando pavimentos flexibles, por medio de un procedimiento constructivo, estableciendo criterios y aplicando normas para su realización durante su proceso de construcción, ayudando a comprender de una manera descriptiva y viable dicho procedimiento.

III. Breve reseña histórica de los caminos

La historia de los caminos es la del hombre y su época, tan antigua como las civilizaciones. Con el propio medio de transporte humano, los seres avanzaron hacia los horizontes a través de senderos y brechas. En una escala de tiempo diferente pero en el mismo espacio, los viajes de hoy son muy distintos a los de entonces, por la transformación de los transportes y por ende de las rutas.

En México, hace miles de años las primeras veredas para caminantes enlazaron al territorio y conforme evolucionaron, ya se clasificaban con base en su categoría, mediante la percepción del tiempo, las dificultades del recorrido y el paisaje.

IV. Caminos y rutas de intercambio prehispánico

El sistema de caminos de Mesoamérica fue creado a lo largo de cientos de siglos con base en la experiencia y en el conocimiento de la geografía. Así muchas rutas que se utilizan en la actualidad son reminiscencias de aquellas formadas por los pobladores del México antiguo.



Figura V. Mercaderes mexicas emprenden su marcha por un camino indicado por huellas de pies y señalando con un color más claro.

Los caminos son como cualquier otro elemento de la vida de los hombres, el resultado de una larga construcción histórica que permite, mediante el ensayo y el error y a través de varias generaciones, establecer los mejores lugares para el tránsito. De esta forma, la continuidad y supervivencia de un camino dependen del interés en mantener abierta la comunicación, así como de que existan las condiciones de eficiencia, mantenimiento, seguridad u abastecimiento, entre otras variables.

Si bien a veces es casi imposible determinar el tiempo que debió tomar el viaje de estos objetos, al menos se pueden proponer los puntos de origen y de destino, así como parte de las redes que debieron establecerse entre los distintos grupos para obtener los recursos.

En el México antiguo había básicamente dos tipos de caminos.

- Los primeros eran hechos ex profeso para unir un sitio con otros, como los sacbés del área maya o como el sistema de caminos de Xochicalco, los cuales parten en forma radial desde el centro de este sitio hacia distintos puntos del valle de Morelos para permitir el acceso de gente y objetos.
- El segundo tipo de caminos, son aquellos que conectaban distintas regiones y servían para viajes a larga distancia, los cuales partían desde los principales asentamientos de Mesoamérica. Los largos caminos eran recorridos por gente especializada en el comercio de mercancías, conocidos como:
 - *TLAMEME* (en náhuatl)
 - *UYCATZINON* (en tzeltal)
 - *QUITAYINIC* (en huasteco)
 - *AH CUCH* (en maya yucateco)

V. Tipos de transporte

Al no contar con vehículos con ruedas y animales de tiro, la mayoría del transporte en el México antiguo se hacía a pie; para llevar los productos se utilizaban cuerdas apoyadas en la frente (mecapal) que sostenían amazones, técnica útil para recorrer veredas. Al menos en los monumentos de integración regional, como los que se asocian a los imperios, el transporte se especializó y se entrenaba a jóvenes como cargadores desde los cinco años. Cada cargador o tameme (tlameme en náhuatl) transportaba generalmente dos arrobas (cerca de 23 kg) a lo largo de cinco lenguas (entre 21 a 28 km, equivalentes al recorrido de un día más que a una distancia determinada), aunque las cargas muy pesadas podían ser llevadas por relevos de tamemes que recorrían distancias cortas.

Los cargadores eran tan veloces, o aún más, que los animales de tiro y las carretas, pero cargaban menos (las mulas, durante la Colonia, cargaban alrededor de 115 Kg). Por otra parte, el tránsito a pie dio lugar a un sistema de caminos notoriamente diferente.

Aunque la distancia es un factor más importante para el tránsito a pie que para las carretas o los animales de tiro, las características del terreno son menos determinantes. En el México antiguo los caminos corrían por montañas y valles, si bien se buscaba que fueran lo más directos, ignorando obstáculos menores como colinas o barrancos que podían ser cruzados a pie.

VI. De los valles centrales de Oaxaca al Golfo de México

En la búsqueda de la “RUTA DE MENOR COSTO” – para ir de los Valles Centrales de Oaxaca a la planicie costera del Golfo por la Sierra de Juárez, se observó que no existía “la ruta” más eficiente, pero sí una compleja red de 16 rutas hipotéticas agrupadas en tres corredores principales, que corresponden con los caminos históricos y modernos.



Figura VII. Debido a su accidentada topografía, cruzar la Sierra de Juárez requería más que una sola y simple ruta, de una compleja red de senderos, con múltiples puntos de partida y arribo.

Aquí se presenta la utilidad que tienen los sistemas de información geográfica para analizar el grado de interacción y las rutas mediante las cuales se conectaban dos importantes regiones arqueológicas de México: los Valles Centrales de Oaxaca y la planicie del Golfo de México. Aunque se han documentado intercambios de bienes santuarios entre distintas regiones de Mesoamérica, desde el Preclásico Temprano al Preclásico Medio (2000-500 a.C.) por lo menos, es muy probable que las primeras rutas de intercambio se hayan establecido y consolidado durante el periodo Arcaico (8000-2000 a.C.). Para el caso del intercambio entre las tierras altas de Oaxaca y la planicie costera del Golfo de México, se sabe que las poblaciones de los Valles Centrales exportaban espejos de hematita a sitios de la costa a cambio de conchas y cerámica fina. De acuerdo con el Códice Florentino, los caminos prehispánicos de Mesoamérica fueron simples senderos de tierra compacta, llenos de piedras y limitados por la vegetación circundante. La identificación de este tipo de caminos mediante la fotografía aérea o con un recorrido de superficie es complicada. No obstante, la arqueología ha sido capaz de ubicar pequeños segmentos de vías y calzadas bien conservados, que llegan y salen de los principales sitios arqueológicos de México. Los caminos blancos, sacbés, de Yucatán y las calzadas de Xochicalco son ejemplos excepcionales de conservación.

VII. Veredas y caminos en tiempos del automóvil

Muchos de los caminos antiguos, incluidos los prehispánicos, aun se usan el día de hoy. Se les hallara con algunas ligeras modificaciones, probablemente muy erosionados, interrumpidos aquí y allá por la irrupción de caminos más modernos, cubiertos por la mancha urbana de las poblaciones que han crecido a su vera, pero subsistentes en lo esencial.



Figura V. Los "corredores" de Hueytalpan sin el resultado de las obras de acondicionamiento de los antiguos llevadas a cabo en la Sierra Norte de Puebla durante la segunda mitad del siglo XIX. Al mismo tiempo se construyeron puentes y otras obras de ingeniería.

Saliendo por la autopista a Puebla, después de la caseta de pago y justo cuando termina el último de los bloques de casas recién construidas, hay que voltear la vista al lado derecho y descubrir como a un kilómetro de distancia un pequeño edificio de color amarillento, con seis arcos, que se alza en una colina paralela que sube la autopista. Una pequeña barranca nos separa de ella, pero se cruza fácilmente a pie, si se desea, en menos de media hora. Este edificio es lo que queda de la Venta Nueva, uno de los puntos en que los viajeros que cruzaban del Valle de México al de Puebla durante el siglo XIX pasaban la noche antes de emprender la subida hacia los valles de Río Frío, que en esa época eran tristemente célebres por sus bandidos. La siguiente noche, si nada grave ocurría, la pasarían en otra venta por el rumbo de San Martín Texmelucan. El lugar, que merece ser conservado y protegido, se presta para hacer reflexión a propósito del contraste entre caminos antiguos y los modernos, así como para ponderar el valor como patrimonio cultural de aquellos caminos antiguos que aún subsisten.

Los caminos tienen la función de encauzar y facilitar el desplazamiento entre un punto y otro. Si no los hubiera, la mayoría de los movimientos entre poblaciones serían erráticos y requerirían de grandes habilidades para la orientación, como seguramente lo fueron en un principio muy remoto.

De hecho, los caminos surgieron precisamente de la experiencia, que fue determinando la ruta más conveniente en función del tiempo, el costo y el esfuerzo necesarios para recorrerla.

Desde luego, los primeros caminos fueron diseñados para recorrerse a pie, y para ello bastaba con que fueran estrechas veredas, que libraban las pendientes zigzagueando por cuestas empinadas y cruzaban los ríos (excepto los muy grandes) por cados o puentes de varas.

Así eran los caminos prehispánicos, o al menos los caminos ordinarios, excepción hecha de algunas rutas privilegiadas como los sacbés mayas o las calzadas que enlazaban Tenochtitlán.

La introducción de caballos y de yeguas para el transporte de mercaderías impuso varias alteraciones en los caminos, especialmente en cuanto a su anchura y la forma de afrontar pendientes y cruzar ríos, pero no en cuanto a su disposición básica.

Los principales caminos prehispánicos sufrieron modificaciones de este tipo durante la época colonial y se convirtieron en “caminos de herradura”.

Más impactante fue la introducción de carros y otros vehículos con ruedas, para los que a menudo hubo que abrir nuevos trazos, con menores pendientes y puentes adecuados.

Pero de esto se hizo poco en dicho periodo y menos aún en las zonas montañosas. Los cambios más significativos ocurrieron después, con la aparición de ferrocarriles y automóviles, que dieron lugar a otra dimensión en la geografía de los caminos, especialmente por la tecnología que permitió hacer túneles y viaductos.

Del mismo modo, la expansión del poblamiento por diversas partes del país implicó abrir caminos donde antes no los hubo.

Pero el criterio básico, el de buscar la ruta más conveniente, subsiste a la fecha, de modo que no es de extrañar que algunos tramos de los caminos más modernos repliquen el trazo de las antiguas rutas que se recorrían a pie.

Posteriormente, cuando a finales del siglo XIX se fundó la secretaria de fomento, se creó la administración general de caminos y peajes, con la cual se daba especial atención al cuidado de los caminos generales.

Sin embargo, en México como en el mundo las primeras décadas del siglo XX. Por la aparición del automóvil y sus evidentes efectos sobre el desarrollo.

Asimismo, existía la misión de poblar y comunicar al país, por lo cual en 1925, se estableció un impuesto federal de tres centavos por litro de gasolina, para ser aplicado exclusivamente a la construcción, conservación y mejora de caminos nacionales.

Ya para mediados del siglo, se intensificó el objetivo de comunicar zonas de evidente potencial económico, así como de ampliar y modernizar la infraestructura caminera.

Para ellos, a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, se destinaba el 20% del producto del impuesto especial sobre ingresos derivados de la venta, tanto de llantas como de automóviles y camiones ensamblados en México, expresamente para el fomento y construcción de caminos.

El impactante crecimiento poblacional y la industrialización de México, exigió a partir de los cincuenta la construcción de caminos para intercambios más seguros y fluidos, pues algunos estaban saturados de tránsito. Se requería para ellos incrementar los índices de circulación vehicular, mayor seguridad, comodidad y economía de tiempos y gastos.

Aunado a lo anterior, hasta 1950 las carreteras y sus estructuras fueron proyectadas para un vehículo tipo con un peso total de 13.6 toneladas.

Entre los cincuenta y sesenta el peso total se aumenta a 24.5 toneladas, a partir de 1970 a 32.5 toneladas y para los noventa a 66.5 toneladas.

Los cambios en tan solo dos décadas son significativos, pues de 4.5 toneladas por eje con velocidades de 50 a 60 kilómetros por hora, pasó a las 8 toneladas por eje y velocidades de 100 a 110 kilómetros por hora.

Así, los caminos se transformaron en autopistas durante el siglo XX, ayudados por el desarrollo tecnológico de los vehículos; las autopistas se convirtieron en el símbolo de progreso.

Concluyendo nuestro resumen y razonando de manera inversa, también es difícil adquirir conciencia del trasfondo arqueológico de la mayoría de los caminos. Por ejemplo, el espacio acotado y el gran significado simbólico de la plaza mayor de la Ciudad de México hace relativamente fácil llevar la imaginación a la antigua Tenochtitlán y recrear algo de su imagen, por más destruida que esté.

Pero se necesita un esfuerzo mayor de abstracción para darse cuenta de que al circular entre microbuses por la avenida México-Tacuba o la Calzada Ermita-Iztapalapa se está, literalmente sobre un espacio arqueológico de primer orden.

A pesar de todo, aún subsisten en todas las regiones de México trozos de caminos antiguos, prehispánicos y coloniales, que constituyen importantes piezas del patrimonio histórico y cultural del país. Por lo regular no se les distingue ni se les aprecia.

1.1 Definición de pavimentos

Un pavimento está construido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente a los agentes del intemperismo.
- Presentar una estructura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función a las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.¹

1.2 Componentes de un pavimento

En la figura siguiente se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

¹ Montejo Fonseca Alfonso, Universidad Católica de Colombia, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Angora Editores, segunda reimpresión de la segunda edición, Bogotá Colombia 2002. Pág. 1-2.

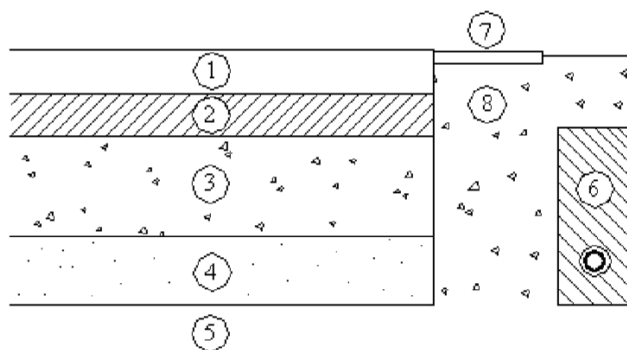


Figura 1.2.1 Sección típica de un pavimento. Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.

1. Capa de Rodadura.
2. Capa Base.
3. Capa Sub-base.
4. Suelo Compactado.
5. Subrasante.
6. Sub-drenaje longitudinal.
7. Revestimiento de Hombreras.
8. Sub-base de Hombreras².

1.3 Tipos de pavimentos

Los pavimentos se diferencian y se definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en como distribuyen los esfuerzos y deformaciones producido por los vehículos a las capas inferiores, lo que quizá constituirá un criterio de clasificación más acertado. Los pavimentos se dividen en pavimentos Flexibles, pavimentos semi-rígidos, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

1.3.1 Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

² Universidad de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, "Pavimentos Texto Guía", Brasil 2004, pág. 3-4

En la siguiente figura se muestra un corte típico de un pavimento flexible:

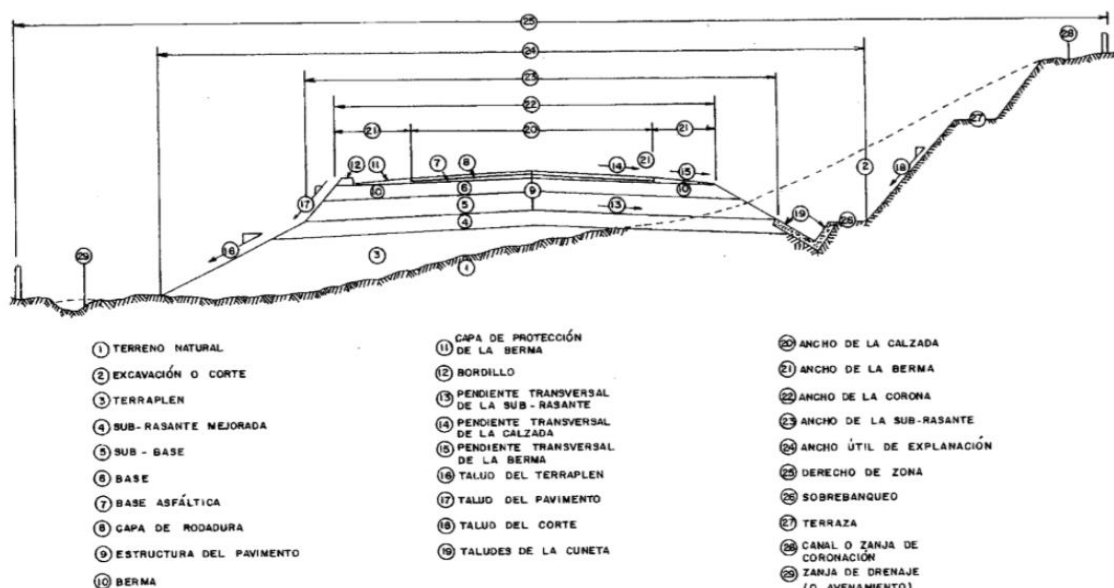


Figura 1.3.1 Sección típica de un pavimento flexible Fuente: Montejo Fonseca Alfonso, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", pág.3.

Funciones de las capas de un pavimento flexible

La sub-base granular

- **Función económica:** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica. En efecto el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo es preferible distribuirlas capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esto trae consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante resulta más económica.
- **Capa de transición:** La sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de las deformaciones:** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en el contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas) pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- **Resistencia:** La sub-base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la subrasante.
- **Drenaje:** En muchos casos la sub-base debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

Carpeta

- **Superficie de rodamiento:** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **Impermeabilidad:** Hasta donde sea posible debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- **Resistencia:** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

1.3.2 Pavimentos semi-rígidos

En términos amplios, un pavimento semi-rígido o compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base rigidizada artificialmente con aditivos como son: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos, cuya finalidad básica es corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento; junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico.

1.3.3 Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

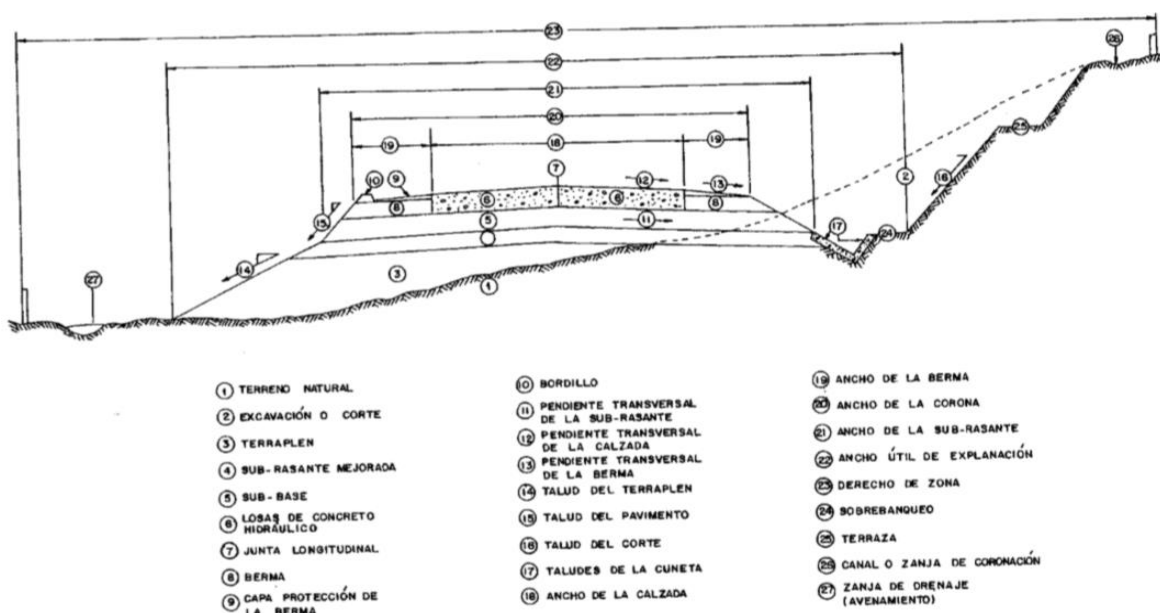


Figura 1.3.3 Sección típica de un pavimento rígido Fuente: Montejo Fonseca Alfonso, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", pág.6.

