



UNIVERSIDAD VILLA RICA

ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y
FLEXIBLES”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA CIVIL

PRESENTA:

MARIANA ROJAS ANDRADE

Director de Tesis:

ING.PEDRO ABELARDO BOLÍVAR HERNÁNDEZ

Revisor de Tesis:

ING.JOSE VLADIMIRO SALAZAR SIQUEIROS

BOCA DEL RÍO, VER.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE**Conservación de pavimentos rígidos y flexibles.**

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. Metodología	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Hipótesis	5
1.5 Tipos de estudio.....	6
1.6 Recopilación de datos.....	6
1.7 Alcance	6
CAPITULO II. Antecedentes	7
2.1 Antecedentes históricos.....	7
2.2 Los pavimentos.....	12
2.2.1 Clasificación	14
2.2.2 Secciones típicas.....	15
2.2.3 Funciones de las capas de pavimento.....	17
2.2.4 En función del tamaño máximo	21

2.2.5 Influencia de la forma y textura.....	22
2.3 Suelos y su clasificación	24
2.4 Suelo.....	24
2.5 Fragmentos de roca.....	25
2.6 Rocas.....	27
2.6.1 Clasificación de las rocas según su origen.....	29
2.6.2 Clasificación por su extracción	34
2.6.3 Dureza	36
2.6.4 Abrasividad.....	38
2.6.5 Cementación	39
2.6.6 Forma	40
2.7 Características geológicas.....	41
2.7.1 Color.....	41
2.7.2 Olor.....	41
2.7.3 Raspadura	42
2.7.4 Crucero.....	42
2.7.5 Fractura	42
2.7.6 Brillo o lustre.....	42
2.7.7 Estructura	43
2.7.8 Compacidad	43
2.7.9 Estratigrafía	44
2.8 La construcción pesada y el ingeniero civil.....	44
CAPITULO III. Conservación de los pavimentos rígidos y flexibles.....	48
3.1 Diferentes Tipos De Fallas.....	48
3.2 Descripción De Fallas En Pavimentos	52
3.2.1 Pavimentos Flexibles.....	52
3.2.1.1 Roderas	52

3.2.1.1.1 Prueba Marshall.....	55
3.2.1.1.2 Prueba de porcentaje de material triturado.....	62
3.2.1.2 Superficie de rodamiento lisa	62
2.2.1.3 Pequeñas deformaciones transversales rítmicas	65
2.2.1.3.1 Prueba de valor cementante	66
3.2.1.3 Desintegración de la carpeta	69
3.2.1.3.1 Prueba de adherencia de los materiales pétreos con el asfalto	70
3.2.1.4 Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta	74
3.2.1.5 Presencia de calaveras	74
3.2.1.6 Baches.....	74
3.2.1.7 Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo.....	74
3.2.1.7.1 Mortero asfáltico o Slurry Seal.....	77
3.2.1.7.2 Emulsión Asfáltica	83
3.2.1.8 Corrimiento de la carpeta asfáltica	87
3.2.1.9 Descarnado de la carpeta.....	88
3.2.1.10 Deformaciones de la superficie de rodamiento del orden de 5 cm ...	88
3.2.1.11 Deformaciones fuertes de la superficie de pavimento	88
3.2.2.12 Deformación de la corona junto a las cunetas.....	89
3.2.2 Pavimentos Rígidos.....	89
3.2.2.1 Descascarado de las orillas.....	89
3.2.2.2 Grietas transversales.....	90
3.2.2.3 Grietas longitudinales o transversales cercanas a las orillas o en las esquinas de la losa.....	90
3.2.2.4 Falla estructural	91
3.2.2.5 Descarnado de la superficie de rodamiento	92
3.3 Reparación de las vías terrestres	92
3.3.1 Pavimentos Flexibles.....	92
3.3.2 Mantenimiento normal o preventivo.....	94
3.3.3 Reconstrucción aislada.....	95
3.3.4 Rehabilitación o reconstrucción.....	95

3.3.5 Actividades de conservación en pavimentos rígidos	97
3.3.6 Carreteras antiguas en buen estado predominante	98
3.3.7 Carreteras Antiguas en mal estado predominante	99
3.4 Metodología administrativa para la planificar la conservación	99
Capítulo IV. Conclusiones	103
BIBLIOGRAFIA	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pavimentos.....	13
Tabla 2. Pavimentos flexibles.....	17
Tabla 3. Pavimentos rígidos.....	18
Tabla 4. Calcificación de los pavimentos e ingredientes.....	19
Tabla 5. Comparación de dureza.....	37
Tabla 6. Contenido óptimo de cemento asfáltico.....	55
Tabla 7. Valores para satisfacer normas.....	60
Tabla 8. Emulsiones asfálticas aniónicas	85
Tabla 9. Emulsiones asfálticas catiónicas	86
Tabla 10. Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riego o para riego de sello.....	87
Tabla 11. Tabla para administrar la planeación.....	102

Tabla 12. Peso de los diferentes tipos de vehículos automotores y los coeficientes de equivalencia a vehículos estándar de 8.2 ton104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento flexible.....	15
Figura 2. Pavimento rígido.....	16
Figura 3. Pavimento semi-rígido o semiflexible.....	16
Figura 4. Capas de los pavimentos.....	21
Figura 5. Calidad de las capas de los pavimentos.....	23
Figura 6. Procesos de cambio.....	28
Figura 7. Ejemplo.....	45
Figura 8. Volumen supuesto.....	46
Figura 9. Índice de servicio.....	49
Figura 10. Índice de servicio.....	51
Figura 11. Graficas para calcular el contenido óptimo de asfalto, de acuerdo con la prueba Marshall para concreto asfaltico.....	58

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Calle Dr. Rafael Cuervo.....	54
Imagen 2. Prueba de estabilidad y flujo para encontrar el contenido óptimo de asfalto con la prueba de Marshall para concreto asfáltico.....	57
Imagen 3. Sellado	65
Imagen 4. Prueba valor cementante.....	68
Imagen 5. Prueba valor cementante.....	69
Imagen 6. Prueba de adherencia de los materiales pétreos con el asfalto.....	71
Imagen 7. Baches.....	75
Imagen 8. Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo.....	76
Imagen 9. Slurry Seal.....	78
Imagen 10. Slurry Seal.....	80
Imagen 11. Grietas longitudinales.....	91

INTRODUCCIÓN

La situación actual del país muestra un visible retraso en lo que respecta a la red carretera, por lo que se requiere un mantenimiento de esta. La razón es la creciente necesidad de comunicarse por la globalización y los tratados comerciales con Canadá, Estados Unidos y Europa.

Las carreteras son uno de los factores más importantes en el desarrollo de un país. En México, constituye la principal forma de comunicación.

Los caminos y carreteras propician la creación de cadenas productivas generadas por el tráfico de mercancías e impulsan al comercio y la producción industrial. Por tal motivo es más que evidente la importancia de la correcta planeación en la construcción y mejoramiento de las vías de comunicación por parte de las autoridades correspondientes y constructores encargados.

El programa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) 2001-2006, establece que “Las características de nuestro país implican, para los sistemas de transporte, la existencia de demandas es muy fuerte y creciente para cubrir las variadas necesidades de desplazamiento de carga y pasajeros en todo el territorio

nacional, para poder contribuir así de manera activa a la integración nacional y a la articulación de cadenas productivas, aspectos indispensables para fortalecer la productividad de las industrias y la competitividad de la economía en su conjunto”¹.

Los caminos construidos, no han recibido un mantenimiento adecuado y han sido maltratados y usados en mayor medida de la que fue prevista. Si este descuido continúa, los caminos seguirán deteriorándose, acelerándose las fallas y deformaciones que éstos presentan.

En esta tesis se presentan cuales son las diferentes formas por las cuales las carreteras, caminos, calles o avenidas se deterioran y los métodos que se pueden utilizar para la conservación de los pavimentos rígidos y flexibles.

A pesar del interés que se tenga en hacer un buen programa de conservación, muchas veces el fondo destinado no alcanza, puesto que el dinero debe destinarse entre la manutención de defensas, letreros, pinturas , pavimentos ,etc, por lo que la mantención de pavimentos se realiza a cada 2 años aproximadamente, o cuando visualmente el pavimento esta en muy malas condiciones , ya que se le da prioridad a reparar o mantener a lo que se encuentre en peor estado.

¹ Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001

Para poder hablar de ello es necesario saber que es un pavimento; es por eso que en el capítulo II se habla de los pavimentos y se explica como están constituidos, cuales son sus características, componentes y como se clasificación.

En el capítulo III se especifica cada una de las fallas que existen en los diferentes tipos de pavimentos; se habla de cual es la causa por las cuales aparezcan, de cual es la manera de prevenirlas y de la conservación para cada una de ellas.

CAPÍTULO I. Metodología

1.1 Planteamiento del problema

No solo construir una carretera o camino, una calle o una avenida es un reto, ya que a veces las inclemencias del tiempo y el proceso constructivo complican la obra, pero también es conservar, ya que las obras que están en uso no podemos cerrarlas para reparaciones sin pensar en las incomodidades que vamos a causar, en la obra misma, su funcionamiento y a los usuarios pero tampoco podemos dejar que las calles y avenidas se deterioren porque sería más difícil la comunicación y en lugar de ir mejorando, solo atacaríamos el problema por algún tiempo.

1.2 Justificación

Es importante la conservación de carreteras o caminos, calles y avenidas ya que algunos fenómenos naturales las pueden destruir o simplemente dañarlas

también el uso las va deteriorando, por lo cual es importante mantenerlas en buen estado para que puedan ser transitables en todo momento ya que los usuarios sean los más beneficiados

1.3 Objetivos

-Generales

Modernización de las vías de comunicación, promover el desarrollo social y económico

-particulares

Dar a conocer las fallas que sufren los pavimentos flexibles y rígidos. Los más beneficiados serán los habitantes de cada lugar, ya que son los que transitan día a día las calles y avenidas.

1.4 Hipótesis

Tener una red de calles y avenidas seguras y transitables en todo momento, pero al mismo tiempo que sean accesibles, tratar de mantener todas en buen estado.

1.5 Tipos de estudio

Investigación bibliográfica, técnica y documental de dependencia correspondiente a la construcción y conservación de pavimentos rígidos y flexibles en calles y avenidas.

1.6 Recopilación de datos

Se observara cuales son las fallas en los pavimentos, como surgen estas, y se propondrá una conservación.

1.7 Alcance

Proponer la conservación de carreteras, caminos, calles y avenidas; se propondrán calles y avenidas diferentes de los cuales se presentan distintos tipos de daños

CAPÍTULO II. Antecedentes

2.1 Antecedentes históricos

Es importante encontrarse que en la vida civilizada desde que abrimos los ojos al despertar, tenemos contactos con los pavimentos. El piso de las recámaras, de los baños, de las casas; salimos a la calle, circulamos por banquetas y ya sea que usemos vehículos propios o transporte popular, estos rodarán sobre pavimento. En el transporte de ciudad a ciudad ya sea por vehículo, auto motor o aviones, tenemos las autopistas y las pistas de aterrizaje. Aquí los pavimentos que veamos son referidos a los sistemas de transporte.

Las civilizaciones clásicas del Medio Oriente, Egipto, China, etc. Y los Imperios Inca y maya dejaron evidencia histórica de mucho interés respecto a redes incipientes de caminos, con un grado de desarrollo sorprendente.

Con la invención de la rueda, probablemente en Mesopotamia (Asia menor) hace unos 5,000 años A.C., se originó la necesidad de superficies de rodamiento que alojasen el incipiente tránsito (carretas de cuatro ruedas que datan de 3,000 años A.C., fueron encontradas en la “Tumba de la Reina” en las ruinas de la ciudad de UR. En Mesopotamia).

En esa época, dos grandes pueblos (Asirio y Egipto) iniciaron el desarrollo de sus caminos. Los indicios de los primeros caminos señalan la existencia de una ruta entre Asia y Egipto. Los Cartagineses, se sabe, construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo, 500 A.C., los etruscos (830-350 A.C.) construyeron caminos antes de la fundación de Roma; El historiador Griego Herodoto (484-425 A.C.) menciona que los caminos de piedra más antiguos fueron construidos por el Rey Keops de Egipto, para proporcionar una superficie de rodamiento al transporte de las inmensas piedras destinadas a la erección de las pirámides.

Con el advenimiento del imperio romano cabe aceptar la introducción de los primeros caminos construidos con tecnología. Da lugar citar la mundialmente famosa vía Appia, cuya construcción fue iniciada por Appius Claudius en el año 312 A.C. la evidencia justifica el conceder el mérito a los romanos por iniciar el método científico de la construcción de caminos. El imperio Romano ofrece quizá

el primer ejemplo en el sentido moderno de cómo una red caminera bien construida y conservada ayuda a la conquista y sostenimiento de un dominio territorial. Los pavimentos romanos consistían de grandes bloques rocosos bien acomodado, directamente apoyados en el terreno natural y en muchos casos, se han conservado hasta la actualidad.

Las culturas antiguas de América, entre ellas la de los mayas (Posiblemente antes de la era cristiana) en el sur de México y norte de Centroamérica; la de los Toltecas, que se establecieron en la meseta central en el lago de Texcoco, por el año 752; los Aztecas que fundaron Tenochtitlán, hoy ciudad de México en 1325, y los Incas (1,100 A.C.) en el Perú, dejaron huellas de una avanzada técnica de construcción de caminos, siendo notables los llamados “caminos blancos” de los mayas. Estos últimos formados con terraplenes de uno y dos metros de elevación, eran cubiertos con una superficie de piedra caliza, cuyos vestigios existen actualmente en Yucatán, México.

Los incas en el Perú, realizaron verdaderas obras de ingeniería, dada la accidentada topografía del suelo, para construir caminos que, aunque destinados al tránsito de vehículos, denotaban un movimiento importante.

Los incas y los mayas construyeron sus caminos aglutinando los bloques de piedra con morteros naturales y afinando la superficie de rodaje.

La era napoleónica ofrece otro ejemplo; el talento del notable técnico Tressaguet de quien suele citarse: “Hizo más que algún ejército a favor de la expansión francesa”. Tressaguet inició la construcción; sus ideas fueron más tarde corregidas y mejoradas en Inglaterra por Telford y Mcadam, quienes construyeron pavimentos con secciones que, en algunos casos aún están hoy en uso.

A mediados del siglo XVI los conquistadores españoles inician la construcción y explotación de recursos en la Nueva España. Durante este siglo y XVIII, a pesar de una falta de gobiernos centrales que se preocupen por los caminos, siguen haciéndose esfuerzos por mejorar algunos existentes. La industrialización de algunas regiones contribuye a aumentar el uso de los mismos. Durante el siglo XVI es introducida en América por el español Sebastián de Aparicio, la Carreta. Él construye la primera carretera del nuevo mundo entre México y Veracruz, aproximadamente entre 1540 y 1550; más tarde construyó la México-Zacatecas.

El siglo XVIII marca la iniciación de la era moderna. Al desarrollo de los caminos contribuye enormemente la introducción del cobro de cuotas de peaje, que

permiten la construcción y conservación de estos caminos. Esta práctica se hace común tanto en Europa como en las colonias americanas. En los Estados Unidos el desarrollo de estos caminos influye grandemente en la expansión del territorio y en fortalecimiento económico.

Sin embargo, el verdadero auge del pavimento en el sentido actual de la palabra, ha tenido lugar con la aparición del automóvil en primer lugar y más recientemente, con el advenimiento de la aviación en la escala en que hoy se conoce.

Las fuertes cargas vehiculares, su velocidad de tránsito, la frecuencia de sus repeticiones, etc., Hicieron que en la actualidad las técnicas de construcción de pavimentos hayan sufrido una evolución muy rápida, con una definida tendencia, infortunadamente no siempre acompañada por el éxito a adquirir cada vez mejores bases teóricas que refuercen, justifiquen y permitan aplicar con buen criterio el ya muy grande conocimiento observacional que a la fecha se va teniendo. A este respecto ha de hacerse notar que la inversión nacional en obras de pavimentación constituye para cualquier inversión realizada en búsqueda de un mejoramiento específico; baste decir que en muchos caminos la pavimentación puede suponer un 50% del costo total para visualizar su importancia ingenieril.

El resurgimiento del cuatro veces Heroico Puerto de Veracruz, a partir de la apertura de la autopista México-Veracruz vía Córdoba terminada en el año 1995; Acercó el tiempo y distancia con el Altiplano y vecinos, siendo un gran detonador turístico.

2.2 Los pavimentos

Se entenderá por “pavimentos” La estructura vial formada por una capa o conjunto de capas de material procesado de espesor(es) uniforme(s) comprendida entre la subrasante y la rasante (superficie de rodamiento). Las que deben proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, rápida, cómoda, segura y transitable en todo tiempo; capaz de resistir las cargas y transmitir las a las capas inferiores; además de resistir a los agentes del intemperismo y al desgaste producido por el rodamiento de los vehículos.

Que es	Una estructura vial
Como está formada	Por una capa o conjunto de capas
Con que material	De un material procesado
Geometría de la(s) capa(s)	Espesores uniformes
Ubicación	Entre la subrasante y rasante
Geométricamente	Proporciona una superficie uniforme, rápida, cómoda, segura y transitable en todo tiempo
Mecánicamente	Capaz de resistir las cargas y transmitir las a las capas inferiores
Intemperismo	Resistir a la acción de los agentes del intemperismo. En particular al agua en sus presentaciones sólida, líquida y gaseosa.
Tráfico	Resistir el desgaste producido por el tráfico

Tabla1. Pavimentos

2.2.1 Clasificación

Existen dos tipos básicos a clasificar; los pavimentos: Flexibles y los Rígidos.

Los pavimentos flexibles son aquellos que se adaptan a la deformación(es) de la capa subrasante; formados por capas de pavimento hidráulico y asfáltico.

Los pavimentos rígidos son los que están terminados por losas de concreto hidráulico, éstas apoyadas sobre la superficie subrasante o capas de pavimento hidráulico.

Cabe clasificar algunos pavimentos como semirrígidos o semiflexibles como son los empedrados, adoquines, enlosetados.

2.2.2 Secciones típicas

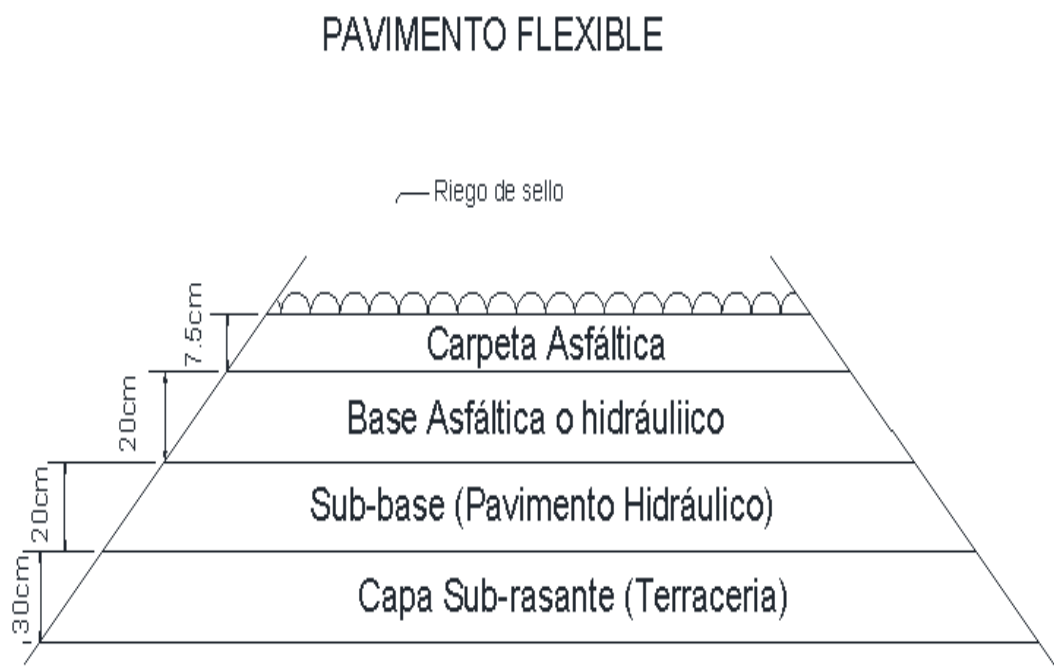


Figura 1. Pavimento flexible

PAVIMENTO RÍGIDO

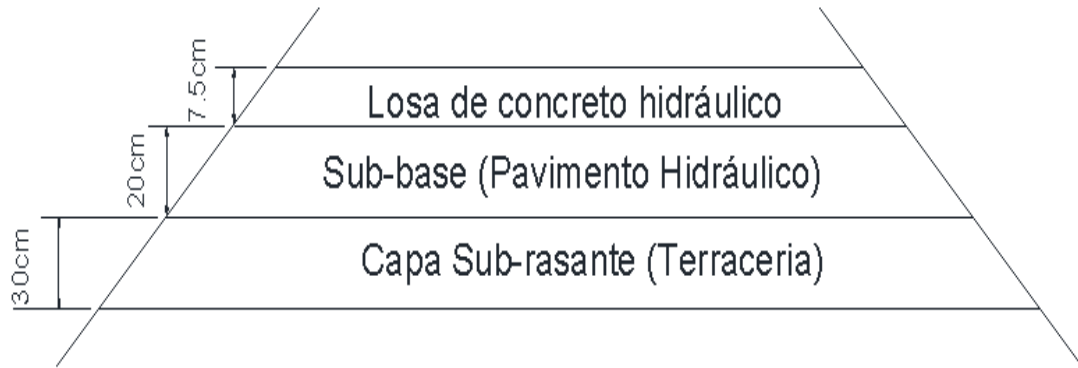


Figura 2. Pavimento rígido

PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO O SEMIFLEXIBLE

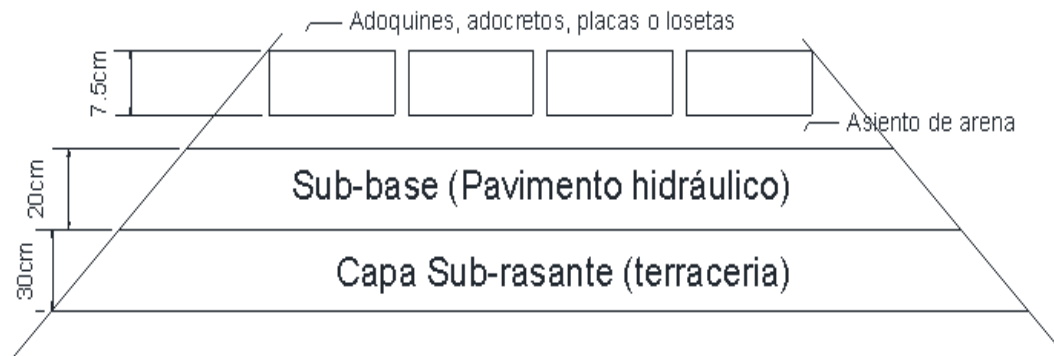


Figura 3. Pavimento semi-rígido o semiflexible

2.2.3 Funciones de las capas de pavimento

(Apegados a la definición de pavimento, las capas cumplen su cometido)

EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	
El riego de sello	Sellado de grietas y seguridad.
La carpeta asfáltica	Superficie de rodamiento. Resistir el efecto de las llantas, resistir las cargas y transmitirlas.
La base asfáltica	Reforzar la superficie de rodamiento, resistir las cargas y transmitirlas.
La base hidráulica	Resistir las cargas que le son transmitidas y esta a su vez transmitirla a las capas inferiores.
La sub-base	Capa de transición de las terracerías con el pavimento, resistir la carga que le transmiten y retransmitirla a las terracerías. Así como capa que drena la humedad que baja de las capas superiores o intercepta el agua que subía por capilaridad de las terracerías. Amortiguar el encaje o penetración de las terracerías.

Tabla 2. Pavimentos flexibles

EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS	
Losa de concreto	Resistir el paso de los vehículos, cargas y transmitirla a las capas inferiores.
La base	Reforzar la superficie de rodamiento, resistir las cargas y transmitirlas.
La sub-base	<p>Capa de transición de las terracerías con el pavimento, resistir la carga que le transmiten y retransmiten a las terracerías. Así como capa que drena la humedad que baja de las capas superiores o intercepta el agua que subía por capilaridad de las terracerías.</p> <p>Amortiguar el encaje o penetración de las terracerías.</p>

Tabla 3. Pavimentos rígidos

CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS E INGREDIENTES											
Calcificación.	Tipo	Capa	Ingredientes								
			Agregado pétreo	Agua	Aire	Producto Asfáltico	Grava	Arena	Cemento portland	Aditivo	
Flexible	Pavimento hidráulico	Sub-base	X	X	X		X	X			
		base	X	X	X		X	X			
	Pavimento asfáltico	Base asfáltica	X		X	X	X	X			
		Carpeta asfáltica	X		X	X	X	X			
	Riego de sello		X			X	X				
Rígido	Pavimento hidráulico	Sub-base	X	X	X		X	X			
		Base	X	X	X		X	X			
	Losa de concreto hidráulico						X	X	X		X

Tabla 4. Calcificación de los pavimentos e ingredientes

De los materiales que constituyen los pavimentos:

Agregado pétreo: Motivo de explotación, procesamiento de la materia prima y nombre con que bautizamos al pétreo.

Aire: Lo proporciona la naturaleza, habiendo siempre vacíos en las capas de pavimentos.

Agua: Lo proporciona la naturaleza y en ocasiones motivo de explotación.

Grava / Arena: Motivo de explotación y procedimiento.

Producto asfáltico: Se adquiere de la industria petrolera.

Cemento portland: Se adquiere de la industria cementera.

Aditivos para concreto: Se adquiere en la industria cementera y concretera.

Es en sí a la producción del agregado pétreo, a lo que debe enfocarse el pavimentador.

El agregado pétreo dependiendo de la capa que se trate, limita el tamaño máximo del mismo.

Sub-bases hidráulicas 2"- 1½" Máx.

Bases hidráulicas 1½" Máx.

Bases asfálticas	1" Máx.
Carpetas asfálticas	$\frac{3}{4}$ " Máx.
Pétreo en sello	$\frac{3}{8}$ " Máx.

2.2.4 En función del tamaño máximo

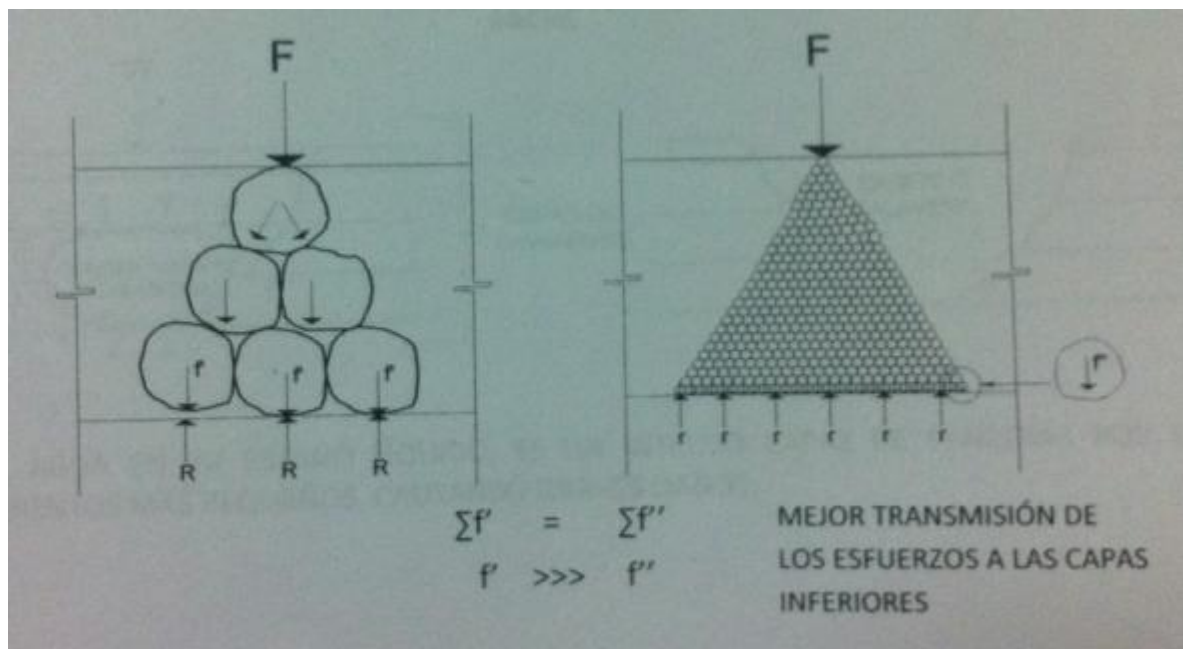


Figura 4. Capas de los pavimentos

En las capas de los pavimentos, al ir teniendo a la superficie, la calidad del agregado pétreo es superior.

2.2.5 Influencia de la forma y textura

Los fragmentos de roca o bien del agregado pétreo, la forma y textura trasciende a su capacidad de resistencia y transmitirla.

Las formas a circulares, alargadas o lajeadas que tienen ángulos diedros y poliedros agudos; tienden a la fractura debilitando su capacidad.

En las formas sub-angulosas, arredondeadas y lisas, la fricción interna es menor, así como su capacidad de resistir y transmitir.

Es de preferir agregado pétreo producto de trituración que materiales precedentes de ríos (Piedra, boleó y arena(s)).

La forma influye en las propiedades físicas de un pavimento. Por la trabazón y fricción interna que se ejerce entre ellas; la forma idealizada es la equidimensional.

Cabe desde el inicio de este trabajo referirnos al peor enemigo de los pavimentos.