Funciones de las capas de un pavimento rígido

La Sub-base

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo firme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el pavimento flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

1.3.4 Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento.

Funciones de las capas de un pavimento articulado

La base

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados.

Capa de arena

Es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento para los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.

Adoquines

Deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito, y en especial, el desgaste producido por este.

Sello de arena

Está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuye al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.³

1.4. Características de los pavimentos

De acuerdo a la descripción en el punto 1.1 acerca de las características que debe tener un pavimento de buena calidad, en general se retoman estas con el fin de explicar más adelante los efectos de considerarlas y la problemática que esto crea en la planeación, ejecución y operación de las estructuras conformadas por pavimentos, en este caso carreteras.

Las siguientes pueden considerarse como las características fundamentales de un pavimento considerado como un conjunto:

³ Montejo Fonseca Alfonso, Universidad Católica de Colombia, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Agora Editores, segunda reimpresión de la segunda edición, Bogotá Colombia 2002. Pág. 2-8.

1.4.1 Resistencia estructural

La primera condición que debe cumplir el pavimento es soportar impuestas por el tránsito dentro de un nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. La metodología teórica para el análisis de resistencia de los pavimentos es proporcionada por la mecánica de suelos y es sabido que en este campo las teorías de falla de mayor aceptación hoy son las de esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondiente, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental.

Las teorías de capacidad de carga de la mecánica de suelos suelen referirse a medios homogéneos e isótropos. La heterogeneidad de la estructura de los pavimentos así como su anisotropía, producen así una primera incertidumbre en el planteamiento teórico de resistencia.

Además de los esfuerzos cortantes, actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y el drenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada, cuando ésta se deforma verticalmente hacia abajo. De hecho, el problema de la resistencia se plantea generalmente en relación con la estructura de los materiales del pavimento, pues aunque los materiales de las terracerías sean de baja calidad, el espesor protector que el propio pavimento representa hace que los esfuerzos que llegan a aquellos niveles alcancen valores inferiores a la capacidad de carga a la falla de los suelos.

En la determinación de la resistencia de los materiales influye en el no solo el tipo de suelo y su tratamiento, sino también su interacción con los efectos de la intemperie, de los que la variación del contenido de agua es seguramente el más importante. El ingeniero no está casi nunca en condiciones de predecir este contenido de agua y cuál será el más desfavorable para definir la resistencia del material en esta condición crítica. Esta es otra de las incertidumbres básicas del diseño, que se ha resuelto a baso de hipótesis justificadas por la experiencia.

Otro factor que influye sustancialmente en la resistencia de los materiales es el tipo de cargas que se les aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos son menos conocidos y diferentes a las cargas estáticas; esta es otra fuente de incertidumbre que se ha tratado de resolver, admitiendo que las cargas actuantes son de tipo estático.

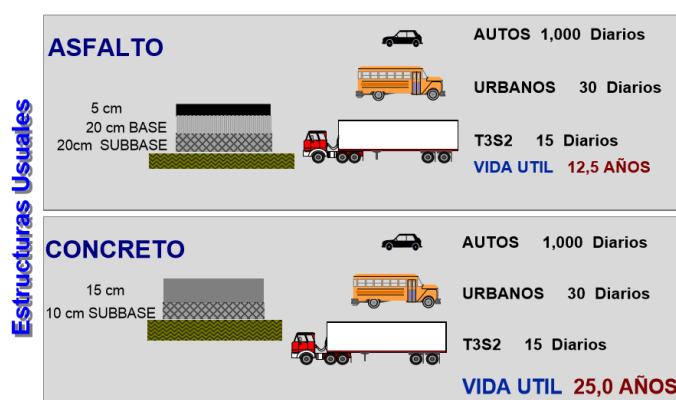


Figura 1.4.1 Comportamiento del material respecto a las cargas que actúan sobre el pavimento.

1.4.2 Deformabilidad

En algunos aspectos importantes el problema de la deformabilidad de los pavimentos tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia. Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento, propiamente dicho y dentro de este, la subrasante es mucho más deformable que las capas superiores. Desde este punto de vista la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

En los pavimentos las deformaciones interesan, como es usual en la ingeniería, desde dos puntos de vista. Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y, por otro, porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas, a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la carga deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede alcanzar valores inadmisibles. Este proceso suele ir acompañado de una densificación de los materiales de manera que el pavimento “fallado” puede ser más resistente que el original.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante y los materiales son susceptibles. Los materiales que acusan fuertes deformaciones elásticas bajo carga son muchas veces de origen volcánico. Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible; o bien se habla de la que produce la falla del camino, entendiendo por esta a la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (Criterio AASHO) o bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica (criterio británico).

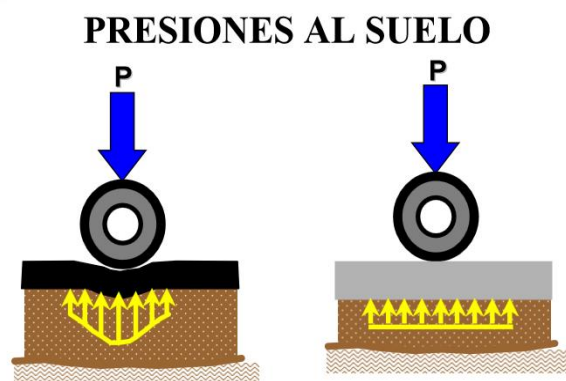


Figura 1.4.2 Las presiones transmitidas a la estructura de terracerías son menores en los pavimentos de concreto.

1.4.3 Durabilidad

Las incertidumbres ligadas a la durabilidad de un pavimento son grandes y difíciles de tratar, aun al nivel más general. Será difícil definir cuál es la durabilidad deseable que haya de lograrse en un caso dado. Evidentemente que está ligada a una serie de factores económicos y sociales del propio camino; en una obra modesta la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, que por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante. Una vez fijado el criterio que proporcione la duración deseada, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla.

Los pavimentos pueden estar expuestos durante su vida útil a circunstancias de orden extraordinario, tales como lluvias ciclónicas, inundaciones, terremotos, etc., resulta aún más complicado tratar de establecer la resistencia deseable de un pavimento ante este tipo de fenómenos o las normas de proyecto que han de implantarse para alcanzar una determinada duración.

Como consecuencia de lo anterior no se conoce ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo, racional e independiente.

1.4.4 Costo

Como todas las estructuras de ingeniería un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general, por un lado y el costo por el otro. Un diseño correcto será aquel que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo, de aquí emana uno de los aspectos de diseño más inciertos y de los que demandan mayor criterio.

La primera disyuntiva se tiene al elegir se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles o semirrígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente. En general los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa. Los pavimentos semirrígidos pueden constituir soluciones muy económicas cuando los materiales de que se dispone para la construcción los hacen convenientes, pues permiten muy apreciables reducciones en los espesores. Las normas anteriores permiten pensar que los pavimentos rígidos serán especialmente deseables en zonas urbanas, calles y avenidas y en carreteras de muy alto tránsito, en las que cualquier interrupción del servicio o deterioro del mismo sean de importancia.

Elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que intervendrán en su estructura. Es posible que estos se ofrezcan en abundancia y que el problema estriba en establecer su selección idónea, pero también es posible que escaseen a tal grado que obliguen al proyecto del pavimento en su conjunto a adaptarse a los que existan. Cuando se fijan los bancos de materiales que se utilizaran en la construcción de un pavimento sobrevienen problemas de solución incierta, en lo que refiere a la homogeneidad del banco, los métodos de extracción, tratamientos a los distintos materiales, volumen de desperdicios y el de material aprovechable, etcétera. Los cuales se reflejan mucho en los costos.

Otro de los factores que intervienen en forma decisiva en los costos de un pavimento y para cuya definición no existen tampoco reglas fijas confiables es el relativo a las normas de construcción a que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con los requerimientos de un proyecto determinado.

1.4.5 Requerimientos de la conservación

Una gran cantidad de incertidumbres de las que se plantean en la práctica de los pavimentos tienen que ver con su conservación. Los factores climáticos influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, por lo que el proyecto ha de tomarlos en cuenta para su previsión, a fin de dejar a la conservación una tarea razonable; sin embargo es obvio que tales factores involucran muchos elementos de estimación difícil, a pesar de lo cual debe intentarse siempre, conjugando la experiencia precedente con una buena información de las condiciones locales.

La intensidad del tránsito también se refleja en este aspecto; se trata ahora de ver el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de vehículos circulantes.

Otro factor a tomar en cuenta es el futuro comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, saturaciones locales, etcétera, pues de otra manera podrá llegarse a graves problemas de conservación y reconstrucción. Las condiciones de drenaje y sub-drenaje de la vía terrestre son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento, como su necesidad de conservación. El proyecto de aquellos elementos debe considerarse en muchas ocasiones como parte del diseño de los pavimentos, pues forma un todo integral inseparable.

La degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida, es otro aspecto importante a reflejarse en los requerimientos de la conservación. Aunque existen en la actualidad algunas pruebas orientadas en relación al comportamiento de los materiales, son muchas dudas que podrán presentarse en cualquier caso particular; es fundamental que sean resueltas con buen juicio y experiencia, pues es un hecho que los descuidos en este terreno se reflejan rápidamente en una conservación costosa y aún más en la necesidad de reconstrucciones. Frecuentemente los pavimentos sufren falta de conservación sistemática, con lo que su vida se acorta imprevisiblemente. Esto sucede sobre todo invocando escasez de recursos o imposterables necesidades sociales para la construcción de obras nuevas.

1.4.6 Comodidad

Especialmente en obras y caminos de primer orden, los problemas y métodos de diseño de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto. Evidentemente dentro de este requisito quedan incluidos muchos otros, de los que la seguridad es el más importante; la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor merecen también consideración.

Las deformaciones longitudinales de un pavimento pueden constituir un problema contra la comodidad. En caminos de especificaciones altas, por lo tanto, el proyectista deberá elevar su nivel de exigencia haciendo intervenir en su criterio consideraciones de esta índole, que no figuran en otros

caminos más modestos, que en menores velocidades de operación o intensidades de tránsito hacen estos problemas menos críticos.⁴

1.4.7 Comparación entre pavimentos flexibles y rígidos

Se pretende hacer una reflexión sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles y de los pavimentos rígidos, con la finalidad de proporcionar criterios que permitan optar por uno u otro en los proyectos carreteros.

El punto de vista que sirve de partida a estas reflexiones es que ambas modalidades puedan resolver satisfactoriamente los requerimientos de una carretera que se construya en el México actual, con tal de que cualquiera de las dos modalidades se proyecte o se realice convenientemente. De esta manera, los criterios diferenciales entre las dos alternativas tendrán que caer necesariamente en una de las dos vertientes siguientes:

- La económica, que se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de los vehículos que transiten sobre el pavimento considerado, con énfasis especial en los vehículos de carga.
- La funcional, entendiendo por tal, la desventaja o inconveniente que se tenga por las dificultades de tránsito que emanen de acciones de conservación importantes que conlleven interrupciones en la fluidez del mismo.

Algunos aspectos comparativos entre pavimentos rígidos y flexibles

Se confrontaron los resultados obtenidos entre pavimentos flexibles y rígidos, obteniéndose las siguientes conclusiones de interés:

- Los dos tipos de pavimento ofrecen opciones posibles para la buena construcción de carreteras.
- En ambos tipos de estructura parece no poder existir una política más perjudicial que el ahorro en la inversión inicial de construcción, sin su debido balanceo con los costos de conservación y de operación del transporte. Este balanceo puede aceptar diversas opciones estratégicas, de acuerdo con los correspondientes análisis de planeación.
- El pavimento rígido empieza a resultar preferente a medida que los tránsitos van siendo mayores (20 mil vehículos o mayores). Esta preferencia va acentuándose para tránsitos de 20 mil vehículos o mayores. Debe notarse a este respecto que en cualquier caso los pavimentos rígidos requieren de acciones de conservación mayor más espaciadas y que esas acciones implican costos no considerados en este trabajo y que se deben a dilaciones y molestias del tránsito durante los períodos de reparación. Este hecho tiende a acentuar la ventaja del uso de los pavimentos rígidos bajo tránsitos importantes.

⁴ Rico Rodríguez Alfonso, "La ingeniería de suelos en las vías terrestres Volumen 2: Carreteras, Ferrocarriles y Autopistas". Editorial Limusa, México 2005, pág. 102-106.

- En general, el costo de construcción inicial y el de conservación en el período de 30 años es mayor en los pavimentos rígidos que en los flexibles, si bien para tránsitos elevados el rígido presenta un ahorro en operación que le permite resultar más ventajoso en el balance total.
- En cada caso, debe realizarse un análisis particular que permita tomar en cuenta la disponibilidad del material, así como el precio del petróleo. Para cada caso, puede resultar más conveniente uno u otro.
- Se debe de evitar dejar deteriorar excesivamente el IIR máximo de actuación, ya que los costos de conservación serían significativamente elevados, así como el costo de oportunidad de las inversiones.⁵

Problemática

De lo expuesto anteriormente, parece desprenderse la idea de que el problema es claro y sencillo, en lo que se refiere al planteamiento básico; sin embargo, en el momento en que los criterios anteriores tratan de ajustarse a cualquier caso particular surge un gran número de incertidumbres que el panorama se oscurece y se dificulta la definición de la óptima norma de conducta. Las dificultades de orden específico son de varias clases. En primer lugar no existe una solución teórica rigurosa al problema de los pavimentos. La distribución de esfuerzos y deformaciones no puede calcularse en un sistema multicapa constituido por materiales térreos y sujeto a la acción dinámica de las cargas impuestas por el tránsito; tal es, por ejemplo, el caso de las soluciones que consideran al sistema formado por capas homogéneas, isótropas y linealmente elásticas. Aun aceptando la validez de dichas hipótesis y pasando por encima del hecho innegable de que con el uso de tales teorías el proyecto de pavimentos se complica mucho desde el punto de vista matemático al grado de escapar a las posibilidades de muchos ingenieros experimentados.

En segundo lugar, están las dificultades que actualmente presenta el valuar de un modo razonable la acción de los agentes naturales del clima a los que todo pavimento queda invariable e indefinidamente expuesto.

En tercer lugar conviene mencionar las complicaciones que introduce en el problema del proyecto el gran número de variantes posibles en los criterios a adoptar, por ejemplo ofrecer al ingeniero multitud de materiales unos más lejos y otros más cerca; la extensa posibilidad de jugar con los espesores de las diferentes capas; un mayor espesor de un material barato de baja calidad puede sustituir, incluso con ventaja, a un menor espesor de un material de mayor calidad y por ende más caro.

En cuarto lugar se considera definir una “condición de cargas exteriores” para un pavimento ya que el tránsito junto con los efectos del clima deben quedar en niveles no destructivos para el mismo; siendo estas más desconocidas y las peor estudiadas. El tránsito varía en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de los mismos y es una cara móvil, repetida y causante de esfuerzos y deformaciones transitorias y permanentes.

Existe una quinta consideración que complica mucho los criterios a utilizar en el diseño de pavimentos y es la enorme variedad de circunstancias en que tal proyecto ha de efectuarse, por ejemplo el proyecto

⁵ Alfonso Rico Rodríguez, Alberto Mendoza D., Rodolfo Téllez G. y Emilio Mayoral G., “ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS”, Publicación Técnica No. 103, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Oro, 1998.

de pavimentos de una gran autopista impone criterios que han de tener sustanciales diferencias respecto al diseño de un camino vecinal. Los factores económicos de costo, vida útil a considerar, condiciones aceptables de servicio o condiciones que ameriten compostura o reconstrucción constituyen un complejo trasfondo en todo el panorama de decisión con el proyecto y la construcción de pavimentos.⁶



Figura 1.4.7 Algunas comparaciones entre pavimentos de asfalto y concreto.

1.5 Fallas en los pavimentos

Antes que nada definiremos como falla a las condiciones que se presentan en un pavimento cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

1.5.1 Fallas funcionales

Toman en cuenta los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio. Las fallas funcionales corresponden a un defecto que se refleja en la superficie de rodamiento del pavimento y que afectan al cómodo movimiento de los vehículos.

Las fallas más comunes son:

- Las ondulaciones longitudinales.
- Deformaciones transversales.
- La textura de la superficie.
- El porcentaje de baches y áreas reparadas.

Tomando en cuenta que el índice de servicio se refiere únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento; la estructura funcional en sí, nos proporcionara un tránsito cómodo a los usuarios y

⁶ Rico Rodríguez Alfonso, "La ingeniería de suelos en las vías terrestres Volumen 2: Carreteras, Ferrocarriles y Autopistas". Editorial Limusa, México 2005, pág. 101.

una superficie de rodamiento adecuada a las necesidades de este. En su determinación o apreciación no intervendrán factores como diseño geométrico, estado de acotamientos, señalamientos, etc.

La falla funcional en si consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

1.5.2 Fallas estructurales

Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de este. En su etapa más avanzada la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto.

La identificación de una falla, que es definir su tipo y la causa que lo ha provocado, a veces es una cosa relativamente sencilla y obvia para personas experimentadas en el ramo de la construcción de carreteras. En otros casos es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona de falla, que abarque las distintas partes que forman la estructura de la obra y hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de la construcción, etc., para así poder definir el origen de los deterioros y corregirlos oportunamente. Es muy importante recalcar que se trate siempre de subsanar completamente la deficiencia que este ocasionando las fallas, corrigiendo el problema de raíz y que no se vuelva a presentar; pues es muy común que se arregle de manera provisional o superficial en el tramo fallado y se deje sin resolver el problema haciendo que los desperfectos progresen rápidamente y después se vuelva mucho más costosa su reparación.

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interface, carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es un mal acoplamiento entre el material de base y la carpeta.
- Fallas originadas en la base, sub-base o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- Fallas originadas por la repetición de cargas.
- Fallas ocasionadas por agentes climatológicos.
- Fallas ocasionadas por hormigueros.
- Fallas ocasionadas por madrigueras de algunos animales.

Ejemplos de fallas estructurales:



Figura 1.5.2.1 Fisuras y grietas por fatigamiento.



Figura 1.5.2.2 Elevaciones y hundimientos.



Figura 1.5.2.3 Depresiones y huecos.

Ejemplos de fallas funcionales:



Figura 1.5.2.4 Falla por agrietamiento (piel de cocodrilo).



Figura 1.5.2.5 Ondulaciones.



Figura 1.5.2.6 Fisuras y grietas en bloque.