El agua.

Una humedad confinada en las capas de pavimentos, es lo que se llama *bache*, invocado a la ley de la hidráulica dictada por Pascal. Las concentraciones de humedad al ser solicitadas por un agente externo, esta responde con la misma intensidad y en todos los sentidos desquebrajando las capas y el pase del tráfico

las destruye y desintegra, dejándonos como vestigios los hoyancos, calaveras o cajetes (vulgarmente llamados baches).

Recalcando, un pavimento está formado por capas cuya calidad es mejor cuanto más cercana se encuentren a la superficie de rodamiento.

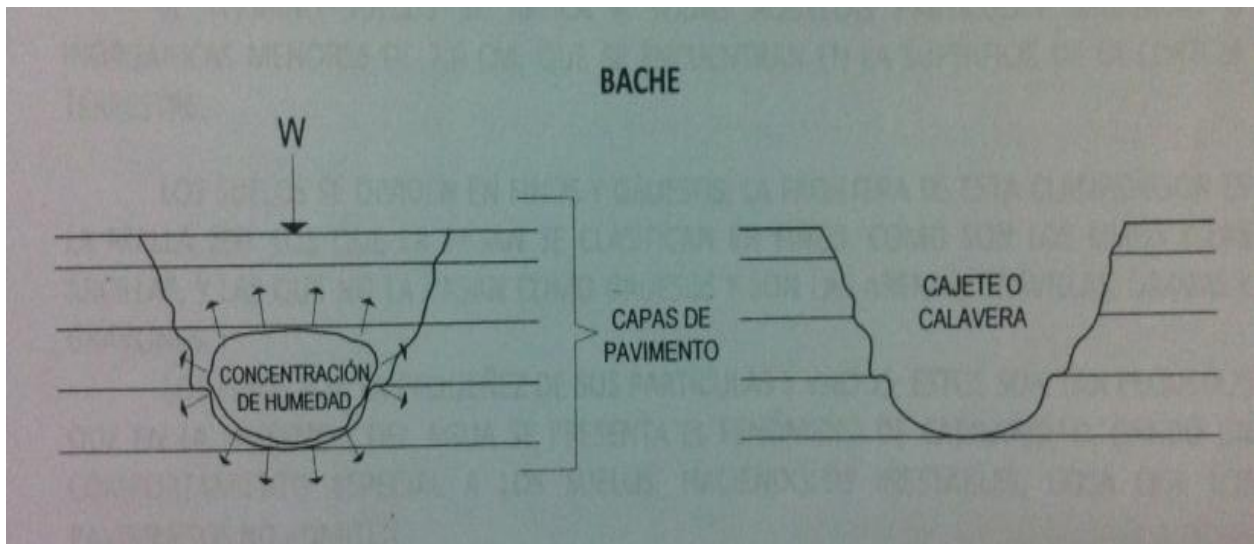


Figura 5. Calidad de las capas de los pavimentos

El agua en su estado líquido, es un intruso capaz de penetrar por los agrietamientos más pequeños. Causando graves daños.

A la operación de sellar y rellenar los cajetes o calaveras, se le llama bacheo.

2.3 Suelos y su clasificación

Las obras de la ingeniería civil se llevan a cabo sobre la superficie de la corteza terrestre, cualquier obra que nos venga a la mente (Salvo pilas y pilotes en cimentaciones profundas) No nos profundizamos nada considerable en la corteza terrestre, la que tiene grosores variables desde 5 Km hasta 80 Km.

Se exige tener conocimientos básicos de geología, ver como se ha constituido y estabilizado la corteza terrestre hasta la actualidad.

Que encontramos, que disponemos y con que lenguaje lo descubrimos.

Aunada a la geología, tenemos al alcance la mecánica de los suelos y de las rocas para así poder hacer el mejor de los planteamientos.

Para esta clasificación estableceremos las siguientes diferencias entre suelos, fragmentos de roca y rocas.

2.4 Suelo

Es todo material suelto, desintegrado, que se encuentra en la corteza terrestre, como son: guijarros o cantos rodados, piedras, arenas, granzones, limos, arcillas, materiales turbulentos y mezclas de estos materiales.

La capa superficial de la tierra, rica en materia orgánica, se desintegra con el nombre de capa vegetal.

El término suelos se aplica a todas aquellas partículas orgánicas o inorgánicas menores de 7.6 cm. Que se encuentran en la superficie de la corteza terrestre.

Los suelos se dividen en finos y gruesos; la frontera de esta clasificación es la malla 200. Los que pasan se clasifican en finos, como los limos y las arcillas, y las que no la pasan como gruesos y son las arenas, gravillas, gravas y gravones.

Los finos para la pequeñez de sus partículas y vacíos; estos son tan pequeños que en la presencia del agua se presenta un fenómeno de *capilaridad*, dando un comportamiento especial a los suelos, haciéndolos inestables, cosa que los pavimentos no admiten.

Un suelo se considera fino, si más del 50% de sus partículas en peso, son finas.

2.5 Fragmentos de roca

El término fragmentos de roca se aplica a todos aquellos fragmentos mayores que 7.6 cm (3") y que no constituyen parte de una formación rocosa propiamente dicha.

Los fragmentos de roca se subdividen en:

- a) Fragmentos chicos (Fc.): Aquellos cuyo tamaño está comprendido entre 7.6 cm (3") y 30 cms de dimensión máxima.
- b) Fragmentos medianos (Fm): Aquellos cuyas dimensiones está comprendida entre 30 cms y 1 m.
- c) Fragmentos grandes (Fg): Aquellos cuya dimensión máxima es mayor de 1m.

En este tipo de materiales deberán iniciarse las siguientes características: Clasificación petrográfica, características de granulometría, tamaño máximo de los fragmentos, forma de los mismos, características de la superficie, grado de alteración y cualquier información descriptiva pertinente.

En todos los casos en que se tengan materiales que comprenden tanto suelo como fragmentos de roca, deberá estimarse el porcentaje aproximado el volumen que cada uno de ellos ocupa con respecto al volumen total. La primera parte del nombre del material será del grupo predominante, la segunda parte el del grupo o grupos restantes ordenados según su importancia.

2.6 Rocas

Es la materia mineral sólida, que halla en grandes masas, que tienen continuidad.

El proceso de transformación de la materia de la materia de origen, o roca madre, en suelo, es lo que se conoce como formación del suelo. Esta transformación no alcanza un estado de equilibrio permanente, por que continuamente intervienen agentes que van transformando o combinando las características físicas y químicas del suelo. La roca se va transformando en suelo puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

Dos procesos intervienen en la transformación de una roca en suelo: la desintegración mecánica y la descomposición química. La desintegración mecánica se debe a fuerzas o agentes externos y a expansiones térmicas de los minerales que componen la roca.

La descomposición química se debe a la oxidación, hidratación, etc.

Los suelos que provienen de la desintegración mecánica y de la descomposición química de la roca madre que se desintegra en un sitio, y que han sido transportados, recibirán los siguientes nombres:

- a) Si han sido transportados por el agua, se denominan suelos aluviales o aluvionales.
- b) Si han sido transportados por el viento, se llamarán suelos aeolianos (Loess, dunas).

- c) Si han sido transportados por movimientos glaciales, se designarán suelos glaciales.
- d) Si han sido movidos por la acción de la gravedad, se denominarán suelos coluviales, como los detritos de ladera que se encuentran al pie de las montañas y colinas.

En la siguiente figura se muestran los procesos de cambio

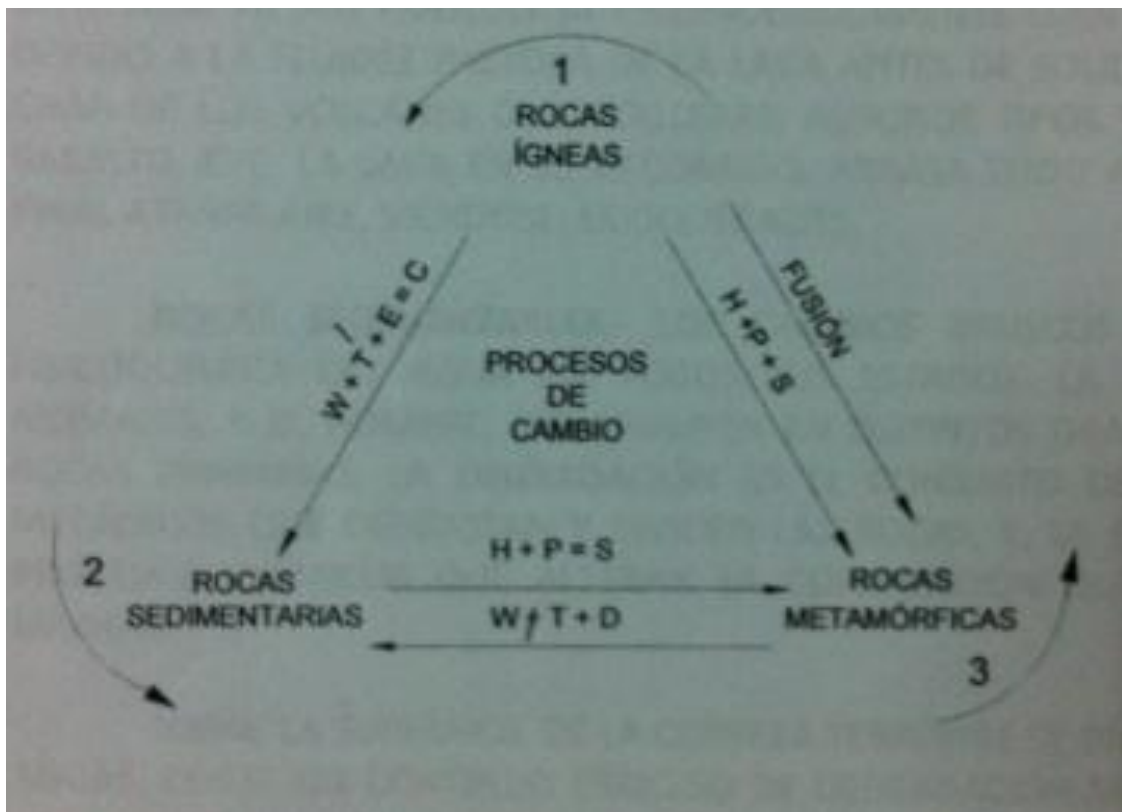


Figura 6. Procesos de cambio

Donde:

W= Intemperismo

T= Transporte

C= Consolidación

D= Deposito

H= Calor

P= Presión

S= Solución

1= Fusión

2= $W + T + D \neq C$

3= $H \neq P \neq S$

2.6.1 Clasificación de las rocas según su origen

Las rocas se subdividen en:

- Rocas ígneas: Estas rocas comprenden los grupos de rocas ígneas extrusivas (Rie) y rocas intrusivas (Rii).

- Rocas sedimentarias: Comprenden a los grupos: Clásticas, orgánicas u químicas.
- Rocas metamórficas: Comprenden estas rocas las no foliadas y las foliadas.

Rocas ígneas: También conocidas como rocas primarias; son Las rocas más antiguas en su formación, pues se originan de la solidificación de magma. Siendo el magma, minerales que se encuentran bajo la corteza terrestre en estado fluido, sometido a altas presiones y temperatura, en volúmenes considerables e inestables.

Estas se dividen según su solidificación en:

- Intrusivas
- Extrusivas

a) Las intrusivas o plutónicas

Son rocas formadas a profundidad, solidificándose muy lentamente, adquiriendo una textura granular bien cementada, que son expulsadas a la superficie por volcanes. Estas rocas forman generalmente el núcleo de las cordilleras continentales. Algunos tipos son: granito, diorita, gabro, piroxena, serpentina y pórfido entre las más importantes.

b) Las extrusivas, efusivas o volcánicas

Son las rocas que al ser expulsados violentamente por erupciones se vitrifican ya sea traslúcida y homogéneamente o en forma espumosa y bandeada, debido a la fluidez pastosa de la lava antes de solidificarse, se encuentran en la cima de los volcanes o cordilleras. Algunos tipos son: riolita, dacita, andesita, basalto, etc. La lava en su recorrido, arrasa todo a su paso y se contamina y al final aparta aire, viéndoseles oquedades.

Rocas sedimentarias

Los cambios bruscos de temperatura, la acción fisicoquímica del agua en todos sus estados, la atmósfera, las plantas, los animales, y el hombre, contribuyen en distintos grados a la degradación de las rocas primarias. La degradación es el conjunto de fenómenos, principalmente mecánicos que desgastan y dividen las rocas y la descomposición es la serie de procesos químicos que alteran la composición química y mineralógica de las mismas.

Sobre la superficie de la corteza terrestre se dice que; arriba del nivel de las aguas, existe un continuo proceso de degradación motivados por la actividad de los agentes del intemperismo; así también debajo del nivel de las aguas, el

proceso es de agradación donde los materiales se depositan formando capas, estas sensiblemente horizontales.

En las condiciones actuales de la corteza terrestre encontramos que estas capas han emergiendo de las aguas tomando formas caprichosas, debido a diastrófismos, cataclismos, volcanismos, sucedidos antes de la estabilización de nuestro planeta Tierra, emergiendo a alturas considerables sobre el nivel de las aguas.

El fenómeno más importante de los procesos geológicos es el acarreo o transporte de las partículas más pequeñas de roca interperizadas que son arrastradas del lugar de origen por el agua, el hielo o el viento. Si son depositadas en cualquier parte se denominan azolves, y sedimentos cuando el depósito de ellas es permanente en un mismo sitio. Estos sedimentos se van acumulando y se comprimen bajo su propio peso, produciendo la transformación parcial de los minerales y el endurecimiento de estos sedimentos en roca, con la presencia de cementantes. Ejemplos: conglomerado (Grava cementada) brecha, arenisca (De cuarzo, arcosa y grauvaca); lutita, margas (Ambas arcillosas), caliza (Orgánica, coralígena, etc.), travertino, dolomita, pedernal, diatomita (Algas prehistóricas), turba, carbón, halita, yeso, caliche (tres salinas).

El transporte hace que los fragmentos de roca pierdan sus aristas, pulan su textura y tiendan a arredondarse.

Rocas Metamórficas

Son originadas por cambios fisicoquímicos en la estructura de las rocas ígneas y sedimentarias, modificadas por acción de origen interno. El metamorfismo de estas rocas es producido de elevadas temperaturas y presiones de gran magnitud a que se hayan sometidas.

Estos cambios en la estructura y orientación de los cristales determinan el cambio de las características de las rocas, observándose principalmente en la textura de la misma, presentándose foliadas o no.

En las rocas foliadas, los minerales están alineados paralelamente unos con otros, de tal manera que la roca se divide fácilmente a lo largo de los cruceros casi paralelos. Existen tres tipos, los cuales son: Gnésis (Toscamente foliada); Esquitosa (Mica, anfíbola, feldespatos, granate y piroxena) y Apizarrada (De foliación muy fina de cristales ultramicroscópicos).