Figura 1.5.2.7 Grietas de borde.



Figura 1.5.2.8 Fisuras y grietas longitudinales.



Figura 1.5.2.9 Fisuras y grietas transversales.



Figura 1.5.2.10 Grieta longitudinal en pavimento rígido.



Figura 1.5.2.11 Grieta transversal en pavimento rígido.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 Definición de pavimentos flexibles

Para definir lo que es un pavimento flexible y comprender su funcionamiento estructural, se toma lo establecido en las Normas de Construcción e Instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes donde se señala: ...es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento y cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas.

2.2 Propósitos de los pavimentos flexibles

Como propósito de los pavimentos flexibles diseñar una estructura de pavimento que cumpla con las exigencias reales del tránsito y poder garantizar el buen funcionamiento de los caminos así como considerar el menor costo inicial y con un mínimo de conservación durante la vida útil del pavimento diseñando el mínimo espesor necesario de cada una de las capas.

2.3 Tipos de pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles se subdividen en tres grupos: Pavimentos de tipo alto, pavimento de tipo mediano y pavimento de tipo bajo.

1. **Pavimento de tipo alto:** Los pavimentos de tipo alto tienen una superficie de rodamiento que soportan en forma adecuada la carga esperada de tránsito, sin deterioro visible debido a desgaste y no son susceptibles a las condiciones del tiempo.
2. **Pavimento de tipo intermedio:** Los pavimentos de tipo intermedio tienen superficies de rodamiento que van desde la superficie tratada hasta aquellos cuyas calidades son un poco inferiores a las de los pavimentos de tipo alto.
3. **Pavimento de tipo bajo:** Los pavimentos de tipo bajo se usan principalmente en caminos de bajo costo, y sus superficies de rodamiento van desde las no tratadas, pasando por materiales naturales sueltos hasta con superficie tratada.⁷

⁷ Consultado en: <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/4728>, Pág. 4.

2.4 Componentes estructurales

Bajo una carpeta bituminosa. Normalmente compuesta por una mezcla de agregados pétreos y un aglutinante asfáltico, que forman la superficie de rodamiento, se sitúan casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una base (regularmente de materia granular) y una sub-base (preferentemente también por un suelo granular en menor proporción de la base).

Bajo la sub-base se dispone generalmente de otra capa, denominada subrasante, con menores requisitos de mínima calidad que la propia sub-base, y debajo de esta capa aparece el material convencional de la terracería.

Para seleccionar las secciones estructurales de pavimentos flexibles es necesario definir el tránsito de proyecto (regularmente para un horizonte de 20 años), la región donde se ubica el pavimento y el tipo de carretera que se pretende construir. Con estos datos de entrada se debe seleccionar el grupo de secciones estructurales de pavimentos que son adecuadas para la carretera en estudio. De las secciones propuestas, el diseñador debe seleccionar la más conveniente de acuerdo a la disponibilidad de materiales y costos de los mismos.

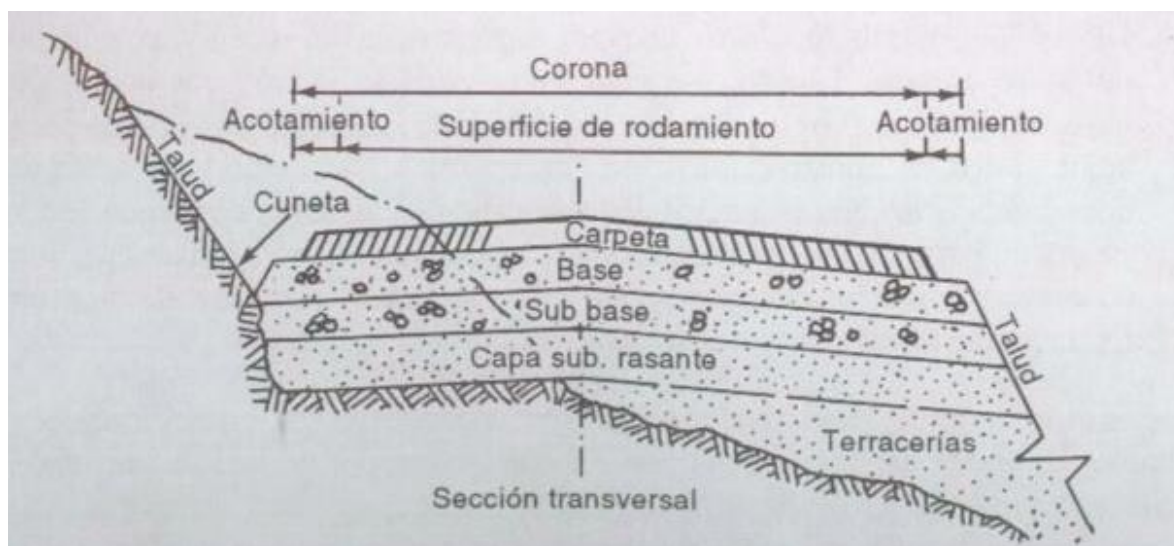


Figura 2.4.1 Sección transversal de la estructura de pavimentos flexibles.

Los componentes estructurales son los siguientes:

1. **Subrasante:** La subrasante suele ser del material natural ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, y sirve como cimiento de la estructura del pavimento. Esta se sitúa por arriba de las terracerías y es la capa que se encarga de soportar la base, sub-base y carpeta del pavimento. Se podrá necesitar tratar el material de la subrasante, para alcanzar ciertas propiedades de resistencia que se requieren para el tipo de pavimento que se esté construyendo.

2. **Sub-base:** Capa de material que se construye directamente sobre la terracería y está formado por un material de mejor calidad que ésta. Obtenido generalmente de depósitos cercanos a la obra.
3. **Base:** Capa de material que se construye directamente sobre la base, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub-base. Está formado por un material de mejor calidad que ésta, obtenido generalmente de depósitos cercanos a la obra.
4. **Carpeta:** Es la capa superior del pavimento y se construye inmediatamente arriba de la base y suele estar compuesta de una mezcla de agregados minerales y materiales asfálticos. Debe de resistir las altas presiones de los neumáticos, así como las fuerzas abrasivas del tránsito y proporcionar una superficie de manejo resistente a los derrapes y poder evitar la penetración del agua superficial a las capas subyacente.

2.5 Tipos de fallas en los pavimentos flexibles

El estado de la carretera significa conocer las buenas o las malas condiciones en que se encuentra la carretera, para esto se realiza un estudio de reconocimiento por lo menos cada 2 veces al año, preferiblemente antes y después de la temporada de lluvias, de esta manera se puede identificar las fallas en el pavimento y determinar la causa de aparición. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla, así como determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla.

Además de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no destructivas para determina la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento.

La importancia de poder identificar las fallas así como sus causas, es que permite desarrollar todo un conjunto de normas para establecer criterios de proyecto y conservación.

Las causas principales por las que se deteriora o falla un pavimento son:

1. Deficiencias en el diseño (Normativa, velocidad máxima de proyecto, curvas, pendiente gobernadora, selección en el tipo de pavimento, tráfico TDPA).
2. Deficiencias en los materiales (Selección de banco de materiales, deficiencias en la granulometría, calidad de emulsiones, calidad de los concretos).
3. Deficiencias de construcción (Procesos constructivos, deficiencia en la elección del equipo de construcción, control de calidad).
4. Deficiencias de mantenimiento (Mala elección de las estrategias, acción tardía de una estrategia)
5. Efectos del tiempo y, del medio ambiente (Temperaturas extremas, intemperismo, lluvias extraordinarias, fenómenos meteorológicos, sismos, derrumbes).
6. Incidentes ajenos (Accidentes, explosiones y volcaduras de automóviles).

Los tipos de fallas se pueden dividir en:

1. **Fallas por defectos constructivos:** Se trata de pavimentos bien diseñados con materiales suficientemente resistentes, sin embargo en su construcción se producen errores o defectos que afectan el comportamiento de la estructura en conjunto.

2. **Fallas por insuficiencia estructural:** Se produce cuando los pavimentos son construidos por materiales de baja resistencia o inapropiados y los espesores son insuficientes, esta combinación provoca un mecanismo de resistencia deficiente.
3. **Fallas por fatiga:** Se presentan en pavimentos que han tenido un buen desempeño durante su periodo de servicio y que por las continuas repeticiones de carga causadas por el tránsito sufren efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada.

2.5.1 Otros tipos de fallas en la superficie

Desprendimientos

Perdida de agregados/Calaveras o surcos/Perdida de la base/Bache superficial

Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento de mezcla asfáltica que al paso de los vehículos se va provocando el desprendimiento del material de la base.⁸

Posibles causas:

1. Esparcido irregular de asfalto.
2. Asfalto inadecuado.
3. Agregado pétreo inadecuado por falta de adherencia en la liga asfáltica.
4. Agregado sucio, con polvo adherido.
5. Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.
6. Falta de resistencia de la carpeta.
7. Defectos de construcción (espesor deficiente).
8. Drenaje inadecuado o insuficiente.
9. Desintegración localizada por tránsito.



Figura 2.5.1 Pérdida de agregados/Pérdida de la base/Bache superficial.

⁸ Sección 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html

Desprendimiento de agregados

Pequeñas depresiones en forma de cráter, formadas por la separación de los agregados gruesos de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento.

Posibles causas:

1. Falta de afinidad con el asfalto.
2. Escasez de asfalto.
3. Expansión del agregado grueso.



Figura 2.5.1.1 Desprendimiento de agregados.

Desintegración

Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen.⁹

Posibles causas:

1. Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica (envejecimiento y fatiga).
2. Acción de tránsito intenso y pesado.
3. Tendido de la carpeta en climas fríos y húmedos.
4. Agregados contaminados.
5. Contenido pobre de asfalto.
6. Sobrecalentamiento de la mezcla.
7. Compactación insuficiente.
8. Presencia de arcilla en cualquiera de las capas.

⁹ Sección 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html

9. Separación de agregados y asfalto.
10. Contaminación de solventes.
11. Sección estructural deficiente o escasa.



Figura 2.5.1.2 Desintegración.

Desprendimiento de sello/ Pérdida de capa de rodadura/Peladuras

Desintegración parcial o zonificada de la superficie de rodamiento o de tratamientos superficiales, tales como lechadas (Slurry Seal), microcarpetas, sobrecarpetas delgadas, etc. El agregado tiende a desprenderse dejando zonas expuestas por arranque de la grava.

Posibles causas:

1. Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial.
2. Mala calidad del material asfáltico.
3. Dosificación del agregado pétreo - asfalto inadecuada.
4. Ejecución de trabajos en malas condiciones de clima.
5. Compactación deficiente (si procede).
6. Fraguado incompleto después de apertura al tránsito.
7. Envejecimiento del asfalto.
8. Separación de la película de liga de los agregados por humedad.



Figura 2.5.1.3 Pérdida de rodadura.



Figura 2.5.1.4 Desprendimiento de sello.

Alisamientos

Llorado de asfalto

Flujo de liberación de asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas.¹⁰

Posibles causas:

1. Exceso de asfalto en la dosificación.
2. Excesiva compactación.
3. Temperatura de compactación muy elevada.
4. Sobredosificación del riego de liga.
5. Derrame de solvente.



Figura 2.5.1.5 Llorado de asfalto.



¹⁰ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html

Desgaste de los agregados

Inclusión de materiales diferentes o ajenos a los especificados, los cuales pueden presentar una cara plana en la superficie reduciendo la fricción entre la carpeta y el neumático.

Posibles causas:

1. Uso de áridos (agregado) suaves, como por ejemplo las calizas susceptibles al pulimiento.
2. Dosificación inapropiada.
3. Control de calidad pobre.
4. Contaminación de bancos de agregados.

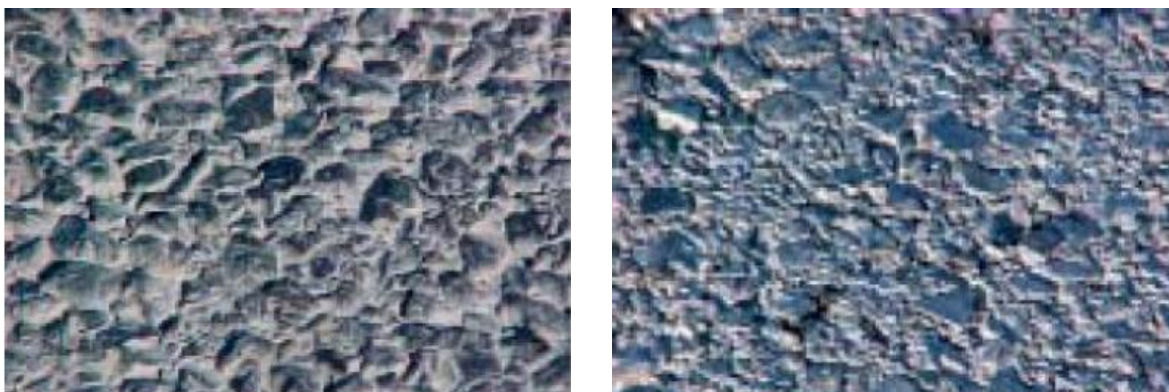


Figura 2.5.1.6 Desgaste de los agregados.

Pulido de superficie

Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas, a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.¹¹

Posibles causas:

1. Tránsito intenso.
2. Agregado grueso de la capa con baja resistencia al desgaste.
3. Excesiva compactación.
4. Mezclas demasiado ricas en asfalto.
5. Agregados no apropiados a la intensidad del tránsito.
6. Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta, o en la base cuando se trata.

¹¹ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html



Figura 2.5.1.7 Pulido de superficie.

Expulsión de finos y afloramiento de humedad

Corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno.

Posibles causas:

1. Acumulación de agua libre en capas subyacentes.
2. Exceso de finos en capas de la sección del pavimento.
3. Expulsión de cemento a través de grietas, en bases estabilizadas.
4. Acción de tránsito intenso.
5. Ausencia o inadecuado sistema de sub-drenaje.
6. Zonas mal compactadas.
7. Flujo capilar del agua.



Figura 2.5.1.8 Expulsión de finos y afloramiento de humedad.

Deterioros en la estructura

Deformaciones

Roderas o canalizaciones

Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos.¹²

Posibles causas:

1. Baja estabilidad de la carpeta.
2. Carpeta mal compactada.
3. Consolidación de una o varias capas subyacentes.



Figura 2.5.1.9 Roderas.

Ondulaciones transversales (corrugaciones)

Deformaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular a la dirección del tránsito con crestas y valles alternado, regularmente con separación menor a 60 cm entre ellas. Generalmente están acompañadas, en los sitios críticos, por grietas semicirculares.

Posibles causas:

1. Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
2. Estabilidad de la mezcla deficiente.
3. Acción de tránsito intenso.
4. Bases de mala calidad.
5. Fuerzas tangenciales productos de aceleraciones y frenados de los vehículos.
6. Mala calidad de los materiales de suelos de cimentación.
7. Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores.

¹² Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html



Figura 2.5.1.10 Ondulaciones transversales.

Protuberancias

Desplazamiento del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando unos montículos de considerables dimensiones.¹³

Posibles causas:

1. Acción del tránsito intenso.
2. Estabilidad inadecuada.
3. Compactación inadecuada.
4. Deformaciones plásticas de los materiales.
5. Acción de heladas.



Figura 2.5.1.11 Protuberancias.

¹³ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html

Asentamientos transversales y longitudinales

Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en sentido transversal o longitudinal al eje del camino.

Posibles causas:

1. Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
2. Cargas excesivas o superiores a las de diseño.
3. Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén.
4. Compactación inadecuada.
5. Procedimientos de construcción inadecuados.
6. Drenaje o sub-drenaje deficientes.



Figura 2.5.1.12 Asentamientos transversales y longitudinales.

Desplazamiento de la sección del pavimento

Protuberancias prolongadas de magnitud considerable en la dirección del tránsito, al borde de la carretera, causando la destrucción total en corto plazo.¹⁴

Posibles causas:

1. Fuertes asentamientos longitudinales.
2. Falta de capacidad estructural del pavimento.
3. Sobrecargas intensas.

¹⁴ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html

4. Nula estabilidad de la carpeta.
5. Nula compactación.
6. Nulo soporte lateral o confinamiento.



Figura 2.5.1.13 Desplazamiento de la sección del pavimento.

Agrietamientos

Grietas longitudinales y transversales

Corresponden a fisuras en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él.

Posibles causas:

1. Deficiencias en las juntas de construcción longitudinal y/o transversal.
2. Reflejo de grietas en capas subyacentes.
3. Asentamiento de capas a causa del tránsito.
4. Espesor insuficiente.
5. Fatiga de la estructura.



Figura 2.5.1.14 Grietas longitudinales y transversales.

Piel de cocodrilo

Figuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. Las aberturas de las grietas van aumentando conforme avanza el deterioro y generalmente presentan un hundimiento el área afectada.

Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto hidráulico.¹⁵

Posibles causas:

1. Soporte inadecuado de la base.
2. Debilidad de la estructura del pavimento.
3. Fuertes solicitaciones de tránsito.
4. Fatiga.
5. Envejecimiento.
6. Espesor de estructura insuficiente.

¹⁵ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html



Figura 2.5.1.15 Piel de cocodrilo.

Grietas tipo mapa

Forma de desintegración de la superficie de rodamiento, en la cual el agrietamiento se desarrolla en un patrón semejante a las subdivisiones políticas de un mapa, con polígonos mayores a 20 cm.



Figura 2.5.1.16 Grietas tipo mapa.

Grietas parabólicas

Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito.

Posibles causas:

1. Carpeta asfáltica débil.
2. Zonas de frenado de las ruedas.
3. Efecto en el arranque de las ruedas.
4. Mezcla inestable.



Figura 2.5.1.17 Grietas parabólicas.

Grietas de reflexión

Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente cuando es reencarpetao con concreto asfáltico.¹⁶

Posibles causas:

1. Movimiento del pavimento subyacente.
2. Liga inadecuada entre capas.
3. Posibles contracciones de la capa subyacente.
4. Generadas por el movimiento por las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y humedad.

¹⁶ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html



Figura 2.5.1.18 Grietas de reflexión.

Grietas en zig-zag

Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma de zig-zag.

Posibles causas:

1. Acción de hielo.
2. Cambios extremos de temperatura.
3. Base defectuosa.
4. Terraplenes con taludes inestables.



Figura 2.5.1.19 Grietas en zig-zag.

Deterioros por defectos constructivos

Deterioros que se producen por defectos en la construcción de instalaciones, red de servicios (agua, gas, etc.) bajo los pavimentos o en la reparación de la estructura del pavimento. Siguen un patrón bien definido en concordancia con la instalación. Se muestran como hundimientos localizados, grietas longitudinales o transversales, etc.¹⁷

Posibles causas:

Para las instalaciones y servicios.

1. Inadecuado relleno de zanjas abiertas para colocar instalaciones o equipamientos.
2. Inadecuada estructura del pavimento sobre relleno de zanjas.
3. Materiales inadecuados en el relleno de zanja y en el pavimento sobre él.

Para la reparación de la estructura del pavimento.