Las no foliadas están constituidas por minerales equidimensionales o de laminas orientados al azar, rompiéndose en forma angulosa. Sólo existen dos tipos: Granoblástica (Débilmente foliada con minerales identificados sin el uso del microscopio) y Felsítica córnea (No foliada, de granos minerales ultramicroscópicos, con fractura curva de ángulos muy agudos; cuarcita, mármol).

2.6.2 Clasificación por su extracción

Para dar idea de la dificultad de la extracción de un material, se clasifican en: A; B; C y D

Material A.- Es aquel que se puede extraer con herramienta manual (Pico y pala)

Material B.- Es el que para su extracción se requiere de artificios mecánicos o el uso de pequeñas cargas explosivas.

Material C.- Son los que, por su dificultad de extracción solo pueden ser excavados eficientemente mediante el empleo de explosivos o bien procedimientos que los sustituyan. Los materiales "C" se subdividirán a su vez, de acuerdo con dureza y abrasividad de los siguientes tipos:

Material C1.- Es el que presenta dureza y abrasividad igual o semejante a esquistos, caliche, tepetate duro, calizas suaves sin sílice, mármol suave, brechas no cementadas, areniscas suaves o moderadamente cementadas, rocas alteradas o conglomerados medianamente cementados.

Material C2.- Es el que presenta dureza y abrasividad igual o semejante a mármol sano, brechas cementadas, dolomítas, calizas duras sin sílice, choy, cuarzo, areniscas cuarzosas o medianamente cementadas, basalto alterado o muy fisurado, granito sano o algo fisurado, areniscas medianas, conglomerados bien cementados y riolitas sanas.

Material C3.- Es el que presenta dureza, abrasividad o dificultades de extracción iguales o semejantes a areniscas silicosas o fuertemente cementadas, andesitas sanas, dioritas sanas, basalto sano, morenas, caliza con abundante sílice, cuarcita y roca mineralizada.

La variación de la subdivisión C1, C2 y C3 aunque subjetiva, está en función de:

- Presencia de sílice
- Dureza
- Cementación
- Sanidad de la roca

Material D.- Estos materiales especiales son los empacados de piedras sueltas con una dimensión mayor de setenta y cinco (75) centímetros, las rocas con grietas bien abiertas y las rocas cavernosas. Para las piedras mayores de 75 cm

de diámetro se requiere de equipos especiales. En las rocas agrietadas o cavernosas, se fuga la capacidad de los explosivos.

Se presenta esta clasificación en porcentajes estimativos de cada uno sin tomar en cuenta la clasificación D.

Ejemplo: un material (40-40-20)

Quiere decir:

Material A: 40%

Material B: 40%

Material C: 20%

100%

2.6.3 Dureza

La dureza de un material se suele determinar sobre el material puro y se mide por la facilidad con que puede rayarse o rayar a otro.

Para expresar esta dureza se ha adoptado universalmente una escala sencilla conocida con el nombre de "Escala de Mohs". Se usan como tipo de comparación los diez minerales que siguen ordenadamente por dureza creciente de 1 a 10:

1.- Talco	}	A
2.- Yeso		
3.- Calcita	}	B
4.- Fluorita		
5.- Apatita		
6.- Ortoclasa (Feldespato)	}	C
7.- Cuarzo	}	D
8.- Topacio		
9.- Corindón o Zafiro		
10.- Diamante		

Tabla 5. Comparación de dureza

O bien,

El grupo "A" es posible rayarlo con la uña, como por ejemplo el cartón.

El grupo "B" es posible rayarlo con naranja de acero, como por ejemplo el aluminio.

El grupo "C" es posible rayarlo con una lima, como por ejemplo el acero dulce.

El grupo "D" no se raya y el mas duro es el diamante, que sirve construcción para rayar y perforar rocas.

2.6.4 Abrasividad

Capacidad abrasiva es la propiedad que tiene un material de poder desgastar a otro.

La abrasividad del material se expresa por medio de los siguientes términos:

- Poco abrasivo
- Medio abrasivo
- Muy abrasivo

Las capacidades de dureza y abrasividad de un material debe de considerarse en la selección del equipo de explotación y de trituración de in determinado material o

bien para tomar adecuadas medidas de protección llegando a casos extremos de desechar la formación rocosa a explotar.

2.6.5 Cementación

La cementación, propiedad que presenta un material, grado de dificultad para separar los gránulos o fragmentos. Lo expresaremos con los términos siguientes:

- Nula
- Ligera
- Media
- Alta

Se deberá indicar, cuando sea posible, si el tipo de cementación es por carbonatos, por silicatos, por aluminatos o por óxidos de hierro.

Debemos considerar que ya una cementación alta, esta en el limite de lo que se podría considerar una roca sedimentaria.

Se deberá indicar, cuando sea posible, si el tipo de cementación es por carbonatos, por silicatos, por aluminatos o por óxidos de hierro.

Debemos considerar que ya una cementación alta, está en el límite de lo que se podría considerar una roca sedimentaria.

El grado de cementación se determinara después de que se ha dejado sumergida la muestra en agua cuando menos 24 horas.

2.6.6 Forma

Esta clasificación se indica en los siguientes términos:

- Acicular: Cuando tenga forma de agua.
- Laminar: Cuando tenga forma de lámina.
- Equidimensional: Cuando sus tres dimensiones tengan el mismo orden de magnitud. Comprende los siguientes casos:
 - Angulosos: Cuando el fragmento tenga vértices y aristas agudos.
 - Sub angulosos: Cuando estos vértices y aristas no sean agudos.
 - Sobre ondeados: Cuando prácticamente los vértices y las aristas no existan.
 - Redondeados: Cuando prácticamente tengan la forma esférica.

Podemos agregar que la forma que tienen las partículas de un suelo está relacionada con la composición mineralógica del material. Esta forma de las partículas influye en la formación de vacíos o espacios en la masa de un suelo.

2.7 Características geológicas

2.7.1 Color

El color que presentan los minerales observados en el bloque suele ayudar a clasificarlos. Los minerales muestran dos clases de color. El primero, color inherente al mineral, debido a la composición del mismo; El segundo, color accidental depende de las impurezas que presente el mineral. En general, existen algunos criterios relativos al color; por ejemplo, el color negro y otros de tonos oscuros suelen ser indicativos de la presencia de material orgánica coloidal. Los colores claros y brillantes son propios, más bien, de suelos inorgánicos.

Su importancia es para identificar una capa o porción de suelo y anticipar su calidad.

2.7.2 Olor

Los suelos orgánicos tienen por lo general un olor a descomposición, que es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire.

Los suelos sanos carecen de olor desagradable.

2.7.3 Raspadura

Es el color del mineral en polvo. Este polvo se puede obtener fácilmente triturando el mineral para reducirlo a polvo fino o rayado con él una superficie dura, ligeramente rugosa.

2.7.4 Crucero

El crucero de un mineral es su capacidad de romperse más fácilmente en unas direcciones que en otras debido a la disposición de sus moléculas.

2.7.5 Fractura

Se llaman fractura de un mineral al aspecto que presenta cuando se rompe.

2.7.6 Brillo o lustre

EL brillo o lustre es el aspecto del mineral a la luz ordinaria (El aspecto debido a la reflexión de la luz sobre la superficie). Ejemplo, un material por su apariencia podemos decir que su brillo es: metálico, vítreo, mateo o terroso, sedoso, graso, perlado,...., etc.

2.7.7 Estructura

Esta característica se refiere a la manera en que están colocados entre si los diferentes constituyentes de un depósito pétreo.

Los casos extremos que pueden presentarse, en un depósito que está constituido por fragmentos de roca y suelo fino, son los siguientes:

1. Un depósito en que todos los fragmentos son resistentes y están en contacto entre si, poseyendo varios puntos de apoyo, constituye una estructura simple.
2. El depósito se encuentra constituido predominantemente por suelo fino limoso o arcilloso y los fragmentos se encuentran aislados sin presentar ningún contacto entre ellos.

2.7.8 Compacidad

El término se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas de un suelo, dejando más o menos vacíos entre ellas.

2.7.9 Estratigrafía

Consideramos con esto la disposición de las capas o estratos de un terreno; al presentarse estos estratos deberán describirse indicando su espesor, el tipo de material que constituye cada estrato y su echada. Así también al no presentarse alguna estratigrafía deberá explicarse claramente.

2.8 La construcción pesada y el ingeniero civil

La construcción pesada se caracteriza por el manejo de materiales severos (Forma, tamaño, peso, asistas diedra y poliedras, texturas); Por manejar volúmenes considerables y por trabajar con equipo para construcción pesada. Equipos grandes, fuertes, robustos, que se trasladan en equipos de transporte especializado.

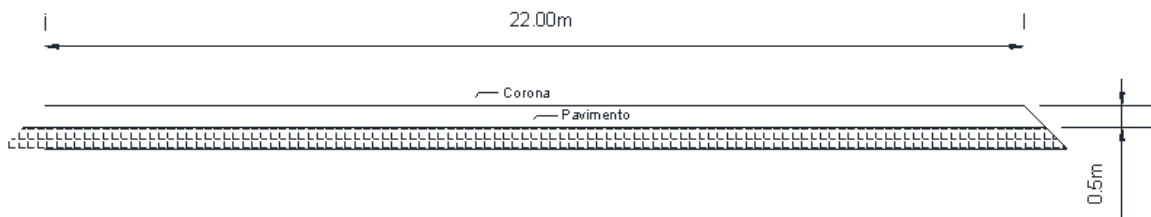
A los pavimentos los ubicamos en el rango de la construcción pesada.

- La explotación de la materia prima.
- El procesamiento para la obtención del agregado pétreo.
- Los volúmenes que se manejan.

EJEMPLO:

En una autopista reciente Córdoba-Veracruz

Datos geométricos aproximados.



Sección transversal

Figura 7. Ejemplo

$L=105 \text{ Km}$

$\text{Vol. Compacto} = 0.5\text{m} \times 22\text{m} \times 105,000\text{m} = 1'155,000 \text{ m}^3$

Tomando como base el estadio Luis "Pirata" Fuente en Veracruz.

Volumen supuesto del hueco que forma

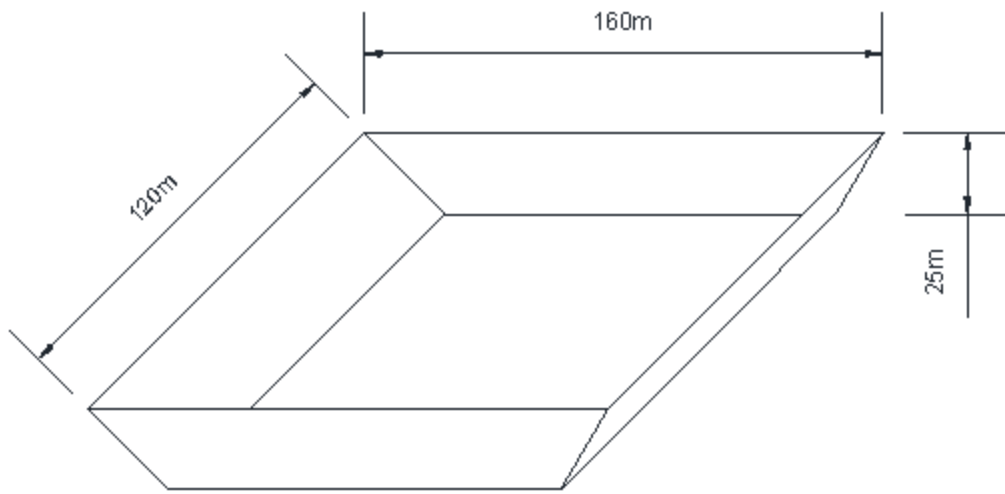


Figura 8. Volumen supuesto

$$V = \frac{120m + 160m}{2} \times 25m(120) = 420,000 \text{ m}^3$$

La mencionada autopista movió 1'155, 000 m³ compactados.

Equivalente a llenar el estadio 2.76 veces.

Aproximadamente 2 veces y medio para nuestro ejemplo. Esto es un volumen considerable.

Da idea del manejo de volúmenes y en lo que corresponde al importe del trabajo de convertirlo en capas, estimando un costo para el año del 2010 de \$450 por m³ de material, acarreo y procedimiento de construcción.

$$1'155,000 \text{ m}^3 \times \$450/\text{m}^3 = \$519'750,000$$

Se puede redondear a:

\$520 millones

Para el manejo de estos volúmenes y sus correspondientes importes; se requieren de la presencia del Ingeniero Civil previamente capacitado.

El título de Ingeniero Civil fue instituido por Jhon Smeaton en el año de 1750, para diferenciarlo de los Ingenieros Militares.

La pavimentación es un gran campo de actuación de la Ingeniería y el Ingeniero Civil.

CAPÍTULO III. Conservación de los pavimentos rígidos y flexibles

3.1 Diferentes Tipos De Fallas

Las vías terrestres se proyectan y se construyen para que estén en servicio por un determinado número de años (como mínimo), llamado horizonte de proyectos o vida útil de la obra. Al concluir este tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio; pero más adelante probablemente sean más serios y aceleren la falla de la vía; por esto, una obra requiere mantenimiento o conservación, para cuando menos asegurar su vida de proyecto y proporcionar un servicio adecuado.

El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio; cuando una obra comienza a funcionar recién construida, debe tener una

calificación de 4.0 a 4.5, la cual disminuye conforme pasa el tiempo. Como se muestra en la siguiente grafica.

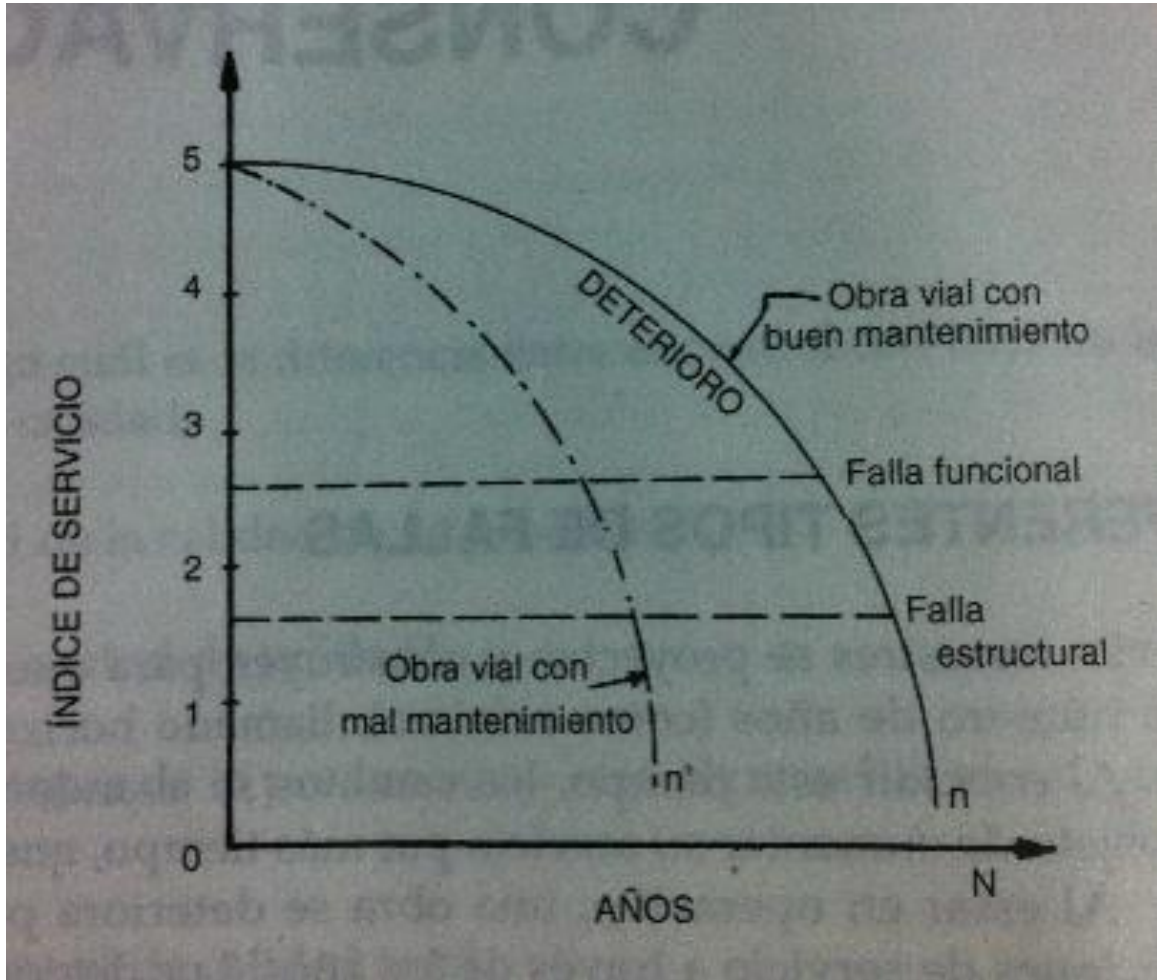


Figura 9. Índice de servicio

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un valor de 2.5, o de 2 uno de segundo orden, el tránsito tiene bastante problema y la “comodidad” del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional. Si el

camino sigue en servicio, logra la falla estructural y prácticamente ya no se puede realizar el tránsito. Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o a sus espesores, o a que no se pronostico el tránsito en forma adecuada, una obra vial puede llegar a la falla estructural al estar casi destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizá hubiese habido falla funcional, pues el deterioro hubiese sido rápido.

Para que una obra deteriorada con el tiempo no llegue a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios o de 2.5 para los de primer orden y especial, o un poco antes (quizá medio punto antes) de preferencia.

Cuando se registra la historia de un camino y se obtiene año con año los índices de servicio, se traza una curva como la mostrada en la figura 18-1, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegará a su falla estructural. Pero se pueden hacer diferentes rehabilitaciones, para aumentar su vida útil; claro, después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en que la estructura "este tan dañada que necesitaremos una reconstrucción. Lo anterior se muestra siguiente figura,

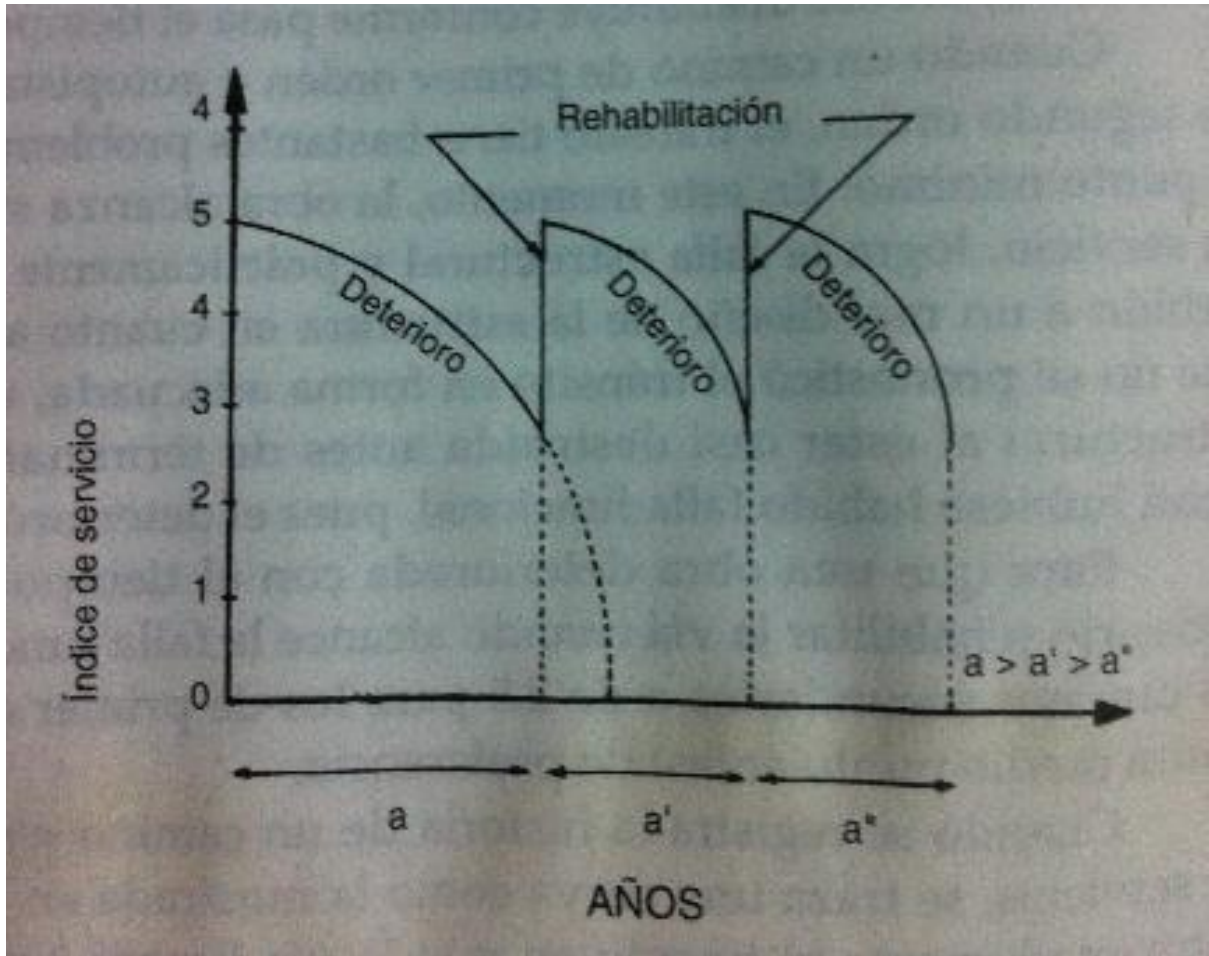


Figura 10. Índice de servicio

Donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en “n” años a su falla estructural; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil en “n” años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de cuatro o cinco rehabilitaciones, el daño causado es tal que lo mas conveniente es una

reconstrucción, pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se ve en la grafica.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toma en cuenta la cantidad de grietas que hay que hay en la superficie de rodamiento; en el numero de baches, cajetes o calaveras; y la magnitud de las deformaciones. Otro método es la medición, que se lleva a cabo principalmente con pruebas para calcular la deformabilidad de la estructura y se puede realizar por medio de la viga Benckelman o del Dynaflect. También se pueden realizar perfilómetros y rugómetros.

3.2 Descripción De Fallas En Pavimentos

A continuación, se describen diferentes tipos de fallas que se presentan en el pavimento y sus causas probables.

3.2.1 Pavimentos Flexibles

3.2.1.1 Roderas

Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos: si son menores a 1cm, se deben a una deformación de la carpeta asfáltica; pero si son

mayores, se deben a una insuficiencia en la base o a que no es de la calidad adecuada.

Ejemplo: En la calle de Dr. Rafael Cuervo en la salida norte de Veracruz hacia Cardel, se han presentado muchas fallas de este tipo, principalmente en la zona de semáforos debido a que en esta zona aplican los frenos los camiones que van y vienen de la zona portuaria, además de que una vez parados estos camiones pesados en los semáforos inician su aceleración y por lo tanto transmiten los esfuerzos máximos al pavimento, generalmente esta falla se debe a la deformación de la carpeta asfáltica debido al flujo del material, baja estabilidad y materiales pétreos sin la dureza y forma necesario.

Así como el porcentaje de vacíos mayor al especificado lo cual va a influir en el flujo de la mezcla. También influye si el porcentaje de asfalto es mayor al óptimo que acelere la falla. También la falta de espesor de la base y sub-base del pavimento y el tráfico pesado mayor al pavimento y el proyecto dan motivo por este tipo de falla.

Un ejemplo del por qué de estas fallas en los pavimentos de Veracruz y Boca del Río se debe al uso de materiales que no cumplen al 100% con las especificaciones, es sabido que anteriormente las carpetas asfálticas se hacían con 100% de material triturado de la zona de cause seco de Chichicaxtle cerca de Cardel, Veracruz. Posteriormente se empezó a aceptar una mezcla de 50% de

Chichicaxtel y 50% del banco sedimentario de Limones que esta sobre la carretera libre a Xalapa, actualmente 100% del material procedente del banco de Limones.

Y también se utiliza el desperdicio de la producción de material de $\frac{3}{4}$ o gravilla para concreto con algún porcentaje de material grueso que no cumple con la calidad deseada.



Imagen 1. Calle Dr. Rafael Cuervo

3.2.1.1.1 Prueba Marshall

Obtención del contenido óptimo de cemento asfáltico

Con la granulometría de proyecto, las especificaciones marcan tolerancias en las que pueden variar los retenidos en las diferentes mallas, las cuales se indican en el cuadro de la siguiente.

Tamaño del material pétreo		Tolerancia, porcentaje en peso del material pétreo
Malla que pasa	Retenido de la malla	
Correspondiente al tamaño máximo.	4.6 mm (núm. 4)	± 5
4.6 mm (núm. 4)	2.00 mm (núm. 40)	± 4
2.00 mm (núm. 40)	0.420 mm (núm. 40)	±3
0.420 mm (núm. 40)	0.074 mm (núm. 200)	±1
0.074 mm (núm. 200)	...	±1

Tabla 6. Contenido óptimo de cemento asfáltico

Como se observa, hay más tolerancia en los agregados gruesos que en los finos, pues cuando éstos cambian, la superficie por cubrir varía mucho más que cuando se modifican los primeros en la misma proporción.

En México está muy generalizado usar la prueba Marshall para encontrar el contenido óptimo de asfalto, para ello se preparan los especímenes con los siguientes contenidos de asfalto: uno con 0.5% menos que el contenido mínimo de cubrimiento total, otro con este contenido y cuatro con contenidos mayores que 0.5% cada uno, a partir del CMCT (véase lo correspondiente a mezclas en el lugar).

Los especímenes se elaboran en un molde metálico de 10 cm. De diámetro y con una cantidad de material que, una vez compacto, tenga una altura de $6.4 \text{ cm} \pm 0.32 \text{ cm}$. El material se compacta a una temperatura de 100° C , por medio de una placa que cubre toda la superficie del material y que recibe los impactos de un martillo de 4.5 kg (10 lb), el cual se deja caer desde una altura de 46 cm. El molde se golpea 75 veces por la parte superior y luego se voltea para darle otros 75 golpes por el otro lado; de cada espécimen se calcula el peso volumétrico, así como su relación de vacíos y del agregado mineral (VAM).

Después, los especímenes se llevarán a la ruptura a una temperatura de 60° C por medio de compresión lateral confinada en forma parcial. Para ello, se coloca el espécimen entre dos mordazas que lo cubren lateralmente pero se deja un

espacio y se le da carga hasta la ruptura. De cada espécimen se reporta la carga máxima denominada estabilidad y la deformación al momento de la ruptura; o sea el flujo, el cual se mide por medio de un extensómetro que se coloca sobre las mordazas.



Imagen 2. Prueba de estabilidad y flujo para encontrar el contenido óptimo de asfalto con la prueba de Marshall para concreto asfáltico.

Con los datos obtenidos se dibujan cuatro gráficas; el porcentaje de asfalto se coloca en las abscisas y el peso volumétrico, la relación de vacíos, la carga de ruptura o estabilidad y el flujo en mm, en las ordenadas.

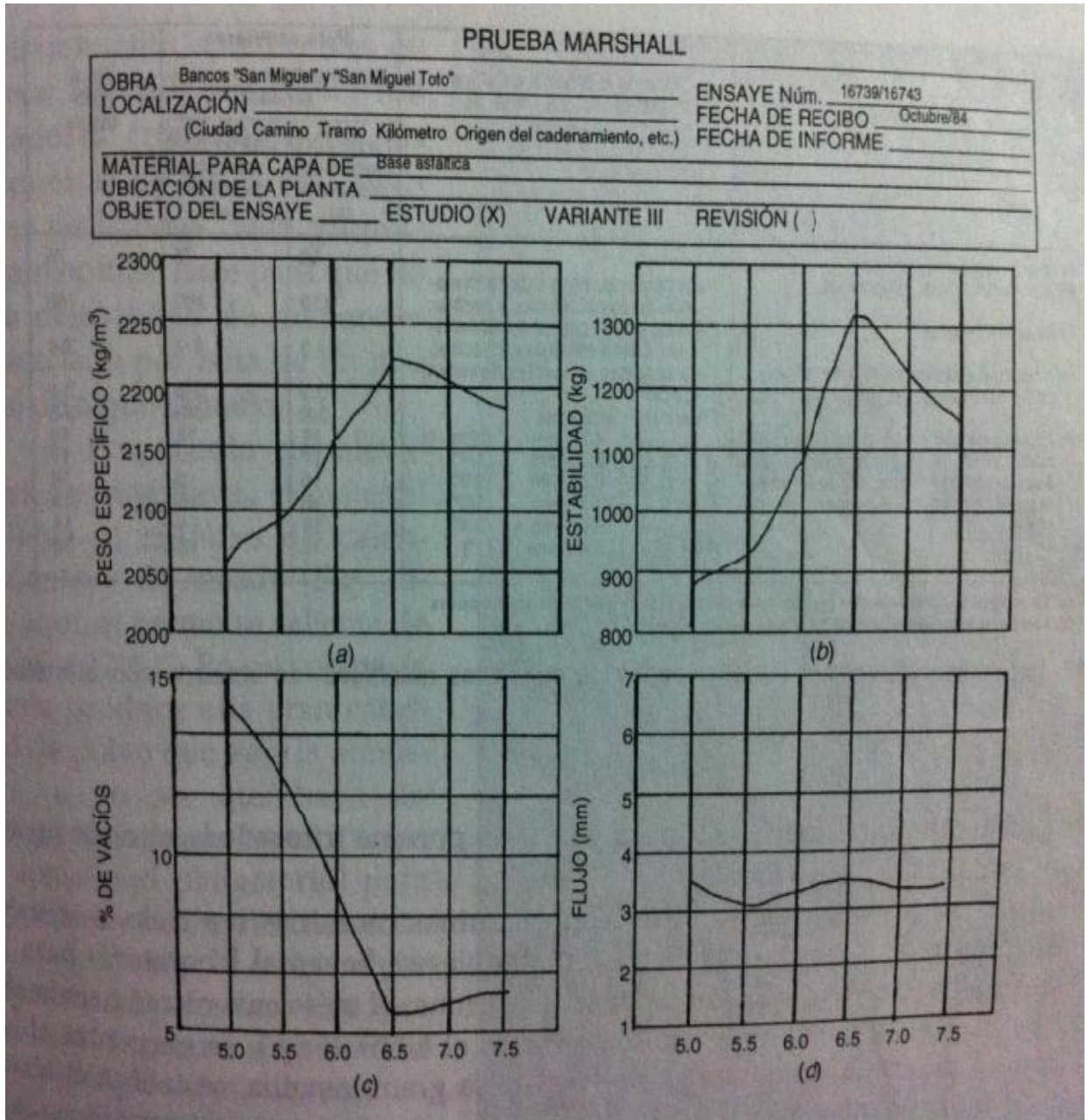


Figura 11. Graficas para calcular el contenido óptimo de asfalto, de acuerdo con la prueba Marshall para concreto asfáltico: (a) peso volumétrico; (b) estabilidad; (c) relación de vacíos; y (d) flujo. En las abscisas, hay contenidos de asfalto en porcentaje de peso de pétreos.