1. Procesos constructivos deficientes.
2. Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron.
3. Deficiencias en las juntas.
4. Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).



Figura 2.5.1.20 Instalaciones y servicios.

¹⁷ Section 4: "Pavement Types" Disponible en Internet
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.html



Figura 2.5.1.21 Reparación de la estructura del pavimento.

CARPETAS ASFÁLTICAS

3.1 Definición de carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por lo general requieren cribado y triturado para utilizarse.

3.2 Clasificación de las carpetas asfálticas

Las carpetas asfálticas empleados en los pavimentos flexibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Tratamientos superficiales
 - Simple o de un riego
 - Doble o de dos riegos
 - Triple o de tres riegos
- b) Macadam asfáltico
- c) Mezcla en el lugar
 - Elaborado con motoconformadora
 - Elaborada con mezcla ambulante
- d) Mezcla en planta
 - Dosificada por volumen

Antes de explicar en qué consiste cada una de las carpetas asfálticas ya indicadas, es necesario hacer notar que para construir cualquiera de ellas, se debe contar de antemano con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

El riego de impregnación consiste en lo siguiente: se procede a barrer la base, para retirarle el material suelto y el exceso de polvo en la superficie. Inmediatamente se le da un riego de producto asfáltico de

fraguado medio a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, esperando unos dos días para que penetre y seque. El número del fraguado medio a emplear depende de la textura de la base.

En términos generales se puede decir que es aconsejable emplear el FM-2 en bases de textura abierta, el FM-1 en las medias y el FM-0 en las cerradas.

3.2.1 Tratamientos superficiales

Como se observa anteriormente en el diagrama 3.2, las carpetas asfálticas de tratamientos superficiales se dividen en: tratamiento superficial simple o de un riego, tratamiento superficial doble o de dos riegos y tratamiento superficial triple o de tres riegos, de los cuales se explica a continuación en que consiste cada uno de ellos.

Tratamiento superficial simple

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 3A (clasificado entre las mallas de 3/8" a #8) a razón de 6 a 8 litros por metro cuadrado; se rastrea para uniformar la superficie y se plancha con plancha liviana de 5 a 8 toneladas, pudiendo abrirse al tránsito unos días después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a formar ondulaciones en la carpeta. Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 200 vehículos por día. En zonas de alta precipitación pluvial, conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble como se indica a continuación, para mayor eficiencia del pavimento.

Si se emplea emulsión asfáltica puede emplearse de 1.3 a 1.4 litros por metro cuadrado y de 10 a 12 l/m² de material pétreo 3A o 3E. Si se desea usar un mortero asfáltico como tratamiento superficial puede hacerse con arena 100%, emulsión 12 a 15%, agua 15 a 18% y filler de 1 a 3%. El filler puede ser cal o cemento.

Tratamiento superficial doble

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas de 1/2" a 1/4") a razón de 12 a 14 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 toneladas de peso. Dos o tres días después se barre y se le da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado y se cubre inmediatamente con material pétreo #3B (clasificado entre las mallas 1/4" y #8), se rastrea para uniformar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 toneladas. Tres días después puede abrirse al tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 600 vehículos por día. Si se emplea emulsión asfáltica puede usarse en el primer riego la cantidad de 1.2 lt/m² cubriéndolos con 12 lt/m²

de material pétreo #2 y en el segundo riego usar 1.5 lt/m² de emulsión cubriéndola con 7 lt/m² de material pétreo 3B.

Tratamiento superficial triple

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se constituye de la siguiente manera:

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo numero 1 (clasificado entre las mallas de 1" a ½") a razón de 20 a 22 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 toneladas de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre esta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Esta carpeta admite perfectamente bien los 1,000 vehículos por día.

3.2.2 Macadam asfáltico

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligará a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

El orden de operaciones de construcción es el siguiente:

Encontrándose la base debidamente compactada, impregnada, limpia y seca se da la primera aplicación de agregado grueso con un esparcidor o con una tolva esparcidora adaptada a un camión de volteo. Esta capa se compacta con aplanadora de 10 a 12 toneladas de peso o preferentemente con un vibrador, para acomodar el agregado en su sitio. Compactada esta capa, se da una aplicación de producto asfáltico. Viene la segunda aplicación de agregados de un tamaño menor y de igual forma en menor cantidad esparcidos uniformemente para llenar los huecos dejados en la primera capa. Deben emplearse rastras para ayudar a distribuir este agregado de cierre. Sigue inmediatamente la compactación con aplanadora de 10 a 12 toneladas, según vibrador, mientras el asfalto este todavía caliente para lograr así una mejor unión. Se da entonces la nueva aplicación del mismo producto asfáltico aplicado en menor cantidad y de inmediato una cantidad y tamaño aún menor de agregado de cierre que actúa como riego de sello. Se da luego una combinación de rastra y compactación con el fin de llenar los huecos y tener una textura uniforme. El primer material pétreo se conoce como material grueso, el segundo como material de encaje y el tercero como material fino. El producto asfáltico empleado es generalmente el FR-3, entre 65°C y 95 °C, pero puede emplearse cualquier tipo según el clima. La graduación del material debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3.2.2 Graduación del material y su porcentaje en peso que pasa por las mallas.

Malla	% en peso del material que pasa las mallas:		
	Material grueso	Material de encaje	Material fino
2-1/4"	100		
2"	90 - 100		
1-1/2"	30 - 55		
1-1/4"	0 - 15		
1"	0 - 5		
3/4"		100	
5/8"		90 - 100	100
1/2"		40 - 70	90 - 100
3/8"		0 - 15	30 - 50
4		0 - 5	0 - 8
10			0 - 3

3.2.3 Mezcla en el lugar

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes. El procedimiento es el siguiente:

Estando la base conformada, compactada, impregnada y seca, se acordonara el material pétreo (que con anterioridad ha sido aprobado por un laboratorio por cumplir con las especificaciones de desgaste, granulometría, adherencia, etc.) y después se extenderá en una capa de espesor uniforme a lo largo del camino y se darán riegos sucesivos de producto asfáltico a razón de 3 a 4 litros por metro cuadrado hasta completar la cantidad determinada como optima por medio de pruebas de laboratorio. Se puede agregar al asfalto un aditivo a razón de 0.5 al millar para darle trabajabilidad aun a temperatura baja de la mezcla (10 °C).

Después de cada riego de producto asfáltico sobre el material pétreo, se procederá a voltear este con la motoconformadora con el objeto de que se mezcle bien el producto asfáltico con el material pétreo. Al final del mezclado el material debe presentar un aspecto uniforme en cuanto a granulometría y color. Al terminar el proceso del mezclado, se acordona el material a un costado, se le da a la base un riego de liga de 0.5 litros por metro cuadrado de FR-3, e inmediatamente se tiende la mezcla sobre el riego de liga, se conforma cuidadosamente y se le da una planchada ligera para acomodarla simplemente, después de lo cual se deja pasar el tiempo necesario para que el producto asfáltico la mayor parte de su fraguado procediendo después a su compactación. La pérdida de solventes necesaria para que la mezcla pueda ser compactada debe ser determinada por un laboratorio. Cuando se usen mezcladoras ambulantes, el material pétreo se acordonara a lo largo del camino para que pueda ser recogido por la mezcladora dentro de la cual se le adicionara y revolverá la cantidad de producto asfáltico necesaria. Estando la mezcla perfectamente revuelta en la máquina, se da a la base el riego de liga de 0.5 litros de FR-3 por metro cuadrado y se procede al tendido conformado y planchado como se indicó anteriormente.

Terminada la carpeta asfáltica, si su índice de impermeabilidad es mayor a 10, debe aplicarse otro riego de sello. El riego de sello consiste en darle a la carpeta asfáltica un riego de FR-3 a razón de 1.0 litro por metro cuadrado y cubrirlo inmediatamente con material #3B el cual se compacta con plancha liviana.

3.2.4 Mezcla en planta por dosificación por volumen

Se llevan a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces calentando también el agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea extremadamente riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes por lo que su uso no se ha generalizado. Las plantas que son típicas en la elaboración de mezclas para carpetas de alta calidad suelen ser de tipo continuo o de mezclas por peso.

3.2.5 Concretos asfálticos

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es seco y calentado entre 135 °C y 177 °C en la planta antes de entrar a la mezcladora. Después de calentado, el agregado se criba en los tamaños especificados, que se depositan en compartimientos, listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregado, se procederá a pesarlos exactamente, proporcionando sus cantidades de acuerdo con lo anteriormente explicado, de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado. El cemento asfáltico se calienta en tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme. No deberá calentarse a más de 177 °C. La cantidad de cemento asfáltico la fija el laboratorio.

El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que se termine de introducir el cemento asfáltico, hasta que salga de la mezcladora. La mezcla será transportada de la planta de mezclado al lugar de uso en camiones de volteo, que deberán limpiarse cuidadosamente para evitar que entren materias extrañas a la mezcla y untarse en el interior aceite para evitar que la mezcla se adhiera, así como también una lona o encerado que cubra la mezcla mientras dura el transporte, en casos de tiempo inciertos o distancias a recorrer muy largas. La mezcla solo se extenderá cuando la base cuando este seca y las condiciones del tiempo lo permitan. La mezcla se esparcirá en fajas de 3 a 3.60 metros de ancho, en capas de espesor uniforme, por medio de una maquina terminadora¹⁸.

3.3 Materiales para carpetas asfálticas

Generalidades

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos, hoy día los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados. Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción, es la siguiente: Un pavimento es tan bueno como los

¹⁸ Crespo Villalaz Carlos, "Vías de comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos". Editorial Limusa, México 2004, págs. 283-291.

materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas diferentes.

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: agregado pétreo y asfalto, por consiguiente se explican a continuación las características, propiedades y usos posibles para cada uno de estos materiales.¹⁹

3.3.1 Materiales pétreos

También conocido como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y 95%, en peso y entre el 75 y 85% en volumen de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

Clasificación de agregados

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas y metamórficas, esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca, y a continuación definiremos cada una de ellas.

- **Rocas sedimentarias:** se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de planta (carbón), y de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquier de estos tipos de materiales.
- **Rocas ígneas:** constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado.

Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

- **Las rocas ígneas extrusivas:** son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmosfera. La riolita, andesita y el basalto son ejemplos de estas rocas.
- **Las rocas intrusivas:** se forman a partir del magma que se queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia, siendo ejemplos el granito, diorita y gabro.

¹⁹ Consultado en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>; capítulo 2. Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos, Págs. 20.

- **Rocas metamórficas:** son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas.

Fuentes de agregados. Los agregados usados en pavimentos asfálticos se clasifican generalmente de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

- **Agregados naturales:** son aquellos utilizados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define usualmente como partículas de tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4 "). La arena se define como partícula de tamaño menor de 6.35 mm (1/4") pero mayor que 0.075 mm (No 200). Las partículas menores que 0.075 mm son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.
- **Agregados procesados:** son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezclas asfálticas y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidas en tamaño. La roca es triturada por tres razones:
 - Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa.
 - Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular.
 - Para reducir y mejorar la distribución del rango (granulometría) de los tamaños de partículas.
- **Agregado sintético:** o agregados artificiales existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales, algunos son subproductos de procesos industriales de producción como refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de material prima por ejemplo los ladrillos.²⁰

Los materiales pétreos para pavimentos deberán provenir únicamente del volumen de material pétreo en estudio. Se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales, o durante las maniobras de carga y descarga.

El muestreo además incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras con la norma NCMT 4 04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas y el manual M CAL 1 02 Criterios Estadísticos de Muestreo.

Según el tipo de mezcla que se vaya a utilizar, se clasifican en:

- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa.
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta.
- Materiales pétreos para mortero asfáltico.

²⁰ Consultado en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>; capítulo 2. Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos, Págs. 36-39.

- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos.
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones.

1. Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa

El material pétreo que se utilice con mezcla en caliente o en frío, estar en función de su tamaño nominal y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirá con lo que se indica en los siguientes puntos:

- a. Cuando el tránsito esperado (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material pétreo según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que a continuación se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 3.3.1.1 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10 \wedge 6$).

MALLA		TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PÉTREO mm (in)				
ABERTURA mm.	DESIGNACIÓN	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 ½)	50 (2)
PORCENTAJE QUE PASA						
50	2"	-----	-----	-----	-----	100
37.5	1 ½"	-----	-----	-----	100	90-100
25	1"	-----	-----	100	90-100	76-90
19	¾"	-----	100	90-100	79-92	66-83
12.5	½"	100	90-100	72-89	64-81	53-74
9.5	3/8"	90-100	79-82	67-82	56-75	47-68
6.3	¼"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4.75	No. 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No.10	48-64	41-55	36-46	30-42	26-38
0.85	No. 20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0.45	No. 40	23-47	20-32	18-27	15-24	13-21
0.25	No. 60	17-29	15-25	13-21	11-19	9-16
0.15	No. 100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0.075	NO. 200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

Tabla 3.3.1.2 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10 \wedge 6$).

CARACTERÍSTICA	VALOR
DENSIDAD RELATIVA, MÍNIMO	2.4
DESGASTE LOS ANGELES; % MÁXIMO	35
PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS; % MÁXIMO	40
EQUIVALENTE DE ARENA; % MÍNIMO	50
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA; % MÁXIMO	25

- b. Si el tránsito esperado (ΣL) es mayor de un (1) millón de ejes equivalentes, el material pétreo cumplirá con las características granulométricas y requisitos de calidad indicados en las tablas siguientes.

Tabla 3.3.1.3 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL).

MALLA		TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PÉTREO mm (in)				
ABERTURA mm.	DESIGNACIÓN	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)	50 (2)
PORCENTAJE QUE PASA						
50	2"	-----	-----	-----	-----	100
37.5	1 1/2"	-----	-----	-----	100	90-100
25	1"	-----	-----	100	90-100	74-90
19	3/4"	-----	100	90-100	79-90	62-79
12.5	1/2"	100	90-100	72-90	58-71	46-60
9.5	3/8"	90-100	76-90	60-76	47-60	39-50
6.3	1/4"	70-81	56-69	44-57	36-46	30-39
4.75	No. 4	56-69	45-59	37-48	30-39	25-34
2	No. 10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0.85	No. 20	18-27	15-22	12-19	9-16	6-13
0.425	No. 40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0.25	No. 60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0.15	No. 100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0.075	NO. 200	2-7	2-6	2-5	1-4	0-3

Tabla 3.3.1.4 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma L > 10^6$).

CARACTERÍSTICA	VALOR
DENSIDAD RELATIVA, MÍNIMO	2.4
DESGASTE LOS ANGELES; %, MÁXIMO	30
PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS; %, MÁXIMO	35
EQUIVALENTE DE ARENA; %, MÍNIMO	50
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA; %, MÁXIMO	25

2. Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta

El material pétreo que se utilice en este tipo de carpeta asfáltica, generalmente con mezcla en caliente, deberá cumplir con las características granulométricas mostradas en la tabla siguiente, en función del espesor de la carpeta; así mismo con los requisitos de calidad que se indican.

Tabla 3.3.1.5 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA	
ABERTURA mm.	DESIGNACIÓN	PARA ESPESORES ≤ 4 cm.	PARA ESPESORES > 4 cm.
25	1"	-----	100
19	3/4"	100	62-100
12.5	1/2"	65-100	45-70
9.5	3/8"	48-72	33-58
6.3	1/4"	30-52	22-43
4.75	No. 4	18-38	14-33
2	No. 10	5-19	5-19
0.075	No. 200	2-4	2-4

Tabla 3.3.1.6 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.

CARACTERÍSTICA [1]	VALOR
DENSIDAD RELATIVA, MÍNIMO	2.4
DESGASTE LOS ANGELES; %, MÁXIMO	30
PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS; %, MÁXIMO	25
EQUIVALENTE DE ARENA; %, MÍNIMO	50
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA; %, MÁXIMO	25

EL MATERIAL DEBE SER 100% PRODUCTO DE TRITURACIÓN DE ROCA SANA.

3.- Materiales pétreos para carpetas de mortero asfáltico

El material pétreo que se utilice en elaboración de carpetas de mortero asfáltico, generalmente con mezcla en frío, deberá cumplir con las características granulométricas y de calidad de las tablas siguientes.

Tabla 3.3.1.7 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de mortero asfáltico.

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA
ABERTURA mm.	DESIGNACIÓN	
4.75	No. 4	100
2	No. 10	89-100
0.85	No. 20	43-72
0.425	No. 40	26-53
0.25	No. 60	17-41
0.15	No. 100	10-30
0.075	No. 200	5-15

Tabla 3.3.1.8 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de mortero asfáltico.

CARACTERÍSTICA	VALOR
DESGASTE POR ABRASIÓN EN HÚMEDO; %, MÁXIMO	10
EQUIVALENTE DE ARENA; %, MÍNIMO	50
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA; %, MÁXIMO	25

4.- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos

El material pétreo a utilizarse en la elaboración de estas carpetas, según su denominación, cumplirá con las características granulométricas y requisitos de calidad indicados a continuación.

Tabla 3.3.1.9 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas por el sistema de riego.

MALLA		DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO				
ABERTUR A mm.	DESIGNACIÓ N	1	2	3-A	3-B	3-E
PORCENTAJE QUE PASA						
31.5	1 ¼"	100	-----	-----	-----	-----
25	1"	95 MÍNIMO	-----	-----	-----	-----
19	¾"	-----	100	-----	-----	-----
12.5	½"	5 MÁXIM O	95 MÍNIMO	100	-----	100
9.5	3/8"	-----	-----	95 MÍNIMO	100	95 MÍNIMO
6.3	¼"	0	5 MÁXIMO	-----	95 MÍNIMO	-----
4.75	No. 4	-----	-	-----	-----	5 MÁXIM O
2	No.10	-----	0	5 MÁXIM O	5 MÁXIM O	0
0.425	No. 40	-----	-	0	0	-----

Tabla 3.3.1.10 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas por el sistema de riego.

CARACTERÍSTICA	VALOR
DESGASTE LOS ANGELES; %, MÁXIMO	30
PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS; %, MÁXIMO	35
INTEMPERISMO ACELERADO; %, MÁXIMO	12
DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN; %, MÁXIMO	25
CUBRIMIENTO CON ASFALTO (MÉTODO INGLÉS); %, MÍNIMO	90

5.- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

El material pétreo a utilizarse en la elaboración de estas carpetas, cumplirá con las características granulométricas y requisitos de calidad indicados a continuación.

Tabla 3.3.1.11 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas para guarniciones.

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA
ABERTURA mm.	DESIGNACIÓN	
19	¾"	100
12.5	½"	87-100
9.5	3/8"	79-100
6.3	¼"	68-100
4.75	No. 4	60-100
2	No. 10	40-91
0.85	No. 20	28-61
0.425	No. 40	20-42
0.25	No. 60	14-13
0.15	No. 100	10-25
0.075	No. 200	3-15

Tabla 3.3.1.12 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas para guarniciones.

CARACTERÍSTICA	VALOR
EQUIVALENTE DE ARENA; %, MÍNIMO	50

Lo anterior se complementa con las siguientes pruebas, que les serán aplicadas, para un mejor aprovechamiento de sus características granulométricas y calidad de los mismos.

Granulometría de materiales para mezclas asfálticas

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas del material pétreo empleado en mezclas asfálticas, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas.

El paso del material se hace primero a través de las mallas con abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así poder obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y definir la masa que pasa.

Densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas

Esta prueba permite determinar la densidad relativa de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas con el fin de conocer la masa de sólidos por unidad de volumen de dichos sólidos sin vacíos en cada una de sus fracciones, ya sea arena con finos o grava, respecto a la densidad del agua.

Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas

Esta prueba permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla N° 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

Partículas alargadas y lajeadas de materiales pétreos para mezclas asfálticas

La prueba consiste en separar el material retenido en la malla N° 4 de una muestra de materiales pétreos, para determinar la forma de cada partícula empleando calibradores de espesor y de longitud.

Desgaste mediante la prueba de los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas

La prueba consiste en colocar una muestra del material con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, en donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado, midiendo la variación granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla N°12 (1.7 mm de abertura), antes y después de haber sido sometida a este tratamiento.

Intemperismo acelerado de materiales pétreos para mezclas asfálticas

La prueba consiste en someter a varios ciclos de saturación y secado los diferentes tamaños de la fracción de agregado grueso (gravas) de una muestra de materiales pétreos, mediante el empleo de una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, y medir la diferencia de su masa antes y después de haber sido sometido a este tratamiento.

Desprendimiento por fricción en materiales pétreos para mezclas asfálticas

El objetivo de la prueba es determinar la pérdida de la película asfáltica en los materiales pétreos.

La prueba consiste en someter a la acción del agua y a varios ciclos de agitado dentro de un frasco de vidrio, varias muestras de mezcla asfáltica de granulometría definida, evaluando su estado físico una vez sometidas a este tratamiento.

Cubrimiento con asfalto mediante el método inglés de materiales pétreos para mezclas asfálticas

El objetivo de la prueba es determinar la susceptibilidad al desprendimiento de los asfaltos adheridos a los materiales pétreos por efectos del agua. La prueba consiste en someter a la acción del agua un conjunto de partículas del material pétreo, de tamaños previamente definidos, las cuales se incrustan en una película de material asfáltico y evaluar el cubrimiento con asfalto sobre sus superficies, por comparación entre las superficies cubiertas y la superficie total de la muestra.

3.3.2 Materiales asfálticos

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo principalmente constituidos por asfaltenos, resinas y acetites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad.

En México este tipo de productos se emplea para la construcción de carpetas asfálticas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (CA-6). Con la entrada de México al TLC se tuvieron que adecuar las normas mexicanas a las de ACTM y a las especificaciones del SEP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras) de la ASTM (American Standard Test Material). De ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir capas del pavimento o bien para

estabilizar bases o sub-bases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.²¹

3.4 Clasificación de los materiales asfálticos

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 14. Clasificación de los materiales asfálticos.

Material Asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de sub-bases y bases hidráulicas

3.4.1 Cementos asfálticos

Los cementos asfálticos son obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licuan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a 60 °C (Tomado de la norma N. CMT. 4. 05. 001/00.) Los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la siguiente tabla donde se señalan los usos más comunes de cada una (ver figura 3.4.1).

²¹ Narváez Castañeda José Alfredo, Tesis de licenciatura: *Carpetas asfálticas*, Instituto Politécnico Nacional, México 2009. Págs. 23-32.

Tabla 3.4.1 Clasificación de cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ¹¹)	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<ul style="list-style-type: none"> En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	<ul style="list-style-type: none"> En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	<ul style="list-style-type: none"> En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	<ul style="list-style-type: none"> En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.



Figura 3.4.1 Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas.

Requisitos de calidad para cementos asfálticos.

Tabla 16. Requisitos de calidad para cementos asfálticos clasificado por viscosidad dinámica a 60°C. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s ($P^{(1)}$)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s ($P^{(1)}$), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

Pruebas para determinar las propiedades del cemento asfáltico

Las pruebas necesarias para determinar y medir las siguientes propiedades: viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad y peso específico. A continuación se describen a detalle:

- **Viscosidad:** Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren generalmente de ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60°C y 135°C. La viscosidad a 60°C es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando.
- **Penetración:** El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C. La prueba normal de penetración consiste, como primera medida en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 segundos. La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada la penetración de la muestra.

- **Punto de inflamación:** El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un destello en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste tan solo en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado con su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado.

El procedimiento básico para determinar el punto de inflamación consiste en calentar, gradualmente, una muestra de cemento asfáltico en una copa de latón mientras se está aplicando una pequeña llama sobre la superficie. La temperatura a la cual se presentan destellos instantáneos de vapores sobre la superficie se denomina punto de inflamación.

- **Pruebas de película delgada en horno y de película delgada en horno rotatorio:** Estas pruebas no son verdaderas pruebas. Solamente son procedimientos que se exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que se aproximan a las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de estas pruebas, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.
- **Ductilidad:** Es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de extensión en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica de 25°C. El estiramiento continúa hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo de material en el momento del corte se mide en cm, y se denomina ductilidad de la muestra.
- **Solubilidad:** El ensayo de solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, carbono libre y los contaminantes orgánicos, no se disuelven sino que se depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.
- **Peso específico:** Es la proporción del peso de cualquier volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Como ejemplo, una sustancia con un peso específico de 1.6 pesa 1.6 veces más que el agua. El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen.
- El peso específico de un asfalto esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.²²

3.4.2 Emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas aniónicas cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas catiónicas, cuando les confiere polaridad electropositiva.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.
- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Las de rompimiento rápido, medio y lento son las más comunes en cuanto a utilización en la construcción de carpeta asfáltica.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la siguiente tabla de la NORMA N. CMT. 4. 05. 001/00.

²² Consultado en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>; capítulo 2. Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos, Págs. 25-29.

Tabla 17. Clasificación de emulsiones asfálticas. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobrestabilizada	

Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas:

Tabla 18. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	---	---	---	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	---	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	90	90	90	90	---
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	75	75	75	75	---
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	---	---	---	---	2	2	---
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín	50 mín	30 máx	30 máx	---	---	---
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^{1/3})	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200	50-90	100-200	50-90	100-200	50-90	150-250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas:

Tabla 19. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECL-45	ECS-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	---	---	---	---	25	5	25
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	5	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máx	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	---	90	90	---	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	---	75	75	---	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	---	3	3	5	---	15	---
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	---	> 120
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P [1])	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración ^[2] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	110-250	110-250	110-250	100-250	100-250	100-400	100-250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	---
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	---

3.4.3 Asfaltos rebajados

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y sub-bases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la siguiente tabla de la Norma N. CMT. 4. 05. 001/00.

Tabla 3.4.3 Clasificación de los asfaltos rebajados. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

Los asfaltos rebajados deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla de la Norma N. CMT. 4. 05. 001/00.²³

Tabla 21. Requisitos de calidad para los asfaltos rebajados. Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

Características	Grado	
	FM-1	FR-3
Del asfalto rebajado:		
Punto de inflamación Tag; °C, mínimo	38	27
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s	75 - 150	---
Viscosidad Saybolt-Furol a 60°C; s	---	250 - 500
Contenido de solvente por destilación a 360°C, en volumen; %		
Hasta 225°C	20 máx	25 mín
Hasta 260°C	25 - 65	55 mín
Hasta 315°C	70 - 90	83 mín
Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C, en volumen, %, mínimo	60	73
Contenido de agua por destilación a 360°C, en volumen, %, máximo	0,2	0,2
Del residuo de la destilación:		
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1]), máximo	200 ± 40 (2 000 ± 400)	200 ± 40 (2 000 ± 400)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	120 - 300	80 - 120
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	100	100
Solubilidad; %, mínimo	99,5	99,5

3.5 Propiedades de los materiales asfálticos

Las propiedades físicas de los materiales asfálticos de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento, endurecimiento y resistencia a la acción del agua

A continuación se explican cada una de estas propiedades:

3.5.1 Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Sin embargo existen pruebas rutinarias para

²³ Fuente: SCT, Libro: características de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

evaluar la durabilidad del asfalto, estas son las pruebas de película delgada en horno y la prueba de película en horno rotatorio, ambas incluyen el calentamiento de la película delgada de asfalto.

3.5.2 Adhesión y cohesión

- **Adhesión:** Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.
- **Cohesión:** Es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada para algunos como la relación con la cohesión y la adhesión.

3.5.3 Susceptibilidad a la temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (más líquidos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.²⁴

²⁴ Consultado en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>; capítulo 2. Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos, Págs. 23-24.

Tabla 3.5.3 Temperaturas de aplicación de productos asfálticos.

Tipo y grado de asfalto		Temperatura de empleo recomendada en °C	
		Para mezcla	Para riego
Betunes asfálticos.	40-50	150-180	-
	60-70	135-165	140-175
	85-100	135-165	140-175
	120-150	135-165	140-175
	200-300	95-135	125-160
Asfaltos líquidos de tipo RC:	RC-0	10-50	18-58
	RC-1	25-52	45-83
	RC-2	25-52	60-99
	RC-3	50-80	77-115
	RC-4	65-95	83-125
	RC-5	80-110	100-140
Asfaltos líquidos de tipo MC:	MC-0	10-50	21-60
	MC-1	25-52	43-85
	MC-2	38-93	60-102
	MC-3	65-95	80-121
	MC-4	80-110	88-129
	MC-5	94-121	104-144
Asfaltos líquidos de tipo SC:	SC-0	10-50	21-60
	SC-1	25-93	43-85
	SC-2	65-93	60-102
	SC-3	80-121	80-121
	SC-4	80-121	88-129
	SC-5	94-135	104-144
Emulsiones asfálticas:	RS-1	-	24-54
	RS-2	-	43-71
	MS-2	38-71	38-71
	SS-1	24-54	24-54
	SS-1h	24-54	24-54

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual del Asfalto

3.5.4 Velocidad de curación

La curación se define como “El proceso a través del cual aumenta la consistencia de un material asfáltico, a medida que pierde el disolvente por evaporación”

Velocidad de curación de los rebajados.- La velocidad de curación de cualquier material asfáltico rebajado, depende del destilado que se use en el proceso de rebajado. Esta es una característica importante que se presentan en los materiales rebajados, ya que la velocidad de curación indica el tiempo que debe transcurrir antes de que un material asfáltico rebajado alcance una consistencia que sea suficientemente espesa para que el cementante se comporte satisfactoriamente.

La velocidad de curación está afectada tanto por factores inherentes y factores externos.

- Los Factores inherentes que afectan la velocidad de curado son:
 1. La volatilidad del disolvente.
 2. La cantidad de disolvente en el rebajado.
 3. La consistencia del material base.

Entre más volátil sea el disolvente, puede evaporarse más rápidamente del material asfáltico, y por tanto, es mayor la velocidad de curación del material. Esta es la razón por la cual la gasolina y la nafta se usan para los rebajados de fraguado rápido, mientras que el aceite combustible ligero y el keroseno se usan para los rebajados de fraguado medio.

Para cualquier tipo de disolvente dado, entre menor sea la cantidad usada, es menor el tiempo que se requiere para que se evapore y, por tanto, el material asfáltico va a curar más la curación del rebajado asfáltico.

- Los factores externos que afectan la velocidad de curado son:
 1. La temperatura.
 2. La relación del área superficial entre el volumen.
 3. La velocidad del viento a través de la superficie.

Estas tres fuerzas externas están relacionadas directamente con la velocidad de curación en que entre mayor sea cualquiera de estos factores, es más alta la velocidad de curación.

Velocidad de curación de las emulsiones asfálticas.- Las características de curación y adhesión de las emulsiones (aniónicas y catiónicas) que se usan para la construcción de pavimentos, dependen de la velocidad a la cual se evapora el agua de la mezcla.

Cuando las condiciones climáticas son favorables, el agua es desplazada con relativa rapidez y entonces la curación avanza rápidamente.

Cuando las condiciones climáticas incluyen una humedad elevada, una temperatura baja o una precipitación que sigue inmediatamente a la aplicación de una emulsión, su capacidad para la curación apropiada se ve afectada adversamente.²⁵

3.5.5 Envejecimiento y endurecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinado con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto.²⁶

3.5.6 Resistencia a la acción del agua

Cuando se usan materiales asfálticos en la construcción de pavimentos, es importante que el asfalto continúe adherido a los agregados aún en presencia de agua. Si se pierde esta liga entre el asfalto y los agregados, el asfalto va a quedar despojado de los agregados, lo que conduce al deterioro del pavimento. Por tanto, el asfalto debe sustentar su capacidad para adherirse a los agregados aún en presencia de agua.²⁷

²⁵ Pita Prez Jesús David, Tesis de licenciatura: Procedimiento Constructivo De Pavimentos Flexibles En La Carretera: La Ventosa - Arriaga, Universidad Veracruzana, Facultad de ingeniería, México 2011, Págs. 48-50.

²⁶ Consultado en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>; capítulo 2. Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos, Págs. 24-25.

²⁷ Pita Prez Jesús David, Tesis de licenciatura: Procedimiento Constructivo De Pavimentos Flexibles En La Carretera: La Ventosa - Arriaga, Universidad Veracruzana, Facultad de ingeniería, México 2011, Pág. 50.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1 Ubicación de la obra

Ejutla de Crespo se encuentra localizada en la zona sur de los Valles Centrales de Oaxaca, casi al pie de la Sierra Madre del Sur, tiene una altitud de 1 450 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son $N 96^{\circ}43'57''O$, unos 60 kilómetros al sur de la capital del estado, la ciudad de Oaxaca de Juárez, con la que se comunica por la Carretera Federal 175 que es la principal vía de comunicación de la ciudad y que la una hacia el sur a 40 kilómetros con Miahuatlán de Porfirio Díaz y posteriormente con San Pedro Pochutla y Puerto Ángel.

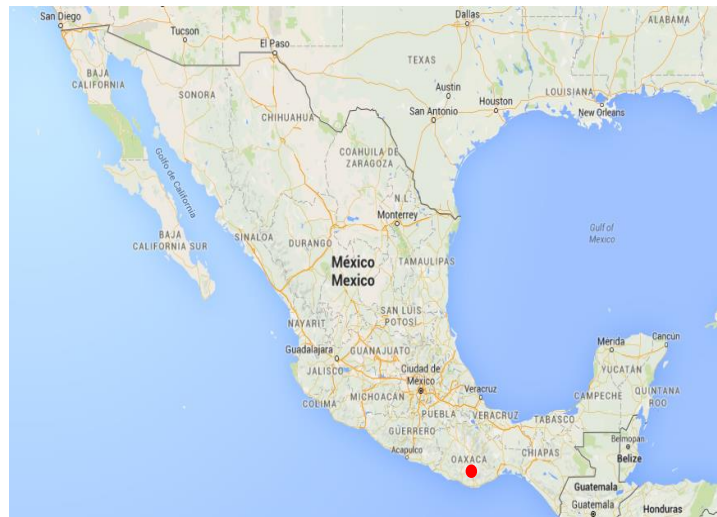


Figura 4.1 Ejutla de Crespo, Oaxaca.

4.2 Especificaciones de la obra

La obra forma parte del programa general de modernización de la red de carreteras troncales del país, y en particular de la vialidad primaria del Estado de Oaxaca y consiste en la construcción de una autopista de peaje que permita una comunicación eficiente entre la ciudad de Oaxaca y la zona de la costa (Puerto Escondido-Pochutla-Huatulco), todas ellas en el Estado de Oaxaca, para ello se construirá una nueva vialidad entre Barranca Larga y La Ventanilla, la cual se ubica sobre la carretera costera del Pacífico a unos 11 Km al poniente de Puerto Escondido.

Asimismo, se contempla la construcción correspondiente a obras de drenaje menor, entronques, señalamientos y pasos a desnivel siguiendo las especificaciones técnicas de las Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). El proyecto sigue las especificaciones de una carretera tipo A2 y se desarrolla en terrenos de fuerte pendiente. Del proyecto se construirá un solo cuerpo, el cual tendrá un ancho de corona de 12 m, pendiente máxima del 6 % grado máximo de curvatura de $7^{\circ} 30'$, especificaciones que le permitirán

absorber un **Transito Diario Promedio Anual (TDPA)** superior a 10,000 vehículos y quedar clasificada como una carretera tipo **A2** con velocidad máxima de operación de **90 Km/h**.



Figura 4.2 Ubicación de la obra.

En los tramos donde se tiene pendiente mayor a la de proyecto se hará una sección de tres carriles, como muestra la siguiente figura, para que en dichos tramos los vehículos de carga de baja velocidad no interfieran con el tránsito ligero. La sección tipo de tres carriles aplica en los tramos 152+200 al 155+900, 162+100 al 174+300 y 176+100 al 178+300.

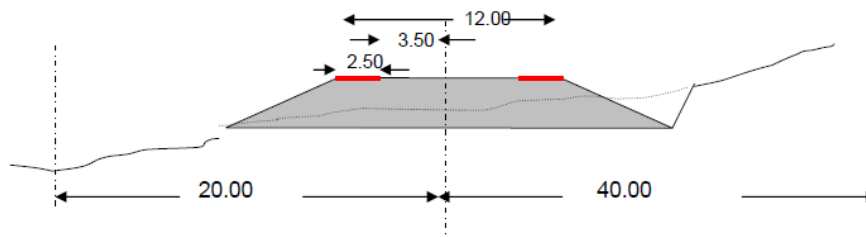


Figura 47. Sección tipo A2.

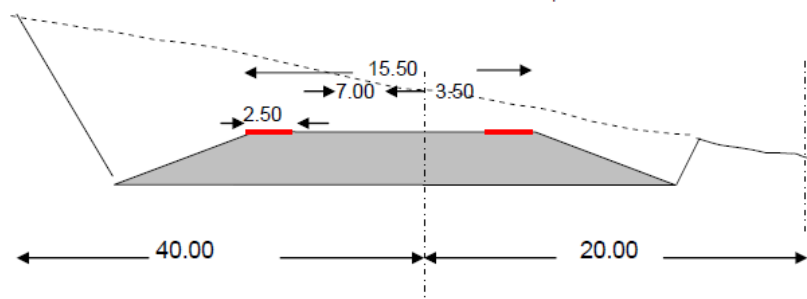


Figura 48. Sección tipo de tres carriles

4.2.1 Generalidades

El establecimiento de esta obra permitirá a las poblaciones de la región tener más y mejores opciones de desarrollo al contar con un medio de comunicación rápido y seguro y por tanto un traslado de personas y materiales más ágil, lo que representa un beneficio económico y social.

Por otra parte, con la construcción de la Autopista, se busca facilitar el desplazamiento de personas y el transporte de productos; la vialidad integra dos regiones Oaxaqueñas que actualmente se encuentran social y económicamente separadas, el valle central que aloja a la ciudad capital de la Entidad y la zona costera de mayor crecimiento y potencial, ello a través de una zona marginada y deficientemente comunicada, la Sierra de los Coatlánes, parte de la Sierra Madre del Sur.