Con estas gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento asfáltico) de la manera siguiente:

- Se define el contenido para el peso volumétrico máximo.
- Se calcula el contenido para la estabilidad máxima.
- Se analiza el contenido para el flujo de 4.5 mm.
- Se busca el contenido para la relación de vacíos de 5.5%.

El contenido óptimo de asfalto es el promedio de los cuatro contenidos anteriores y por ello se localizan en las gráficas el peso volumétrico denominado de proyecto, la estabilidad, la relación de vacíos y el flujo correspondiente.

Estos valores deben satisfacer las normas mostradas

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico.	Para carreteras Tránsito diario en ambos sentidos.		Para aero-pistas
		Hasta 2000 vehículos pesados (a)	Más de 2000 vehículos pesados (a)	
Número de golpes por cara estabilidad mínima, kilogramos.	Para carpetas, capas de renivelación, base asfáltica y bacheo	50	75	75
Flujo en milímetros.	Para carpetas, capas de renivelación, base asfáltica y bacheo	450	700	700
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen (b).	Para carpetas, capas de renivelación, base asfáltica y bacheo	2-4.5	2-4	2-4

Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo (b).	Para bases asfálticas		3-5	3-5	3-5
	Para	4.76 mm	3-8	3-8	3-8
	carpetas,	(Núm. 4)	18	18	18
	capas de	6.35 mm (1/4")	17	17	17
	renivelación,	9.51 mm (3/8")	16	16	16
	base	12.7 mm (1/2")	15	15	15
	asfáltica y bacheo	19.0 mm (3/4") 25.4 mm (1")	14 13	14 13	14 13

Tabla 7. Valores para satisfacer normas.

Donde se dan las especificaciones para los caminos con alto tránsito y los de menor tránsito; pero para este caso se indica dar 50 golpes por lado en lugar de 75, en la preparación de los especímenes correspondientes.

3.2.1.1.2 Prueba de porcentaje de material triturado

Esta prueba es muy sencilla por ejemplo, para materiales para carpeta asfáltica, se obtiene la curva granulométrica de material al natural (Sin ningún tratamiento), se toma el porcentaje en peso del material mayor a $\frac{3}{4}$; como el material para carpeta asfáltica debe ser menor a $\frac{3}{4}$, no hay ningún porcentaje mayor a $\frac{3}{4}$. El porcentaje que vimos primero de material al natural es mayor al 35% y el material después de procesado va a pasar al 100% la malla $\frac{3}{4}$, esta diferencia va a ser mayor de 35% y por lo tanto el material de carpeta tiene el 35% o mas de material triturado, por lo cual cumple con la norma mínima de 35% de material triturado.

3.2.1.2 Superficie de rodamiento lisa

Este defecto se debe a un exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego del sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando así su alisamiento pero aun de esta manera se puede tener una capa de asfalto de 1 o 2 mm en forma de nata; esto es muy peligroso, pues los vehículos derrapan con facilidad.

Los vehículos también derrapan por la presencia de una capa de polvo sobre la superficie de rodamiento, la cual se forma a menudo en las zonas donde los caminos de terracería o mal revestidos entroncan con la carretera; sin embargo, pueden haber longitudes grandes de caminos con este defecto cuando las carpetas sin sello, o los sellos, se elaboren con pétreos suaves como las calizas, que se desgastan con el tránsito y dejan el polvo en la superficie de rodamiento. En ambos casos, en tiempo de lluvias (sobre todo ligeras) se produce una pequeña capa de lodo sumamente peligrosa.

Cuando los riegos de sello se dan en forma inadecuada por exceso de asfalto, escasez de pétreos o mala adherencia de estos con el asfalto, se alisa la superficie de rodamiento, lo que debe evitarse por su alta peligrosidad.

Actualmente en el Municipio de Veracruz se están sellando las calles reparadas con carpeta asfáltica la cual no es conveniente utilizarla en las zonas urbanas debido a que por su misma naturaleza (material pétreo) absorbe humedad y la retiene hasta su evaporación por motivos como el tráfico mismo, el aire y el sol. Pero antes de que esto suceda esta en contacto con la carpeta y el peor enemigo de ella es la humedad, que lava los aceites del asfalto produciendo una oxidación del mismo y desintegración de la carpeta asfáltica además de la introducción de agua por cualquier pequeña grieta que se haya formado por cualquier razón en la

carpeta y en combinación con el tráfico comienza a fomentar fallas en el pavimento.

Una causa muy común de fallas del pavimento son debidos al relleno inadecuado que se hace de las zanjas del drenaje sanitario, drenaje pluvial, agua potable, teléfonos, CFE, cable y los pozos de visita no debidamente repellados que provocan hundimiento y fallas en el pavimento, así como las tapas de registros de CFE y agua potable, las cuales son en menor grado debido a que se construyen con concreto hidráulico.

Una solución y alargamiento de la vida de los pavimentos flexibles es en lugar de usar riego de sello, utilizar morteros asfálticos, que son pequeños (delgados) carpetitas flexibles de arena y emulsión asfáltica la cual da una muy buena impermeabilización del pavimento. Este método se utilizó durante un periodo de gobierno en el Municipio de Veracruz, dando buen resultado. Este método de mortero asfáltico no es aplicable a caminos de mucho tráfico y pesado.



Imagen 3. Sellado

1.2.1.3 Pequeñas deformaciones transversales rítmicas

Esta falla, que es muy molesta al tránsito, se presenta cuando la base no está bien cementada o cuando se construyó en definitiva con materiales inertes. Se debe a las deformaciones de esta capa, producidas por la vibración y los esfuerzos tangenciales que provocan los vehículos y que se reflejan hacia la superficie de rodamiento; en caso de que ésta sea de concreto asfáltico, se agrieta en forma rápida.

1.2.1.3.1 Prueba de valor cementante

En México es muy común que las carpetas asfálticas que se colocan en caminos rurales y urbanos tengan espesores menores de 10 cm (Muy a menudo este espesor puede ser tan delgado como 2 o 3 cm en carpetas de un riego), lo cual no es suficiente para dar un confinamiento adecuado a materiales inertes de base y sub-base, para que resistan los esfuerzos sin deformarse, principalmente los esfuerzos tangenciales producidos por el tránsito.

Por tanto, es importante que estos materiales tengan un cierto aglutinamiento y así proporcionar una sustentación adecuada a estas carpetas delgadas. Cuando el tránsito es de 3000 vehículos diarios o la superficie de rodamiento es un concreto asfáltico, se debe rigidizar la base por medio de cal o cemento Portland. Cuando el tránsito es menor de 3000 vehículos diarios y la carpeta se construye con rebajados asfálticos o emulsiones, este aglutinamiento puede producirse incorporando al material interno otro material natural de baja plasticidad como limos, materiales calichosos y silicosos o arenas arcillosas cuyos límites plásticos sean menores de 18% o que tengan contracciones lineales menores que 6.5%, en cantidades tales que a la vez que se tenga suficiente aglutinamiento, también se

cumpla con los requisitos de resistencia y plasticidad para materiales de base o sub-base.

Para saber si un material tiene suficiente aglutinamiento, se ejecuta la prueba de valor cementante con la porción de material que pasa por la malla núm. 4, de la siguiente manera:

En un molde cúbico de lámina de 7.5 cm por lado se colocan tres capas de material con la cantidad de agua necesaria para que al apretarse una porción de material cerrando el puño de la mano, ésta se humedezca ligeramente. A cada capa, por medio de una placa con un vástago, se le dan 15 golpes con una varilla de 50 cm mediante una guía.



Imagen 4. Prueba valor cementante

Los especímenes se introducen con todo y el molde en un horno, en donde se introducen hasta obtener un peso constante; después se secan del horno y cuando adquieren la temperatura ambiente, se descimbran y se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar.

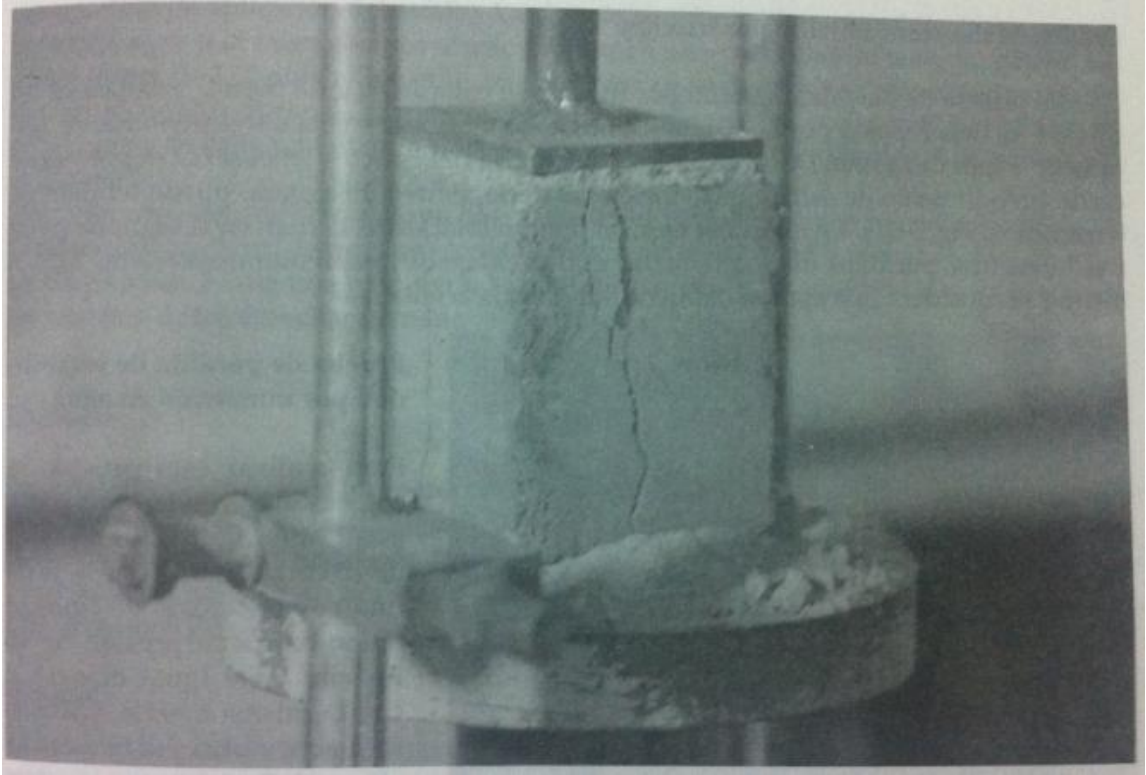


Imagen 5. Prueba valor cementante

El valor cementante se calcula al dividir la carga de ruptura entre el área y se reporta la resistencia promedio en kg/cm^2 , cuando menos de tres especímenes.

3.2.1.3 Desintegración de la carpeta

Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación de asfalto, o en carpetas relativamente recientes con escaso contenido de asfalto; se da también en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable.

En carpetas que no tienen un valor óptimo de sellado el agua disuelve los aceites del asfalto y por lo tanto se oxida dando por resultado por los efectos recibidos que se pulvericen, también puede ser por escaso contenido de asfalto (menor que el óptimo) por exceso de la temperatura durante la fabricación de la carpeta por lo cual se halla carbonizado el mismo o el material pétreo no es a fin al asfalto, por ejemplo: las gravas cuarzosas que generalmente no son un material deseable para la construcción de las mismas.

3.2.1.3.1 Prueba de adherencia de los materiales pétreos con el asfalto

Los materiales que estarán en contacto con el asfalto, como los que utilizan en la construcción de carreteras, deben tener buena adherencia, sobre todo si forman parte de carpetas asfálticas o bases negras.

Esta característica resulta muy afectada en forma negativa cuando hay agua; por ello, los materiales afines al líquido (hidrófilos) tienen en general mala adherencia con el asfalto, y las pruebas de este tipo se realizan en presencia de ese elemento. Las pruebas de adherencia más usuales en México son:

- a) Prueba de desprendimiento por fricción
- b) Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua
- c) Prueba inglesa

a) Prueba de desprendimiento por fricción

En esta prueba de desprendimiento por fricción se colocan 50g de mezclado asfáltico en un frasco y se deja reposar por 24 h, al término de las cuales se sujeta a tres periodos de agitado de 5 min cada uno. Después, se saca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de desprendimiento de asfalto que sufrió el material pétreo. El agitado puede ser manual o mecánico.