Características particulares del proyecto

- Corona 12.00 m (15.50 en A3).
- Sub-corona variable según taludes.
- Dos carriles de 3.50 m.
- Cunetas y contra-cunetas en V, taludes variables según altura y material.
- Partes complementarias.
- Pavimento flexible, de concreto asfáltico.
- Acotamientos de 2.50 m.
- Velocidad máxima de operación permitida para sección A2 o A3, 90 Km/h.
- Pendiente máxima del 6%.
- Grado máximo de curvatura de 7°30'.
- Capacidad operativa superior a 10,000 TDPA.
- Flujos o tránsito promedio y máximo diarios variaciones de +/- 22% diario.
- Se espera tener una distribución por tipo de vehículos de 80% automóviles, 12% pasajeros y 8% de carga.
- Entronques diseñados para una velocidad máxima de 60 Km/h.
- Entronques a desnivel.
- Pasos a desnivel.
- Pasos Inferiores Vehiculares (PIV).
- Pasos Superiores Vehiculares (PSV).
- Obras de drenaje: Bóvedas, Losas (mampostería) y Tubos (concreto).
- Túneles.

A continuación se muestra brevemente la situación actual de algunas zonas por donde pasará la autopista:²⁸

²⁸ <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2007/200A2007V0014.pdf>



Figura 4.2.1.1 Km 100+000 (Inicio de la Autopista).



Figura 4.2.1.2 Km 105+000 (como se encuentra en la actualidad).



Figura 4.2.1.3 Km 110+000 (como se encuentra en la actualidad).



Figura 4.2.1.4 Km 120+000 (como se encuentra en la actualidad).

4.3 Procedimiento constructivo de la obra

El procedimiento que se describe a continuación, explica los pasos efectuados en la construcción de un cuerpo nuevo de pavimento flexible del tramo carretero “barranca larga-ventanilla”, la cual consiste a grandes rasgos en las siguientes etapas:

- Base hidráulica.
- Riego de impregnación.
- Carpeta de concreto asfáltico.
- Aplicación del riego de sello premezclado.

Asimismo, incluye algunos requisitos de calidad para materiales establecidos en las normas de construcción para pavimentos flexibles establecidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), así como la maquinaria y equipo empleado en la construcción de este proyecto.

4.3.1 Base hidráulica

De acuerdo a lo aprobado en el proyecto carretero al cual se enfoca el presente trabajo, se obtuvo un procedimiento técnico seguro para la colocación de base hidráulica en el proyecto barranca larga-ventanilla. Dando cumplimiento al marco legal, federal, estatal y municipal. Aplicable a la construcción del tramo carretero “barranca larga-ventanilla” de la autopista Oaxaca - puerto escondido. Conforme a lo dicho anteriormente y lo solicitado para este proyecto se da una definición y se explica en que consiste una base hidráulica.

Base hidráulica

Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub-base, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que ésta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea. El porcentaje de materiales de mezcla depende de un estudio de laboratorio de mecánica de suelos.

Esta labor de construcción de base hidráulica consiste en el suministro, transporte, colocación, conformación y compactación de material granular con un espesor de 30 cm. y se conforma utilizando materiales triturados, producto de bancos de préstamo, de origen aluvial o de cantera, los cuales deben cumplir con los requisitos de calidad y granulometría que se describen en las normas y especificaciones. la cual se coloca sobre la capa sub-rasante compactada, liberada y aprobada por el ingeniero independiente, de acuerdo con las especificaciones, alineamientos, espesores, secciones y perfiles indicados en los datos topográficos, planos u ordenados por el cliente y la S.C.T.. Para cumplir con la estabilidad de soporte como base y superficialmente el intemperismo y los esfuerzos al que será sometida. Compactada al 100% según especificaciones de la S.C.T.

Materiales para base hidráulica

En cuanto a los materiales para la construcción de la base hidráulica, estos son obtenidos de bancos de materiales propios del proyecto (roca sana triturada), llevado a cabo de acuerdo a un análisis de logística considerando costos de acarreo y tiempos de traslado; propiamente se utilizaron rocas productos de voladuras del proyecto, llamado así material en “greña” los cuales con llevados hasta las plantas de trituración que en este caso son tres las que están ubicadas a lo largo del proyecto, este material es depositado en las maquinas trituradoras las cuales van moliendo la roca hasta darle un tamaño de aproximadamente 1 ½ “ de diámetro pasándolo por varios tamices hasta obtener la granulometría indicada, una vez hecho esto el material es llevado a los puntos donde se extiende y compacta de acuerdo a las normas anexas al final del documento.

Requisitos de calidad para bases hidráulicas

De acuerdo a la norma N·CMT·4·02·002/11 de la SCT:

REQUISITOS DE CALIDAD PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

El material cribado, parcialmente triturado, totalmente triturado o mezclado, que se emplee en la construcción de bases para pavimentos asfálticos o para pavimentos de concreto hidráulico, cumple con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

El material para la base hidráulica es cien (100) por ciento producto de la trituración de roca sana, cuando el tránsito esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes acumulados de ocho coma dos (8,2) toneladas; cuando ese tránsito sea de uno (1) a diez (10) millones, el material contiene como mínimo setenta y cinco (75) por ciento de partículas producto de la trituración de roca sana y si dicho tránsito es menor un (1) millón, el material contiene como mínimo cincuenta (50) por ciento de esas partículas.

Los materiales utilizados deben ser del tipo indicado en la cláusula 073-D del Libro 3, Parte 01, Título 03; además éstos deben de cumplir con las Normas de Calidad especificadas en el inciso 009-C.06 del Libro 4, Parte 01, Título 03 y para su ejecución se deben seguir todos los lineamientos indicados en la cláusula 074-F del Libro 3, Parte 01, Título 03. **VER ANEXOS 1, 2, 3.**

Trabajos previos para la construcción de la base hidráulica

De acuerdo con las normas establecidas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para que se deba de colocar una base hidráulica, primeramente se debe contar con una capa llamada subrasante con material de préstamo de banco, de acuerdo con lo señalado en el proyecto, con un espesor de treinta (30) centímetros en capas de espesor adecuado al equipo de construcción, de manera que se logre el cien por ciento (100%) de compactación de su P.V.S.M. mediante la prueba AASHTO estándar, formadas con partículas no mayores de setenta y cinco (75) milímetros eliminando por papeo las que si sean mayores. Para dar por terminada la construcción del terraplén, se verifica el alineamiento, el perfil y la sección de su forma, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y lo que indique la normativa vigente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Una vez cumplido con este requisito, se da paso a la colocación de la base hidráulica, cumpliendo específicamente con las normas de calidad, materiales y requisitos que se establecen en las normas de SCT, indicadas en los puntos anteriores.



Figura 4.3.1.1 Agente explosivo FLEXAMON.



Figura 4.3.1.2 Selección de roca producto de la voladura.



Figura 4.3.1.3 Tren completo de trituración de material para base hidráulica.



Figura 4.3.1.4 Mezclado de material para base hidráulica.

Tendido y conformación de la base hidráulica

Transporte de la base hidráulica

Los vehículos empleados para el acarreo de base hidráulica a la obra, tienen caja metálica lisa, la cual se limpia cuidadosamente de todo material extraño. Y se realiza hasta una hora en que la luz diurna permita controlar su extensión y compactación los agregados se transportan cubriendo la caja con lonas de material apropiado. Previamente los camiones serán cubicados por la topografía.



Figura 4.3.1.5 Llenado de camiones desde el banco de materiales.



Figura 4.3.1.6 Vista de la carretera en fase constructiva base.



Figura 4.3.1.7 Arribo y vaciado de los camiones con el material para base hidráulica.



Figura 4.3.1.8 Vaciado del material para base hidráulica a lo largo de un tramo.

Colocación de la base hidráulica

La base se extiende en capas con la humedad óptima. Cada capa de material granular debe mantener la humedad mediante riegos superficiales durante las etapas de colocación. La máxima longitud de calzada para descargar materiales será fijada durante el proceso de ejecución conforme a las normas de la SCT, condiciones climáticas, sociales y contractuales, todos los materiales que se empleen en la construcción de las capas de base se llevan al sitio de colocación en forma tal, que el transporte no produzca efectos perjudiciales para el grado de uniformidad y limpieza de los agregados.

Cuando la mezcla sea homogénea en humedad y graduación, se procede al extendido final y a la compactación en 2 capas de 15 cm o lo que indique la norma o conforme a los acuerdos con el supervisor para alcanzar un espesor final de 30 cm.



Figura 4.3.1.9 Tendido de material para base hidráulica con motoconformadora.



Figura 4.3.1.10 Tendido de material para base hidráulica con pavimentadora sobre orugas.

Compactación de la base hidráulica

Este proceso se analiza en laboratorio donde la mezcla teórica para obtener de los especímenes la densidad igual o mayor del 100 % la cual es reproducida en campo. Después que la mezcla haya sido extendida se hará el control de espesor y se corrige cualquier defecto. Para efectuar una cuidadosa compactación con un vibro compactador iniciando por los bordes y avanzar hacia el centro de la vía de modo que cada pasada del rodillo traslape por lo menos la mitad de la anterior. En las curvas, la compactación se inicia desde el borde inferior hacia el superior de las mismas.

Para prevenir la adherencia de finos en el cilindro, estos deben contar con espátulas en el cilindro que desprendan el material adherido

Cualquier desplazamiento ocurrido como consecuencia de la contramarcha o cambio de dirección del cilindro o por causas similares, se corrige inmediatamente con el uso de rastrillos y la adición de material granular.

En las zonas inaccesibles para el equipo (aproches) se obtiene la compactación de la mezcla mediante compactadores portátiles mecánicos adecuados.



Figura 4.3.1.11 Compactación de base hidráulica.



Figura 4.3.1.12 Compactación de base hidráulica en curva.

Maquinaria y equipo para la construcción de la base hidráulica

El equipo que se utilizó para la construcción de la base hidráulica, fue el adecuado para obtener la calidad específica indicada 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.

El equipo utilizado para la construcción de la base es el siguiente:

- Camiones para el acarreo de la base. Son camiones de tipo volteo, con caja metálica lisa y debe estar limpia libre de agentes extraños al material de base hidráulica.
- Motoconformadoras. Empleadas para el extendido y conformación de la base, son autopropulsadas, con cuchillas cuya longitud es mayor de 3.65 m y con una distancia entre ejes mayor de 5.18 m.



Figura 4.3.1.13 Motoconformadora.

- Vibrocompactadores. Los compactadores vibratorios utilizados, están equipados con controles para modificar la amplitud y frecuencia de vibración, eran autopropulsados, reversibles y provistos de cuñas al filo de los rodillos para evitar que el material se adhiera.



Figura 4.3.1.14 Vibrocompactadora.

- Pavimentadora sobre orugas. La pavimentadora se encarga de distribuir de manera uniforme los materiales sobre la superficie del suelo. Por sus características, este tipo de máquina es generalmente utilizada para la construcción y mantenimiento de carreteras. Las pavimentadoras de orugas, ofrecen mayor uniformidad en la pavimentación, lo cual hace que la carretera sea más resistente; gracias a la uniformidad en el grosor del pavimento. Además, ofrece mayor fuerza de tracción al estar en contacto con el suelo.²⁹



Figura 4.3.1.15 Pavimentadora sobre orugas.

4.3.2 Riego de impregnación

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base del pavimento, con el 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.

El producto asfáltico (emulsión asfáltica) deberá ser del tipo mencionado en la cláusula 076-D del Libro 3, Parte 01, Título 03, así mismo deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas en el inciso 011-B.04.f del Libro 4, Parte 01, Título 03, y para su aplicación con la cláusula 080-F del Libro 3, Parte 01, Título 03.

Materiales para el riego de impregnación

Para este proyecto en específico, se utilizó una emulsión asfáltica catiónica ECR-65, de rompimiento rápido, como se menciona anteriormente consiste en dos fases una a base de agua y la otra con pequeños glóbulos de cemento asfáltico, la cual cumple con la norma N. CMT. 4. 05. 001/00 y se ilustra en la Tabla 3.4.4. Clasificación de emulsiones asfálticas, del capítulo 3.

²⁹ Consultado en: <http://sinomach-hi.es/2-1-paver.html>, maquinaria para construcción de carreteras.

Trabajos previos para el riego de impregnación

Una vez terminada la operación de construcción de la base hidráulica incluyendo la zona de ampliación y a satisfacción de la dependencia se procede a ejecutar el barrido de la superficie en todo el ancho.



Figura 4.3.2.1 Superficie de base hidráulica limpia de polvo y materiales extraños.



Figura 4.3.2.2 Humectación e hidratación de la superficie de base hidráulica antes de iniciar con el riego de impregnación.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de impregnación, toda la superficie por cubrir debe estar exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin presentar ninguna irregularidad. Limpia de toda irregularidad la base hidráulica y humectada para permitir mayor adherencia entre la superficie de esta y el riego de impregnación; se aplica en todo el ancho de la sección así como en los taludes del material que formen el pavimento, un riego de impregnación con emulsión asfáltica en proporción de uno punto cinco (1.5) l/m².

Aplicación del material asfáltico

Para la aplicación del material asfáltico, se tomó en cuenta la uniformidad de la superficie, así como los trabajos previos mencionados en el punto anterior con el objeto de cubrir uniformemente la superficie con la emulsión asfáltica utilizada esto con el fin de lograr una mayor adherencia entre la base hidráulica y la carpeta asfáltica, para ello se realizó lo siguiente:

Se ajustó la altura de la barra petrolizadora para aplicar el material asfáltico uniformemente, utilizando una dosificación de 1.5 Litros por metro cuadrado establecido en el proyecto, de manera que la base del abanico formado a la salida del material, cubre aproximadamente la mitad de la base hidráulica, dejando unos espacios entre cada aspersor y que no son llenados mediante la petrolizadora por lo que:

Se utilizan aspersores manuales operados directamente por los trabajadores y los cuales se encargan de cubrir absolutamente toda la superficie con la dosificación indicada por el proyecto.

Terminado el riego de impregnación, se aplicó un poreo utilizando arena para que el material aplicado en el riego de impregnación penetre y el agua se haya eliminado.

La superficie impregnada fue cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que la penetración se produce y se haya logrado la completa evaporación del agua contenida en la emulsión asfáltica.



Figura 4.3.2.3 Tendido de riego de impregnación con petrolizadora.



Figura 4.3.2.4 Realizando el bacheo con aspersores manuales.

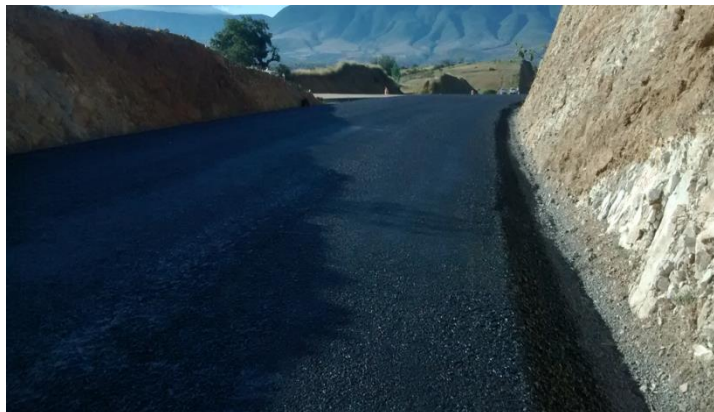


Figura 4.3.2.5 Impregnación de base hidráulica en su totalidad.

Maquinaria y equipo para el riego de impregnación

El equipo que se utilizó para la aplicación del riego de impregnación, fue el siguiente:

- Barredora mecánica. La barredora mecánica utilizada para la limpieza de la superficie cuenta con una escobeta rotatoria autopropulsada.



Figura 4.3.2.6 Barredora mecánica.

- Petrolizadora. La petrolizadora estableció una temperatura constante, manteniendo un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie cubierta, en los anchos variables y en dosificaciones controladas; la cual estaba equipada con odómetro, medidor de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen que fue aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contaba con una bomba y barras de circulación, que se ajustaban vertical y lateralmente.



Figura 4.3.2.7 Petrolizadora.

4.3.3 Carpeta de concreto asfáltico

Para explicar el procedimiento constructivo de la carpeta asfáltica en la carretera Barranca Larga-Ventanilla, primeramente se da una breve definición de lo que significa una carpeta asfáltica, seguida de un procedimiento técnico seguro elaborado por los ingenieros responsables del proyecto y la cual nos fue facilitada con el fin de establecer el objetivo que se muestra en la página 2 de esta tesis.

Carpeta asfáltica

Es la capa de rodadura o revestimiento asfáltico que deberá cumplir con las siguientes funciones: Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en condiciones de humedad, reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa además deber ser impermeable.

Objetivo. Establecer todos los lineamientos a seguir para: colocación de carpeta asfáltica en caliente dando cumplimiento al marco legal. Federal, estatal y municipal. Aplicable a la construcción del tramo carretero “Barranca Larga-Ventanilla” de la autopista Oaxaca - Puerto Escondido. Colocación de carpeta asfáltica en caliente compactada al 95%.

Materiales para carpeta de concreto asfáltico

El concreto asfáltico consiste en una combinación de agregados gruesos, intermedios y finos, el material debe estar limpio y libre de polvo, terrones, arcilla u otros materiales objetables que puedan impedir la adhesión del asfalto para ser mezclados uniformemente en caliente con cemento asfáltico AC 20 en una planta de asfaltos que reúne los requisitos de calidad y control hasta concluir el producto final. **VER ANEXO 5.**

Elaboración de la mezcla para carpeta de concreto asfáltico

Antes de iniciar los trabajos, el contratista presenta al supervisor la fórmula de trabajo llamado "DISEÑO MARSHALL" de las mezclas con la cual se trabajara en la obra. En ella aparecen claramente definidas las fuentes de los materiales sus calidades y granulometría incluyendo resistencia a la abrasión, solidez en sulfato de sodio y adherencia con el asfalto.

Presenta además las curvas propias del método de diseño granulométrico para ensayar las pastillas compactadas entre 120° y 130° C con 50 golpes por cada cara, incluyendo curvas de densidad, estabilidad, fluencia, vacíos en la mezcla total, vacíos llenos con asfalto y vacíos en los agregados, sobre pastillas elaboradas conforme al Plan de Inspección y Pruebas para determinar su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación hasta alcanzar su máxima resistencia. Una vez cubierto este requisito, se procede a la elaboración del concreto asfáltico apeándose al diseño Marshall. **VER ANEXO 5.**

Preparación del asfalto

El cemento asfáltico se calienta a la temperatura especificada en tanques diseñados para evitar sobrecalentamiento. El suministro de asfalto al calentador debe ser continuo y a una temperatura uniforme.

El contenido de asfalto se dosifica ya sea por peso o por volumen dentro de las tolerancias especificadas. Hay un dispositivo para comprobar la cantidad de asfalto aportada al mezclador. El asfalto se debe distribuir uniformemente dentro de la masa total de agregados. Las plantas están provistas de termómetros graduados entre 37° y 205°C cerca a la válvula de descargue del asfalto al mezclador.