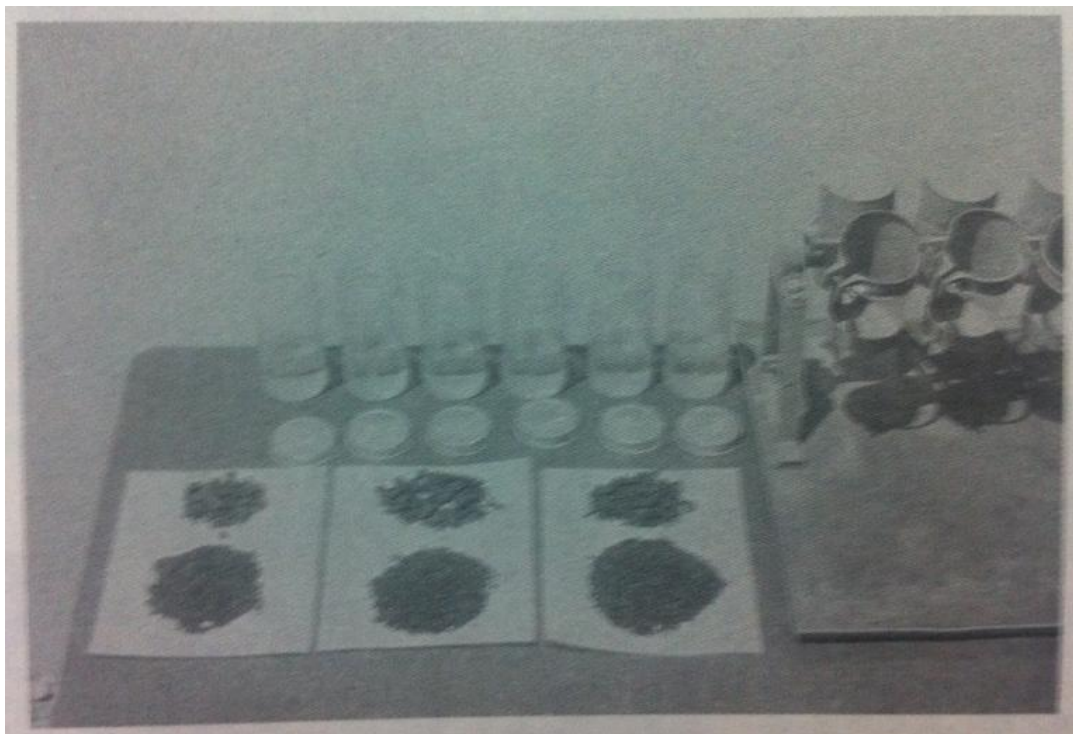


Imagen 6. Prueba de adherencia de los materiales pétreos con el asfalto

En el primer caso, el tiempo total es de 15 min; en el segundo es de tres horas (tres periodos de una hora). Si el porcentaje de desprendimiento es de 25% o menos, se considera que el material tiene adherencia aceptable.

b) Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua

Para realizar esta prueba, se coloca una porción de mezcla asfáltica en un molde metálico de 10 cm de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una compresión de 40 kg/cm². De igual manera y con la misma mezcla asfáltica, se elabora otro espécimen; la altura de los dos especímenes es de 12 cm ± 0.5 cm. Uno de ellos se deja reposar en la mesa de laboratorio y el otro se sumerge en agua durante tres días. Al cabo de este tiempo, ambos se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar y la pérdida de estabilidad se calcula de la siguiente manera.

$$P_e = \frac{R_{ss} - R_{sat}}{R_{ss}} 100$$

Donde:

P_e = Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, en porcentaje.

R_{ss} = Resistencia del espécimen sin saturar, en kg/cm².

R_{sat} = Resistencia del espécimen saturado, en kg/cm².

Se considera que un material tiene adherencia aceptable si el valor calculado es menor que 25%.

c) Prueba inglesa

Para realizar esta prueba, el producto asfáltico se esparce en el fondo de una charola, hasta tener una película de 1.5 mm, la cual se cubre con un tinte de agua de 2.5 cm a la temperatura de aplicación del asfalto. La charola se coloca sobre un recipiente mayor que contenga agua a la misma temperatura y se toman seis partículas de material pétreo con dimensiones de ½ pulg a ¾ pulg, se sumergen en la charola y se mantienen presionadas en el asfalto durante 10 min; en seguida se sacan y se observa el porcentaje de cubrimiento de cada una para reportarlo. Si este valor es mayor que el 90%, la adherencia es aceptable.

En caso de que se concluya que el material pétreo no tiene buena adherencia, se pueden usar aditivos; de éstos se escoge el de mayor efectividad y menor costo para repetir las pruebas. Existe una gran variedad de estos aditivos, al grado de que en la actualidad es muy difícil desechar un material por mala adherencia.

3.2.1.4 Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta

Este problema se presenta en las terracerías, ya que sea por contracciones que ocurran en ellas o por estar construidas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía, en cuyo caso no hay suficiente confinamiento lateral. De igual manera, estas grietas aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado a la parte antigua; con el tiempo, a veces corto, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan al centro.

3.2.1.5 Presencia de calaveras

Las calaveras son huecos que se forman en la superficie de rodamiento e incluso llegan a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor que 15 cm. Se deben a una calidad insuficiente en la base, a carpetas con contenido de asfalto menor que el óptimo o por colocar una carpeta sobre otra agrietada y calaverada, que se refleja en la nueva.

3.2.1.6 Baches

Se deben a la desintegración de la carpeta y de la base por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren

también por la presencia de grietas y calaveras que no se trataron en forma adecuada y oportuna.



Imagen 7. Baches

3.2.1.7 Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo

Se debe a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote; en caso de que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla resulta

de que la base no se rigidizo bien. Asimismo, aparece en carpetas con asfalto oxidado.

Esta falla se localiza sobre tramos que tienen una subrasante, base o sub-base con material de baja calidad que al paso de los vehículos pesados y la repetición de los mismos producen un efecto de malvavisco llamado rebote, esta repetición produce este tipo de falla.



Imagen 8. Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo

3.2.1.7.1 Mortero asfáltico o Slurry Seal

Razones porque utilizar el Slurry Seal

- Una superficie tersa para el tráfico
- Resistente al agua
- Corrección menor al perfil / bombeo
- Calafateo
- Incrementa la fricción
- Reduce el ruido
- Protege a la base hidráulica
- En donde el peso es importante

La versatilidad del Slurry Seal reduce el deterioro de los caminos y el costo de mantenimiento de los caminos de un 50% a un 60% abajo dentro de un periodo de 10 años.

Un vistazo al procedimiento y mezcla del Slurry Seal nos enumera las ventajas. El Slurry Seal como mezcla líquida homogénea de agua, emulsión asfáltica, filler mineral y un agregado bien graduado, que bien aplicado, corrige las demandas del pavimento.

A diferencia de otros métodos de sello de los pavimentos, el Slurry Seal no contiene piedras que producen el rayado y problemas en el drenaje. No existe grava sobrante.

El Slurry Seal permite que rápidamente se extienda y no existiendo asfalto en demasía en guarniciones. Tiene estabilidad, muy baja permeabilidad, un alto resistencia a la fricción e hidropneumático.



Imagen 9. Slurry Seal

Por su espesor y la temperatura ambiente al ser tendido, la energía empleada es baja. Como resultado es económico. Podemos añadir elementos especiales para dar la textura y color deseado. La alta calidad de asfaltos, triturados y emulsión asfáltica son empleados para satisfacer la demanda que el pavimento exige El Slurry Seal puede ser empleado

en una gran variedad de superficies. Caminos urbanos, carreteras, hombros de las carreteras, estacionamientos aeropuertos, canchas deportivas, áreas de recreo y puentes. Muchas aplicaciones han sido catalogadas demostrando un uso de 8 años y aún más. Cuando es empleado en pavimentos jóvenes, el Slurry Seal previene de la deterioración por causa del mal clima. Oxidación, pérdida de aceite y el sangrado del asfalto se reducen a ser mínimo y la duración es incrementada y la textura es renovada. En pavimentos mas viejos el Slurry Seal previene el calavereo, disgregamiento y aumento en la permeabilidad del pavimento aunado con la fricción por el asfalto exprimido o el pulido de los agregados. Para ambos tipos de pavimento se tipo uniformiza el color, textura y sello son provistos en una simple aplicación. La cual estará lista para utilizarse horas después. Generalmente no es necesario ni el riego de liga con FR-3, ni el compactado neumático.



Imagen 10. Slurry Seal

El mortero asfáltico o Slurry seal es una mezcla bien graduada de agregado y Cementante asfáltico con filler y aditivos para hacer una mezcla de material en frío que endurece en un corto periodo de tiempo para hacer una superficie resistente al uso.

Características:

- Mezcla en frío
- Colocado in Situ
- Pronta apertura al Trafico

- Alta fricción
- Bajo en ruido
- Durable

Procedimientos:

1.- Trazo y programación:

Se debe proponer en base al levantamiento de cada calle un calendario del avance de obra diario, semanal y mensual para dar aviso a los colonos. Así mismo en este calendario deberá acotar y cuantificar la zona de bacheo o revelación.

2.- Barrido:

Esta actividad podrá realizarse en forma manual y /o mecánica, incluyendo el acarreo local, carga y acarreo al lugar de tiro autorizado para el tiro del producto del barrido. De igual manera deberá remover todo tipo de manchas y acumulación de grasas, aceites o pintura que impidan la buena adherencia del mortero asfáltico.

3.- Calafateo:

El calafateo de grietas deberá ejecutarse en las zonas previamente acotadas, en donde previamente se deberá limpiar por medio de aire a presión el polvo, arena y material orgánico que exista en el interior de las juntas y grietas, mismo que deberá ser barrido y retirado de la zona de trabajo. El material para

dicho deberá ser el apropiado para cada tipo de grieta (menor o mayor a 7 mm) aplicado por los medios mecánicos y a la temperatura especificada. El precio deberá incluir el calafateo de desconchamientos. En todo momento se deberá respetar el no manchar las aceras y banquetas.

4.- Bacheo y renivelación:

En las zonas afectadas se procederá al cuadro, cajeo, retiro del material, compactación del fondo, riego de liga, aplicación de material asfáltico para el bacheo, tendido, compactado y limpieza

5.- Aplicación de mortero asfáltico:

El tendido del mortero deberá realizarse mediante equipo Scan Road o similar, cumpliendo con los requisitos de material pétreo, material asfáltico estipulados por la S.C.T. 3.01.03.083. Observando la granulometría de cada tipo de mortero. Se deberá incluir la compactación neumática de la superficie, así como el barrido del material producto del desprendimiento. El precio del mortero deberá incluir cemento. Dentro del precio se considera la revelación o la reparación del daño a la superficie por causas extrañas sin el incremento del mismo.

6.- Limpieza general de obra:

Se deberá retirar todo el excedente asfáltico así como el producto del bacheo dejando la superficie lista para aplicar pintura.

3.2.1.7.2 Emulsión Asfáltica

Una emulsión es una mezcla de agua jabonosa, asfalto y emulsificantes que mantienen en suspensión glóbulos muy pequeños de asfalto y que tienen una carga eléctrica.

Hay emulsiones cationicas y anionicas, siendo las primeras las más utilizables por su carga eléctrica positiva y las anionicas se utilizan con materiales calizos.

De acuerdo al tipo de uso hay varios tipos de emulsiones:

- Emulsión de rompimiento rápido cationica; que se utilizan en riego de liga o sello.
- Emulsión de rompimiento medio o lento; que se utilizan en mezclas asfálticas.
- Emulsiones súper estables; que se utilizan e mezclas asfálticas con materiales finos (Arenes) con no muy buena granulometría y algo de material orgánico.
- Emulsiones para riego de impregnación; en virtud de que en México ya no se fabrica asfalto FM1 (Fraguado medio No. 1); Se utiliza este tipo de producto, pero en la realidad y en la practica realmente no sirve. Debido a que el asfalto FM1 penetraba en la carpeta de la sub-base o base, sobre la cual se regaba formando una carpeta al penetrar por los poros del material

hasta 1.5 cm, al riego se le daba un poreo de arena fina con lo cual se formaba una pequeña carpeta que permitía transitar libremente sobre ella, si no se hacían curvas forzadas sobre el mismo. La emulsión de impregnación se pega a las llantas de los vehículos imaginaria y se desprende rompiendo la uniformidad de la capa de asfalto sobre ella y permitiendo el paso del agua y disgregando de la superficie, quedando una superficie muy irregular para la siguiente capa de pavimento que sería una base negra si la hubiera o la carpeta directamente.

Emulsiones para Slurry seal

Estas emulsiones son para hacer una lechada con arena de diferentes gruesos para poder formar una carpeta delgada de 0.4 cm hasta 1.5 cm de espesor, de acuerdo al proyecto, tipo de vehículos y repeticiones de cargas de los mismos.

Características	Grado				
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio	Rompimiento lento	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
Pruebas al material asfáltico					
Viscosidad Saybolt - Furol a 50°C, segundos.	20-100	10 min	20-100	20-100	
Viscosidad Saybolt – Furol a 25°C, segundos.		75-400			
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo.	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.	3	3	3	3	3
Demulsibilidad 35 ml de 0.02 NCaCl ₂ , por cierto, mínimo. 50 ml de 0.10 NCaCl ₂ , por cierto, máximo.	60	50	30		
Retenido en la malla núm. 30, por ciento, máximo. Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.	0.10	0.10	0.10	0.10 2.0	0.10 2.0
Pruebas al residuo de la destilación					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos grados.	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo 40	40	40	40	40	

Nota: La viscosidad de la emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C). Aplica en ambas tablas.

Tabla 8. Emulsiones asfálticas aniónicas.

Características	Grados					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
Pruebas al material asfáltico						
Viscosidad Saybolt - Furol a 50°C, segundos.					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt – Furol a 25°C, segundos.	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo.	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla núm. 20, por ciento, máximo.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones del trabajo). Prueba de resistencia al agua: Agregado seco, por ciento de recubrimiento, mínimo. Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo.			80	80		
			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
pH, máximo.					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máxima.	3	3	20	12		
Pruebas al residuo de la destilación.						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos grados.	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo 40	40	40	40	40	40	

Tabla 9. Emulsiones asfálticas catiónicas.

Denominación del material pétreo.	Por ciento que pasa por la malla										
	50.8 mm (2")	38.1 mm (1½")	32.0 mm (1¼")	25.4 mm (1")	19.0 mm (¾")	12.7 mm (½")	9.51 mm (⅜")	6.35 mm (¼")	4.76 mm (núm. 4)	2.38 mm (núm. 8)	0.420 mm (núm. 40)
1			100	95 min.		5 máx.		0			
2				100		95 mín.		5 máx.		0	
3-A						100	95 mín			5 máx.	0
3-B							100	95 mín.		5 máx.	0
3-E						100	95 mín		5 máx.	0	

Tabla 10. Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riego o para riego de sello.

3.2.1.8 Corrimiento de la carpeta asfáltica

Ocurre cuando la mezcla es de baja estabilidad, ya sea por exceso de asfalto o por usarse un asfalto blando en zonas de alta temperatura; se presenta también en el carril de subida en tramos de pendiente marcada y curvas, donde los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.

Cuando se hacen mezclas asfálticas de arena con emulsión hay que tener mucho cuidado en el tendido de la mezcla, pues si no se barre correctamente y se hace un riego de liga correcto se producen encarpetamientos los cuales terminan en corrimiento de la mezcla asfáltica.

3.2.1.9 Descarnado de la carpeta

Resultado de usar aditivos inadecuados en las mezclas y se presenta en la zona de grandes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en la zona de arranque y frenado, en avenidas o calles de ciudades. En carpetas con material cuarzoso es muy frecuente este descarnado debido al uso de aditivos inadecuado de las mezclas.

3.2.1.10 Deformaciones de la superficie de rodamiento del orden de 5 cm

Son ocasionadas por la mala calidad de la base o por la insuficiencia en el espesor del pavimento.