Temperatura. El asfalto y los agregados pétreos, son calentados en la planta entre 135° y 170°C. La diferencia entre las temperaturas de los agregados y el asfalto no será mayor de 10°C. La mezcla de concreto asfáltico, al salir de la planta debe tener una temperatura entre 135° y 170°C y la temperatura de colocación no será menor de 120° C.

Preparación de los agregados. Los agregados para la mezcla están distribuidos uniformemente en tamaños de partículas de hasta 3/4", son secados y calentados a la temperatura especificada "En laboratorio instalado en la planta" Antes de alimentar el mezclador. Inmediatamente después de calentar los agregados se tamizan en tres o cuatro fracciones y almacenan en tinas separadas. Los contenidos de agregados en las tolvas no pueden diferir entre sí en más del 10% en peso.

El soplete usado para secar y calentar se ajustará, para evitar daños a los agregados y la formación de capa de hollín.

Una vez concluidos estos pasos se procede a la mezcla de los agregados y el cemento asfáltico introduciéndolos en un tanque giratorio con horno de aproximadamente hasta 400 °C ya en el último tren de elaboración de la mezcla, una vez concluido este paso, la mezcla sale del horno y con ayuda de una bomba se eleva a una torre de acero con una tolva en el cual es depositado, introduciéndose los camiones por debajo de la torre y solamente se descarga el material dentro de ellos hasta llenarlos o mejor dicho hasta completar los viajes y la cantidad a utilizarse.

Tendido y conformación de la carpeta de concreto asfáltico

Transporte de la mezcla

Los vehículos empleados para llevar la mezcla a la obra, tendrán caja metálica lisa, la cual se limpia cuidadosamente de todo material extraño.

El transporte de la mezcla asfáltica de la planta a la obra, se realiza hasta una hora en que la luz diurna permita controlar su extensión y compactación, la mezcla se transporta cubierta con material apropiado (lona, neopreno). Previamente los camiones están cubicados por la topografía.

Colocación del concreto asfáltico

- Antes de iniciar la colocación de carpeta asfáltica; La base hidráulica debe estar liberada y aprobada por el Ingeniero Independiente la de acuerdo con las especificaciones, alineamientos, espesores, secciones y perfiles indicados en los datos topográficos, planos u ordenados por el cliente y la SCT.
- Se coloca por medio de una máquina pavimentadora o vibro-extendedora la cual está diseñada para extender y conformar la mezcla con los alineamientos, anchos y espesores determinados en el proyecto.
- Si durante la construcción, el equipo no produce el grado de pulimiento necesario o deja huellas o irregularidades en la superficie que no sean fácilmente corregibles, se debe ajustar o sustituir el mismo. En las áreas con obstáculos inevitables o con sobre anchos que no permitan el uso de pavimentadora, se puede extender la mezcla a mano con aprobación del supervisor.
- Se verifica con una regla de aluminio que no haya deflexiones transversales y longitudinales, en caso de que se presenten se corregirán adicionando o retirando con rastrilleo fino.
- Las capas serán de 10 cm. de espesor máximo compactado o cuando las condicionantes del proyecto lo requiera se avisa al supervisor, que la carpeta asfálticas se colocará en dos capas para cumplir con el diseño, con su respectiva liga entre capa y capa, de acuerdo con las especificaciones.
- Así mismo se verifica visualmente la textura de la mezcla colocada cuidando que los agregados no se clasifiquen ya que provocará permeabilidad. Si este fuera el caso se avisará inmediatamente al laboratorio a fin de realizar los ajustes en los agregados o en el proceso de colocación.



Figura 4.3.3.1 Colocación de carpeta asfáltica con pavimentadora sobre orugas.

Control de temperaturas

Como se menciona anteriormente en cuanto a las temperaturas con las que se trabaja el material, el asfalto y los agregados pétreos, son calentados en la planta entre 135° y 170°C. La diferencia entre las temperaturas de los agregados y el asfalto no debe ser mayor de 10°C. La mezcla de concreto asfáltico, al salir de la planta debe tener una temperatura entre 135° y 170°C y la temperatura de colocación no será menor de 120° C. Estas lecturas se hacen mediante termómetros digitales, y de vástago.



Figura 4.3.3.2 Control y monitoreo de temperaturas para el tendido de carpeta

Compactación de la carpeta de concreto asfáltico

En este proceso debe obtenerse una densidad en los núcleos tomados en el campo, igual o mayor del 95% en relación con la densidad media de los núcleos compactados en el laboratorio con la misma mezcla. Ningún resultado individual puede ser inferior al 95%. Inmediatamente después que la mezcla haya sido extendida se realiza el control de espesor y se corrige cualquier defecto.

Una vez trasladado el concreto asfáltico hasta la zona donde será colocado para construir la carpeta asfáltica, se ha realizado el tendido de la misma se procede a realizar una compactación adecuada que se explica a continuación:

- Se efectúa una cuidadosa compactación y el cilindrado comenzará por los bordes avanzando hacia el centro de la vía de modo que cada pasada del rodillo traslape por lo menos la mitad de la anterior.
- En las curvas, la compactación se inicia desde el borde inferior hacia el superior de las mismas.
- La mezcla se compacta a la máxima temperatura posible, cuando el cilindrado liso no cause desplazamientos indebidos o grietas. La primera pasada debe darse a una temperatura mínima de 120°C.



Figura 4.3.3.3 Compactación de carpeta asfáltica con rodillo.

- Para prevenir la adherencia de la mezcla al cilindro liso durante la compactación o en las llantas del compactador neumático, ambos equipos están equipados con aspersores de agua que humedecen ligeramente el rodillo o las llantas. No se permite el exceso de agua.
- Cualquier desplazamiento ocurrido como consecuencia de la contramarcha o cambio de dirección del cilindro o por causas similares, se corrige inmediatamente con el uso de rastrillos y la adición de mezcla fresca.
- Se debe de tener especial cuidado en el cilindrado para no desplazar los bordes de la mezcla extendida. Al pavimento se dará al servicio solamente cuando se haya endurecido y en ningún caso antes de seis (6) horas posteriores a la terminación de la compactación.
- En las zonas inaccesibles para el equipo, se obtendrá la compactación de la mezcla mediante compactadores portátiles mecánicos adecuados.
- Para cerrar la textura y cumplir con los parámetros de permeabilidad, se utiliza un compactador de llantas neumáticas con presión de inflado a 7 Kg/cm^2 .



Figura 4.3.3.4 Compactación de carpeta asfáltica con neumáticos.

Colocación de carpeta asfáltica sobre losas de concreto

La capa de rodamiento sobre las losas de los puentes se pavimentarán con concreto asfáltico de calidad igual a la de la capa de rodamiento colocada sobre base hidráulica, previamente se aplica un riego de liga de igual manera que en la base hidráulica a razón de 1.5 l/m². Durante la colocación del riego y carpeta asfáltica, se protegen con lonas, papel u otro elemento adecuado todas aquellas partes de los puentes que puedan ser alcanzados por material asfáltico teniendo la suficiente precaución con el trabajo de los equipos. En caso de ensuciar los elementos de concreto o metálicos deben limpiarse.

Maquinaria y equipo para la construcción de la carpeta de concreto asfáltico

La maquinaria utilizada para la construcción de la carpeta asfáltica fue la siguiente:

- **Planta de mezclado:** Cuenta con un secador con inclinación ajustable dividido en cuatro etapas de acuerdo a la temperatura que se maneje tanto en agregados como en la mezcla final, colocado inmediatamente de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo, igual o mayor a la capacidad de producción de la planta; un pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo; tolvas para almacenar el material pétreo de acuerdo a su granulometría, y con bandas transportadoras que trasladan el material de las tolvas hasta el secador con horno; equipo para calentar el cemento asfáltico en forma controlada provisto de un termómetro con rango de 20 a 210 grados Celsius; dispositivos para dosificar el cemento asfáltico y un dispositivo para la recolección y reincorporación de polvo que impida la pérdida de los finos, y por último una torre de almacenamiento donde se recolecta la mezcla de concreto asfáltico que sale del tanque y donde los camiones son llenados con este material para ser trasladado al lugar de aplicación.
- **Pavimentadora sobre orugas:** Autopropulsada, equipada con dispositivo para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparte la mezcla uniformemente y sensores de control automático de niveles.
- **Compactador de rodillo metálico:** Autopropulsado, reversible y provisto de una barra limpiadora para que el material se adhiera a los rodillos, de dos ejes con rodillos en tándem.
- **Compactador de Neumáticos:** Autopropulsado, con nueve ruedas montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma para lastre, equipado con llantas lisas.

4.3.4 Aplicación de riego de sello premezclado

Para la ejecución del riego de sello se hará el premezclado del material pétreo con cemento asfáltico AC-20 en una proporción de 0.5% (+/- 0.25%) del peso del agregado seco, debe tener una apariencia de “sal y pimienta” y debe tener una temperatura entre 121° C y 162° C en el momento de hacerse el tendido de dicho material en el tramo utilizando material procedente del banco de préstamo indicado en el cuadro de bancos de éste proyecto.

Riego de liga para sello

Antes del riego de liga se da un barrido enérgico sobre la superficie de rodamiento a tratar con la finalidad de garantizar una adhesión adecuada del cemento asfáltico al pavimento. Una vez limpia la superficie se procede a la aplicación del riego de liga con cemento asfáltico a una temperatura entre 135° y 160° C, que permita la aplicación óptima de asfalto con una proporción de entre 1.2 a 1.8 lt/m², dependiendo del contenido de cemento asfáltico determinando previamente, mismo que es definido por la contratista tomando en cuenta la superficie por tratar.

Materiales para riego de sello

Los materiales utilizados para el riego de sello fue el siguiente:

- **Materiales totalmente triturados:** El material que empleo para formar la capa de rego de sello (capa de desgaste), fue material totalmente triturado y cribado.
- **Asfalto modificado con polímeros:** Es un producto que se añadió al cemento asfáltico a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, para modificar sus propiedades físicas, químicas, geológicas, disminuir su susceptibilidad a la humedad, así como a la oxidación y mejorar su adherencia con el material pétreo.
- **Cemento asfáltico:** El tipo de cemento asfáltico utilizado es AC-20 con una dosificación de 130 kilogramos por metro cúbico.
- **Emulsión asfáltica:** Para el riego de impregnación se utilizó una emulsión asfáltica catiónica a razón de 1.4 litros por metro cuadrado.

Características del agregado premezclado

La calidad del agregado para sello premezclado del tipo 3-E, fue determinado de acuerdo con los métodos de prueba efectuados por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), donde se pueden observar las características granulométricas que se establecen en las siguientes tablas, así como los requisitos de calidad.

Tabla 4.3.4.1 Requisitos de granulometría para sello premezclado del tipo 3-E. Fuente: Normativa SCT.

Malla		Porcentaje que pasa (%)
Abertura (mm)	Designación	
12.7	1/2"	100
9.5	3/8"	95 mínimo
4.75	No. 4	5 máximo
2.38	No. 8	0

Tabla 4.3.4.2 Requisitos de calidad de los materiales para sello premezclado del tipo 3-E. Fuente: Normativa SCT.

Característica	Valor (%)
Desgaste Los Ángeles, máximo.	25
Intemperismo acelerado, máximo.	12
Forma de partículas, para partículas alargadas y/o laminares, máximo.	25
Afinidad con el asfalto (desprendimiento por fricción), máximo.	15
De caras fracturadas, mínimo.	90



Figura 4.3.4.1 Sello premezclado de tipo 3-E.

Trabajos previos para el riego de sello

Previo a la aplicación del riego de sello sincronizado se realizó un barrido sobre la superficie por tratar, con el fin de eliminar cualquier material que afecte la correcta adherencia con el ligante asfáltico.



Figura 4.3.4.2 Barrido de la carpeta de concreto asfáltico para el tendido de sello premezclado del tipo 3-E.

Riego de sello tipo 3-E

A continuación se realizó la aplicación del riego de sello sincronizado sobre la superficie barrida. La temperatura de aplicación de la emulsión modificada fue de 74°C, y la del agregado premezclado en caliente fue de 69°C.



Figura 4.3.4.3 Tendido del sello por medio de la macrosello.

Compactación del riego de sello tipo 3-E

A continuación se realiza el acomodo del agregado con un compactador metálico, en seguida se realizaron cinco ciclos de compactación continuos con un compactador neumático.



Figura 4.3.4.4 Compactación del sello con compactador metálico.



Figura 4.3.4.5 Compactación de sello con compactador neumático.

Equipo de aplicación para el riego de sello

- Una petrolizadora: La cuál debe regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas y durante todo el tiempo que dure la carga de la petrolizadora debe conservar la misma cantidad de riego sin que varíe ésta por cambios de pendiente o dirección del camino.
- Un esparcidor para sello autopropulsado y computarizado.
- Tres compactadores neumáticos con capacidad de 14 Ton. Y no menos de siete llantas de huella lisa.
- Una barredora autopropulsada.
- Una planta de asfalto.

La temperatura superficial del pavimento debe estar como mínimo a 10° C y debe estar aumentando, no debe de haber viento excesivo. Todo el equipo de construcción, incluyendo los camiones con sello premezclado, deberá estar listos y en posición para garantizar una aplicación continua.

CONCLUSIONES

Es enriquecedor y de suma importancia para engrandecer el conocimiento que el procedimiento constructivo aplicado a los pavimentos flexibles en la carretera Barranca Larga-Ventanilla ofrece, ya que este es un proyecto ambicioso que pretende dar comunicación y comodidad a la población en las distintas regiones donde recorre del estado de Oaxaca, en este se observa un procedimiento convencional seguido a la aplicación de normas, técnicas y pruebas de laboratorio establecidas por la STC, las cuales nos ayudan a comprender de mejor manera los requerimientos y características necesarios para el aprovechamiento de materiales con la cual se planifico la construcción de la misma. Cabe destacar que existen tácticas complejas para el desarrollo de proyectos carreteros hoy en día y que para este caso comprendió técnicas constructivas de años anteriores con las cuales se ha desarrollado gran parte de la infraestructura carretera del país, pero que han reflejado resultados satisfactorios, y esta no es una excepción, por lo que a nuestro parecer fue una opción viable en todos los aspectos constructivos de la misma; específicamente en pavimentos flexibles estos comprenden características físicas y estructurales que resultan en una mejor selección del material, elaboración del asfalto, tendido, colocación, compactación y costos más factibles para el proyecto, basándose en un diseño exhaustivo aceptado mediante normas y pruebas de laboratorio con los cuales se trabajó en la elaboración de los mismos y que reflejan un objetivo en común de todas estas actividades, la entrega de este proyecto carretero con las características adecuadas para ofrecer un servicio de calidad y seguridad al usuario.

Entre otras cosas cabe mencionar la experiencia que se tuvo al visitar el sitio de la obra, ya que muestra un panorama completamente distinto al que se maneja mediante registros y fotografías de los mismo, es bastante interesante conocer todos aquellos aspectos que involucran no solo la fase de los pavimentos, sino también todo lo relacionado con trabajos donde se involucra la estructura del cuerpo de terraplén como son: bancos de material, maquinaria a utilizar, espesores, compactación, personal de obra y demás actividades que conforman la fase anterior al tendido de los asfaltos; así como actividades posteriores a los pavimentos como son: señalizaciones, obras de drenaje, mantenimiento, etcétera. Es algo inigualable el hecho de poder estar en el sitio y observar todo este tipo de actividades que conlleva un proyecto tan complejo como este, poder establecer comunicación con el personal encargado, conocer las áreas que desarrollan en el mismo y saber detalles más allá de los convencionales sabiendo que la experiencia del ingeniero es lo que fundamenta el buen desarrollo del proyecto y la solución a las trabas que se lleguen a encontrar sobre la marcha; es bien sabido que se complementan varias ramas de la ingeniería, no solo tomando como ejemplo la construcción misma de la carretera, sino el simple hecho de utilizar maquinaria especializada para estos trabajos. Aunque es bastante complejo este asunto, se pudo cumplir el objetivo planteado al principio del presente trabajo, al poder explicar de la manera más clara posible y partiendo de lo general a lo particular temas que englobaron pavimentos, sus características, comparativas, fallas que comúnmente se presentan, elaboración de los mismos y el tendido en el proyecto, estos últimos finalmente aplicados a un proyecto que diera la oportunidad de corroborar cada aspecto que estuviera en fase de construcción ya que es la manera más sencilla se comprender un concepto o explicación teórica. Finalmente queda como buen testigo el trayecto y estancias realizadas a Ejutla de Crespo en el estado de Oaxaca, donde se facilitó en todo momento información y recorridos por algunos tramos del proyecto y sobre todo la buena disposición de los ingenieros para con el tema que se trató en este escrito.

En cuanto a comparativas realizadas entre ambos tipos de pavimentos, rígidos y flexibles, es difícil establecer que uno sea mejor que otro, ya que presentan ventajas y desventajas uno con respecto al otro, aunque ambos representan buenas opciones para construcción de carreteras; por mencionar algunos ejemplos en cuanto a resistencia estructural y Deformabilidad, el pavimento rígido es superior en comparación con el flexible ya que su vida útil es prácticamente el doble, y las deformaciones son mínimas; y viceversa, el pavimento flexible representa un costo inicial de construcción y mantenimiento a largo plazo menor que en pavimentos rígidos, aunque nuevamente esto se contradice cuando el deterioro, vida útil y tiempos menores de construcción ofrece el pavimento rígido. Esta situación es difícil de establecer con claridad, pero basándose en la experiencia y por supuesto en los recursos con los que se cuenta, la gran mayoría de infraestructura carretera en México está hecha a base de pavimentos flexibles, por supuesto con su cuerpo de terraplén debidamente construido. En cuanto al proyecto, es posible mencionar que basándose en todo lo anterior y la experiencia de ingenieros calificados se realizó sensible elección con la utilización de pavimentos flexibles con respaldo en pruebas de laboratorio, diseños y estudios de tránsito; además de que todo este proceso está fundamentado en manuales y normas que están diseñadas para aplicarse en México.

Finalmente cabe mencionar que el presente escrito deja una gran enseñanza tanto para quienes lo elaboraron, fuesen al sitio de la obra y conocieron a profundidad todos los aspectos mencionados anteriormente; como para quienes indaguen en este documento, se darán cuenta que esto es prácticamente lo mismo que se ha desarrollado a través de los años en cuestión de carreteras; a lo que seguramente más adelante surgirán nuevas propuestas y técnicas para mejorar estos procesos; que si bien es difícil tener argumentos y bases sólidas para este tipo de propuestas, por ahora se limita a mencionar modos de operación y mantenimiento de las mismas. En cuanto a una proposición que se puede plantear y recomendaciones que al parecer propio ayudarán a mejorar estos procesos, se encuentran una mayor apertura a la utilización de pavimentos rígidos, que si bien la inversión inicial es elevada, se ahorrarían bastantes recursos en el mantenimiento; además se puede mejorar bastante en cuestión de tiempo y recursos con la utilización de pavimentos en frío, claro con su debida preparación y que el trazo este adecuado para ello, con ello se evitarían el calentar agregados y material asfáltico, así como evitar el control de temperaturas muy restrictivas en el tendido mediante las pavimentadoras.

Esto es solamente un panorama general, que claro tendrá que seguir creciendo y a su vez siendo más específico para cada tipo de material, adecuaciones a los mismos, tipo de maquinaria a la par con la nuevas tecnologías que van surgiendo y a las nuevas demandas de comunicación y transporte que se genere la población futura.

BIBLIOGRAFÍA

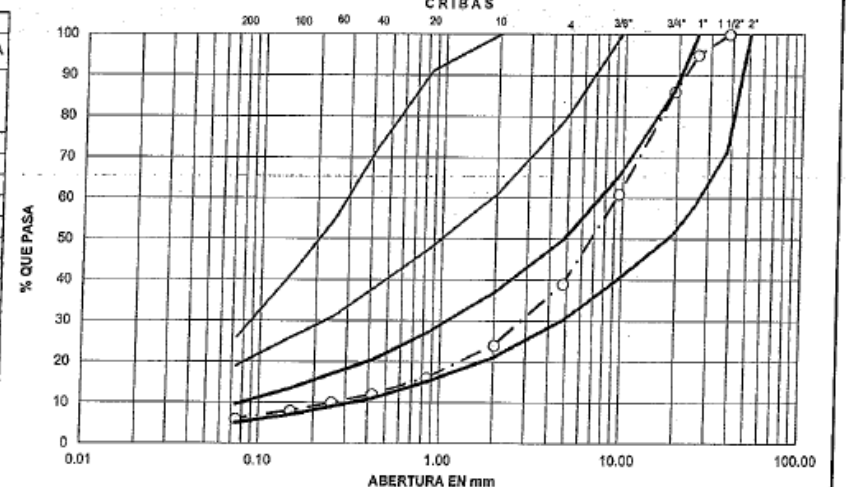
- Rico Rodríguez, A. y Del Castillo, H. (2005). La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas, Volumen II. Edit. LIMUSA. México
- Crespo Villalaz, C. (1996). Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos, Cuarta Edición. Edit. LIMUSA. México.
- Olivera Bustamante, F. (1996). Estructuración de Vías Terrestre. Edit. CECSA. México.
- Garber Nicholas, J. y Hoel Lester, A. (2005). Ingeniería de Tránsito y Carreteras, Tercera Edición. Edit. THOMSON. México.
- Aguirre L. M., Rico A., Sánchez D. y Sosa R. (1972). Proyecto de Espesores de Pavimentos Flexibles en Carreteras y Autopistas, Ponencia Presentada al Seminario de Terracerías y Pavimentos de la Secretaria de Obras Públicas en México, México.
- Montejo Fonseca Alfonso, Universidad Católica de Colombia, “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, Angora Editores, segunda reimpresión de la segunda edición, Bogotá Colombia 2002.
- Universidad de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, “Pavimentos Texto Guía”, Brasil 2004
- Alfonso Rico Rodríguez, Alberto Mendoza D., Rodolfo Téllez G. y Emilio Mayoral G., “Algunos Aspectos Comparativos entre los Pavimentos Flexibles Y Rígidos”, Publicación Técnica No. 103, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Oro. 1998.
- SCT, Libro: “Características De Los Materiales”. Parte 4. Materiales para pavimentos. Título 05. Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. Título 001. Calidad de materiales asfálticos.

ICA	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD	1110 0P AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO. Tramo: Barranca Larga - Ventanilla	LABCIISA Laboratorio de Constructora Internacional de Infraestructura
	INFORME DE MATERIALES PARA BASE HIDRÁULICA	CONTROL DE CALIDAD	

OBRA: AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO	LUGAR DE MUESTREO: ALMACEN
UBICACIÓN: Barranca Larga - Ventanilla: Tramo Norte	CANTIDAD DE MATERIAL: 80 kg
MUESTRA NÚMERO: F-M350	FECHA DE MUESTREO: 15-may-16
BANCO: TRAMO VII, Km. 129+000	FECHA DE PRUEBA: 25-may-16
MATERIAL: BASE HIDRÁULICA	TRATAMIENTO: TRITURACIÓN TOTAL

PRUEBA	MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO		LÍMITES ESPECIFICADOS	PRUEBA	MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO		LÍMITES ESPECIFICADOS	
		LIBRO 3	LIBRO 4				LIBRO 3	LIBRO 4		
GRAVEDAD ESPECÍFICA	SSS	2.66	---	---	AFINIDAD PÉTRICO ASFALTO, %	LIBRO 3	---	---	25 Máximo	
	SECA	2.63	---	---			CUBRIMIENTO DE ASFALTO	---	---	90 Mínimo
	APARENTE	2.72	---	---			DESPRENDIMIENTO PELÍCULA	---	---	25 Máximo
ABSORCIÓN %		1.28	---	---	INTEMPERISMO ACELERADO %	LIBRO 6	---	---	---	
PESO UNITARIO SUELTO kg/m³	LIBRO 6	1,644	---	---	DESGASTE "LOS ANGELES"	LIBRO 6	21.8	---	---	
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO	LIBRO 6	2,180	---	---	PARTÍCULAS ALARGADAS, %	LIBRO 6	23	---	---	
HUMEDAD ÓPTIMA, %		6.3	---	---	PARTÍCULAS LAMINADAS, %	LIBRO 6	20	---	---	
LÍMITE LÍQUIDO, %		20.15	30 Máximo	---	TRITURACIÓN, %	ASTM	96	---	---	
ÍNDICE PLÁSTICO, %	LIBRO 6	0	8 Máximo	---	EQUIVALENTE DE ARENA, %	LIBRO 6	74	50 Mínimo	---	
CONTRACCIÓN LINEAL, %		0.46	4.6 Máximo	---	RELACIÓN MALLA 200/40	LIBRO 6	0.50	0.65 Máximo	---	
VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	LIBRO 6	107	100 Mínimo	---	ÍNDICE DE DURABILIDAD, %	LIBRO 6	0	40 Mínimo	---	
EXPANSIÓN, %		0.1	---	---	VALOR CEMENTANTE, kg/m³	LIBRO 6	6	3.6 Mínimo	---	

GRANULOMETRÍA		
CRIBA	% QUE PASA	
Pulg.	mm	Obtendida
2 1/2"	63.0	
2"	50.0	
1 1/2"	38.0	100
1"	25.40	87
3/4"	19.00	62
3/8"	9.51	47
No. 4	4.76	30
No. 10	2.00	18
No. 20	0.840	10
No. 40	0.420	6
No. 60	0.250	5
No. 100	0.149	4
No. 200	0.074	3



OBSERVACIONES: EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON LAS NORMAS DE LA S.C.T. PARA EMPLEARSE EN CAPA DE BASE HIDRÁULICA

LUGAR DE PRUEBA: Laboratorio LABCIISA San Antonio LaLana, Oaxaca	FECHA DE EMISIÓN: lunes, 25 de mayo de 2016
REFERENCIAS: LABORATORIO	RECIBE
LIBRO 3 SCT LIBRO 4 SCT LIBRO 6 SCT	FOLIO CONSECUTIVO: F-M350
Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA	CLIENTE NOMBRE Y FIRMA
CODIGO DE ENTREGA: may-16	

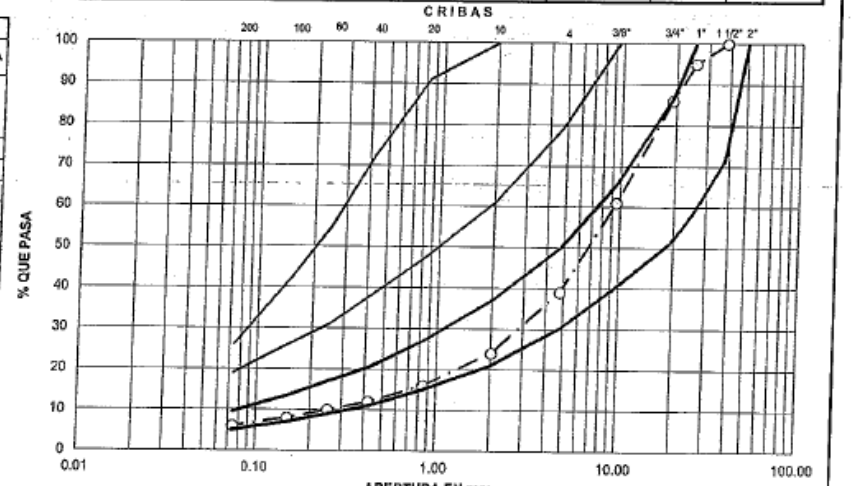
Anexo 1. Calidades de los materiales. Facilita información de campo: ICA

ICA	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD	1110 OP AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO. Tramo: Barranca Larga - Ventanilla	LABCIISA Laboratorio de Constructora Internacional de Infraestructura
	INFORME DE MATERIALES PARA BASE HIDRÁULICA	CONTROL DE CALIDAD	

OBRA: AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO	LUGAR DE MUESTREO: ALMACEN No.2
UBICACIÓN: Barranca Larga - Ventanilla; Tramo Norte	CANTIDAD DE MATERIAL: 50 kg
MUESTRA NÚMERO: F-M351	FECHA DE MUESTREO: 15-may-15
BANCO: TRAMO VII, Km. 129+000	FECHA DE PRUEBA: 26-may-15
MATERIAL: BASE HIDRÁULICA	TRATAMIENTO: TRITURACIÓN TOTAL

PRUEBA	MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO	LÍMITES ESPECIFICADOS	PRUEBA	MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO	LÍMITES ESPECIFICADOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA	LIBRO 6	2.70	---	AFIRMIAD PÉTREO ASPHALTO, %	LIBRO 6	---	25 Máximo
		2.67	---			---	30 Mínimo
		2.76	---			---	26 Máximo
ABSORCIÓN %	LIBRO 6	1.19	---	INTemperismo ACELERADO %	LIBRO 6	---	---
PESO UNITARIO SUELTO kg/m³	LIBRO 6	1,643	---	DESGASTE "LOS ANGELES"	LIBRO 6	24.4	---
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO	LIBRO 6	2,237	---	PARTÍCULAS ALARGADAS, %	LIBRO 6	23	---
HUMEDAD ÓPTIMA, %	LIBRO 6	6.6	---	PARTÍCULAS LAJADAS, %	LIBRO 6	18	---
LÍMITE LÍQUIDO, %	LIBRO 6	23.46	30 Máximo	TRITURACIÓN, %	ASTM	98	---
ÍNDICE PLÁSTICO, %	LIBRO 6	0	6 Máximo	EQUIVALENTE DE ARENA, %	LIBRO 6	52	50 Máximo
CONTRACCIÓN LINEAL, %	LIBRO 6	0.58	4.5 Máximo	RELACIÓN MALLA 200/60	LIBRO 6	0.35	0.65 Máximo
VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	LIBRO 6	108.00	100 Mínimo	ÍNDICE DE DURABILIDAD, %	LIBRO 6	0	40 Mínimo
EXPANSIÓN, %	LIBRO 6	0.10	---	VALOR CEMENTANTE, kg/cm³	LIBRO 6	5	3.5 Mínimo

GRANULOMETRÍA		
CRIBA	% QUE PASA	
Pulg.	mm	Obtenida
2 1/2"	63.0	
2"	50.0	
1 1/2"	38.0	100
1"	25.40	84
3/4"	19.00	73
3/8"	9.51	62
No. 4	4.76	34
No. 10	2.00	23
No. 20	0.849	16
No. 40	0.420	11
No. 60	0.250	8
No. 100	0.149	6
No. 200	0.074	4



OBSERVACIONES: EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON LAS NORMAS DE LA S.C.T. PARA EMPLEARSE EN CAPA DE BASE HIDRAULICA

LUGAR DE PRUEBA: Laboratorio LABCIISA San Antonio LaTena, Oaxaca	FECHA DE EMISIÓN: lunes, 26 de mayo de 2015						
REFERENCIAS: Libro 3 SCT Libro 4 SCT Libro 6 SCT	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%; text-align: center;">LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA</td> <td style="width:50%; text-align: center;">RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FOLIO CONSECUTIVO F-M351</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CODIGO DE ENTREGA: may-15</td> </tr> </table>	LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA	RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA	FOLIO CONSECUTIVO F-M351		CODIGO DE ENTREGA: may-15	
LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA	RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA						
FOLIO CONSECUTIVO F-M351							
CODIGO DE ENTREGA: may-15							

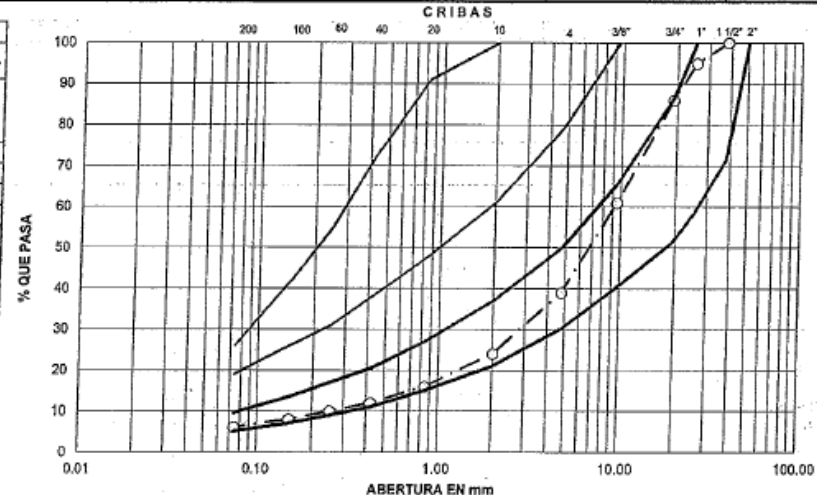
Anexo 2. Calidades de los materiales. Facilita información de campo: ICA

ICA	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD	1110 0P AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO. Tramo: Barranca Larga - Ventanilla	LABCIISA Laboratorio de Constructora Internacional de Infraestructura
	INFORME DE MATERIALES PARA BASE HIDRÁULICA	CONTROL DE CALIDAD	

OBRA: AUTOPISTA OAXACA - PUERTO ESCONDIDO	LUGAR DE MUESTREO: TRAMO VII, Km. 128+800
UBICACIÓN: Barranca Larga - Ventanilla: Tramo Norte	CANTIDAD DE MATERIAL: 60 kg
MUESTRA NÚMERO: F-M366	FECHA DE MUESTREO: 14-may-16
BANCO: TRAMO VII, Km. 128+800	FECHA DE PRUEBA: 24-may-15
MATERIAL: BASE HIDRÁULICA	TRATAMIENTO: TRITURACIÓN TOTAL

P R U E B A		MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO	LÍMITES ESPECIFICADOS	P R U E B A		MÉTODO SCT	VALOR OBTENIDO	LÍMITES ESPECIFICADOS
GRANDEZA ESPECÍFICA	SSS	LIBRO 6	2.55	---	AFINIDAD PETRO ASFALTO, %	DESPRENDIMIENTO x FRICCIÓN	LIBRO 6	---	25 Máximo
	SECA		2.53	---		CURRIMIENTO DE ASFALTO		---	90 Mínimo
	APARENTE		2.69	---		DESPRENDIMIENTO PELÍCULA		---	25 Máximo
ABSORCIÓN %			0.78	---	INTERPERISMO ACELERADO %		LIBRO 6	---	---
PESO LINTAFO SUELTO kg/m³		LIBRO 6	1,077	---	DESGASTE "LOS ÁNGELES"		LIBRO 6	22.3	---
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO		LIBRO 6	2,160	---	PARTÍCULAS ALARGADAS, %		LIBRO 6	19	---
HUMEDAD ÓPTIMA, %		LIBRO 6	7.4	---	PARTÍCULAS LAJEADAS, %		LIBRO 6	16	---
LÍMITE LÍQUIDO, %			21.77	30 Máximo	TRITURACIÓN, %		ASTM	95	---
ÍNDICE PLÁSTICO, %		LIBRO 6	0	9 Máximo	EQUIVALENTE DE ARENA, %		LIBRO 6	57	50 Mínimo
CONTRACCIÓN LINEAL, %			0.8	4.5 Máximo	RELACIÓN MALLA 200/60		LIBRO 6	0.33	0.85 Máximo
VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %		LIBRO 6	109.00	100 Mínimo	ÍNDICE DE DURABILIDAD, %		LIBRO 6	0	40 Mínimo
EXPANSIÓN, %		LIBRO 6	0.10	---	VALOR CEMENTANTE, kg/cm³		LIBRO 6	6	3.6 Mínimo

GRANULOMETRÍA		
CRIBA	% QUE PASA	
Pulg.	mm	Obtenida
2 1/2"	63.0	
2"	50.0	100
1 1/2"	38.0	99
1"	25.0	82
3/4"	19.0	69
3/8"	9.51	46
No. 4	4.76	30
No. 10	2.00	21
No. 20	0.840	14
No. 40	0.420	9
No. 60	0.250	7
No. 100	0.149	6
No. 200	0.074	3



OBSERVACIONES: EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON LAS NORMAS DE LA S.C.T. PARA EMPLEARSE EN CAPA DE BASE HIDRAULICA

LUGAR DE PRUEBA: Laboratorio LABCIISA San Antonio LaTana, Oaxaca	FECHA DE EMISIÓN: domingo, 24 de mayo de 2015						
REFERENCIAS: Libro 3 SCT Libro 4 SCT Libro 6 SCT	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%; text-align: center;">LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA</td> <td style="width:50%; text-align: center;">RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FOLIO CONSECUTIVO F-M366</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CODIGO DE ENTREGA: may-15</td> </tr> </table>	LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA	RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA	FOLIO CONSECUTIVO F-M366		CODIGO DE ENTREGA: may-15	
LABORATORIO LABCIISA Ing. Ernesto Barrera Barocio NOMBRE Y FIRMA	RECIBE CLIENTE NOMBRE Y FIRMA						
FOLIO CONSECUTIVO F-M366							
CODIGO DE ENTREGA: may-15							

Anexo 3. Calidades de los materiales. Facilita información de campo: ICA

GRANULOMETRÍA CONTÍNUA

% RETENIDOS

CRIBA		LÍM. ACUM.		MATERIAL		
N	mm	MÁX.	MÍN.	Masa	Ret	PASA
2"	50.8					
1 1/2"	38.1	100				100
1"	25.4	70	100	162	13	87
3/4"	19.05	60	85	150	12	75
3/8 "	9.525	40	65	337	27	48
Nº. 4	4.75	30	50	175	14	34
Nº. 10	2	21	36	137	11	23
Nº. 20	0.84	13	25	87	7	16
Nº. 40	0.42	8	17	25	2	14
Nº. 60	0.25	5	12	37	3	11
Nº.100	0.149	3	9	37	3	8
Nº. 200	0.074	0	5	12	1	7
Charola				87	7	
M.F.						

1,248

100%

Mezcla

MALLA	MASA			%	
	Mat 1	ARENA	Total	Ret	Pasa
2"	0		-		
1 1/2"	0		-		100
1"	162		162	12	88
3/4"	150		150	11	76

Anexo 4. Programa para mezclas de base hidráulica. Agregados. Facilita información de campo: ICA