3.2.1.11 Deformaciones fuertes de la superficie de pavimento

Se deben a un espesor insuficiente o a la mala calidad de los materiales del pavimento y de las terracerías, a menudo con una notable falta de compactación

desde la construcción. Casi siempre hay una gran cantidad de agua por falta de cunetas, subdrenaje u otras obras para controlar el líquido. Cuando el tránsito aumenta en forma considerable, las obras diseñadas para un volumen determinado de tránsito y que no se rehabilitan en forma oportuna y adecuada, presentan también este problema.

3.2.2.12 Deformación de la corona junto a las cunetas

Las provoca un exceso de humedad en el terreno natural cuando no existen cunetas revestidas y a falta o al mal funcionamiento del subdrenaje.

3.2.2 Pavimentos Rígidos

3.2.2.1 Descascarado de las orillas

Se debe a la presencia de partículas duras introducidas en las juntas por calafateo insuficiente y que producen esfuerzos concentrados muy grandes. Cuando no se sella correctamente las juntas o el material de sellado se pierde es frecuente que entren piedras pequeñas de buena dureza las cuales producen falla por las contracciones y dilataciones que sufren todos los días las losas.

3.2.2.2 Grietas transversales

Las provocan las losas demasiado largas sin pasantes o sin armado continuo; pueden ser fallas estructurales incipientes. En el proyecto del espesor y medida de las losas de un pavimento rígido se determina su largo máximo.

3.2.2.3 Grietas longitudinales o transversales cercanas a las orillas o en las esquinas de la losa

Se deben a que la losa se construyó sobre material fino, lo que ocasionó el fenómeno de bombeo porque se carece de sub-base, a raíz de la mala compactación de las capas inferiores, incluida esta última. Cuando las losas no están bien selladas el paso de los vehículos pesados ocasiona el fenómeno de bombeo, pues al pasar un vehículo pesado la losa en las orillas se flexiona ocasionando una presión sobre la sub-base, debido al agua de lluvia, del lavado de las calles, banquetas, se forma un lodo que sale expulsado por la junta no sellada, la pérdida de este material va produciendo una cavidad debajo de la losa hasta que esta cavidad se hace mayor y la losa falla produciéndose las grietas.



Imagen 11. Grietas longitudinales

3.2.2.4 Falla estructural

Ocurre cuando concluye la vida útil del pavimento, si la falla se presenta después de 25 años de construido. O se debe al mal proyecto, si se trata de un pavimento reciente. Se presenta muy a menudo en calles o avenidas donde, sin haberlo tomado en cuenta en el proyecto, se permite el paso de numerosos vehículos

pesados. Se presenta en forma prematura en zonas con fuerte pendiente longitudinal y con sub-bases naturales, que se tubifiquen fácilmente con el agua que escurra bajo la losa.

3.2.2.5 Descarnado de la superficie de rodamiento

Se debe a que, durante la construcción, se proporcionó un fuerte vibrado al concreto fresco, lo cual propicio un ascenso de la lechada (mortero fluido) y formó una pequeña película que más tarde se agrietó y se desgastó con el tránsito, dejando a los agregados sin protección superficial; también se presenta cuando la resistencia de la arena es baja. Es aconsejable que no se utilice arena con modulo de finura bajo pues muchas veces es de baja resistencia y de degradación rápida.

3.3 Reparación de las vías terrestres

3.3.1 Pavimentos Flexibles

La construcción de las vías terrestres deben ser tal que soporten el tránsito con una conservación normal y las rehabilitaciones programadas, durante el tiempo considerado de vida útil; los tramos no deben deformarse en forma apreciable ni presentar grietas.

Si al principio de la operación de la obra aparecen baches muy aislados, debidos a pequeños problemas durante la construcción, deberían tratarse de manera adecuada, al abrir una caja hasta donde sea necesario y llenarla con materiales de buena calidad, compactándolos hasta el grado conveniente. La carpeta asfáltica que se proponga, debe ser del mismo tipo que la que se colocó en el resto del tramo.

Si la carpeta presentó agrietamiento por algún motivo, pero la superficie está firme, no se debe colocar otra capa asfáltica sobre ella, pues las grietas se reflejan en poco tiempo, En este caso, se levanta la carpeta y se desecha o incorpora la base, previa escarificación, para colocar la nueva carpeta y se después de compactarla e impregnarla. Un sistema que se esta utilizando mucho para sobre encarpetar un tramo con la superficie de rodamientos con grietas ligeras o medianas, es colocar un producto geotextil impregnado y construir sobre él la nueva carpeta; estas telas trabajan a la tensión, por lo que no se permiten que las grietas se reflejen hacia la superficie de rodamiento.

Se insiste otra vez en que, si la nueva carpeta es de concreto asfáltico, la base se debe rigidizar con cal o cemento Portland; si la superficie de rodamiento está en buenas condiciones, se colocan las sobrecarpetas necesarias.

Sin embargo, por diversos motivos, principalmente por escasez de fondos monetarios, la conservación que se da a estos pavimentos es bastante deficiente, de esa manera, al paso del tiempo dañan las vías en forma considerable y se

necesitan diferentes trabajos como mantenimiento normal preventivo, reconstrucciones aisladas, rehabilitación y reconstrucción.

3.3.2 Mantenimiento normal o preventivo

El mantenimiento normal se proporciona en los tramos que no presentan deformaciones ni agrietamientos fuertes; se lleva a cabo por medio de riegos de sello, los cuales en promedio deben durar tres años, si se utilizan materiales pétreos adecuados.

Si la superficie de rodamientos está lisa, sobre todo si existe una capa de asfalto considerable (2 o 3 mm), se debe raspar con moto conformadora y, si es posible, la superficie se calienta con anticipación por medio de sopletes acoplados a un camión especial.

Durante este tipo de conservación rutinario o normal, se encuentran todos los trabajos de bacheo y renivelaciones ligeras, que se requieren en un tramo que no ha contado con trabajos de mayor envergadura por algún motivo.

Otro trabajo que cae en este tipo de conservación es el señalamiento, sobre todo el de las rayas que se pintan en la superficie de rodamiento para marcar los carriles e indicar las zonas donde se permite el rebase de vehículos.

3.3.3 Reconstrucción aislada

Las reconstrucciones aisladas se realizan en los tramos dañados, pero que están relativamente distantes unas de otras; es decir, no hay una falla generalizada del camino. Estos tramos pueden tener longitudes de 50 a 300m y se pueden reconstruir mediante renivelaciones con mezcla asfáltica, sobreencarpetamientos, trabajos en las capas de terracerías u otras labores de las capas superiores. Los estudios y procedimientos de construcción son los mismos que se indican en el siguiente tipo de mantenimiento.

3.3.4 Rehabilitación o reconstrucción

Cuando en un tramo importante de 5, 10 o más km hay fallas generalizadas donde predominan graves deformaciones y agrietamientos, se requiere rehabilitar el camino, Para hacerlo, conviene realizar los siguientes trabajos:

1.- Calificar los tramos para conocer el índice de servicio en que se encuentran; para ello, es muy conveniente contar con la opinión de los usuarios. Con este índice de servicio, se clasifican los tramos y se requiere rehabilitarlos para tener calificaciones entre 3 y 2.5 (para autopistas y otros caminos), se ordena un estudio de los materiales localizados en la estructura de la obra. Se realizan sondeos a cielo abierto en todos los estratos, si es posible hasta terracerías, tomando muestras en forma estratificada; es decir, se toma una muestra de los materiales

que forman las capas y se obtienen previamente los datos necesarios para calcular la humedad y compactación de cada capa. Los espesores son datos inesperados.

Se indica si el asfalto de la carpeta está fresco o ya está oxidado. En el laboratorio se realizan las siguientes pruebas:

Carpeta: Contenido de agua, asfalto y granulometría del pétreo

Bases y sub-bases: humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría, límites de Atterberg, contracción lineal, valor cementante y Porter estándar (VRS y expansión).

Terracerías: (En la capa subrasante y 30 cm abajo, en forma separada) humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría simplificada, límites de Atterberg, Porter estándar (VSR y expansión) y Porter modificada (Padrón), con la combinación de pesos volumétricos secos (PVS) y las humedades que requiera el proyectista.

Los resultados de las pruebas anteriores se estudian a la perfección para restaurar la sección transversal de la obra. En general, se debe retirar la carpeta asfáltica que se puede incorporar al material de base al disgregarla de modo conveniente una vez escarificada, Esta capa se compacta y queda como sub-base, y sobre ella se coloca una base hidráulica, una base negra o una base rigidizada, según se requiera; a continuación, se coloca la nueva carpeta asfáltica. Los espesores de

las capas que no se rehabiliten, se tomarán con un factor de 0.66 en la nueva estructura.

Cuando el camino está en muy malas condiciones y el tránsito ha aumentado de un modo considerable, es conveniente reconstruir la vía, que a menudo requiere un retraso topográfico para corregir el proyecto geométrico y adecuarlo a las nuevas condiciones. En terrenos planos, el camino actual pasa a formar parte de la mediana o camellón central de un camino de cuatro a seis carriles o, si no, se rehabilita lo necesario para utilizarse como uno de los cuerpos con que contará la nueva vía y cuyo tránsito será de un solo sentido. Los estudios acerca del cuerpo antiguo se harán como se indicó antes o serán los que correspondan a un camino nuevo.

3.3.5 Actividades de conservación en pavimentos rígidos

Mantener pavimentos rígidos es bastante simple, si están bien proyectados; es decir, si se han relacionado en forma conveniente los elementos correspondientes como el tránsito y las resistencias del concreto y de la capa subrasante; de otra manera, lo más probable es que se presente la falla estructural y haya que desechar este pavimento.

Las actividades principales al mantener pavimentos rígidos son:

Limpieza de juntas. Debido a que los productos utilizados para sellar las juntas longitudinales y transversales se endurecen y se agrietan con el tiempo, es necesario limpiarlas cuando menos cada tres años y extraerlas tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentren; en seguida, la junta se vuelve a sellar con material fresco.

Cuando haya indicios de que se está presentando el fenómeno de bombeo o de plano, debido a una fractura de la losa que quedó sin apoyo al salir el material que la sustentaba, es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido para llenar los huecos. Si la losa está fracturada, es conveniente renivelar la zona antes de la inyección.

Es necesario calefatear los agrietamientos que se hayan presentado por el fenómeno anterior o de cualquier otro, para evitar la introducción de materias extrañas o de agua.

3.3.6 Carreteras antiguas en buen estado predominante

El estado de este camino puede ser el 3.

- a) Se elabora el esquema de seguimiento del año de entrada de la carretera al estado 3
- b) Se elabora el “proyecto” detallado de las obras de rehabilitación

- c) Se rehabilita el camino para quedar en el estado 1 y se actualizara el esquema de seguimiento
- d) Se analizara al año el esquema de seguimiento y se sigue con el ciclo

3.3.7 Carreteras Antiguas en mal estado predominante

El estado de esta obra es el 4

- a) Se encuentra con el formato de seguimiento y las oficinas regionales y nacionales lo programan para reconstrucción
- b) Se establece el programa detallado de las obras por ejecutarse
- c) Se realizan las obras quedando el camino en estado 1 y se actualiza el formato de seguimiento
- d) Se actualiza anualmente el esquema de seguimiento, hasta detectar el momento de rehabilitarlo y se sigue con el ciclo

3.4 Metodología administrativa para la planificar la conservación

Para programar de manera adecuada las actividades de conservación, con base en el esquema de seguimiento de los tramos que conforman la red nacional, se proponen los siguientes programas administrativos, cada uno durante los cuales durarán tres años y abarcará un cierto número de tramos; cada año se iniciará un ciclo para abarcar la totalidad de los tramos.

Donde:

N : Se refiere al año en que se realizara la obra.

N-1 : Un año antes de la realización de la obra.

N-2 : Dos años antes de la realización de la obra.

- 1- En enero del año N-2, se elaborará un anteproyecto de programa en las oficinas centrales, para realizarse en el año N, cuando se tomen en cuenta los tramos de rehabilitación y reconstrucción. La conservación normal no requiere programación previa.
- 2- A más tardar en abril del año N-2, las oficinas foráneas recibirán el anteproyecto de programa, realizarán los estudios necesarios de trazo y solicitarán a los laboratorios los estudios para la nueva estructuración de los pavimentos, con los cuales efectuarán un anteproyecto que enviarán a las oficinas centrales y regionales, a más tardar el primero de Diciembre del año N-2.
- 3- Durante el año N-1, las oficinas centrales elaborarán la programación definitiva y solicitarán a las autoridades hacendarias, los fondos necesarios para realizar las obras, con gastos actualizados al año N. Es preciso tomar en cuenta también la conservación normal.

- 4- Entre Noviembre y Diciembre del año N-1, las oficinas centrales enviarán los programas definitivos a las oficinas regionales de obra y canalizarán en cada región los fondos necesarios.
- 5- Durante el año N, se realizarán las obras programadas.

Tabla 11. Tabla para administrar la planeación

		Año N-2	Año N-1		Año N	
		Enero-marzo	Abril-diciembre	Enero-octubre	Nov.- dic.	Enero-dic.
Oficinas centrales nivel máximo				Afine del anteproyecto de obras que se ejecutaran en la red Nacional en el año N se solicita a la autoridad los fondos necesarios.		
Oficinas centrales encargadas de la planeación y ejecución de obras de conservación.	Formato de seguimiento	Anteproyectos de obra para el año N y comunicación de oficinas foránea.			Comunicación a oficinas foráneas del programa definitivo de obras y las asignaciones para el año N.	Superación .
Oficinas foráneas de conservación.			Estudio de proyecto geométrico y estructural de las obras del anteproyecto. Se comunica a oficinas centrales incluyendo ante presupuesto.	Afinamiento de estudios de trazo y estructuración para las obras del año N.		Realización de obras y supervisión .

CAPÍTULO IV. Conclusiones

En este capítulo se descubrirán las observaciones más significativas después de haber evaluado las fallas y de haber elegido alternativas de conservación.

La primera conclusión a la que se llegó, es que no sirve de nada dar un mantenimiento a un camino que ya tiene una falla estructural; ya que en esta condición el camino ya no sirve.

Estudio de tránsito hay que hacer para poder elegir el tipo de pavimento adecuado. Este estudio abarca el tipo de vehículo que pasa por un camino o calle, además se considera el peso de cada eje del tipo del vehículo.

Tipo de vehículo	Peso total (Ton)	Coeficiente de equivalencia	Peso de ejes de carga (Ton)				
			Tractor		Semi remolque	Remolque	
			Delantero	Trasero		Delantero	Trasero
Automóvil A2	2	0.003	1 (s)	1 (s)			
Autobús B2	15.02	2.0	5.5 (s)	10.0 (s)			
B3	20.0	1.8	5.5 (s)	14.5 (t)			
B4	27.0	2.3	9.0 (t)	18.0 (t)			
Camiones A2	5.5	0.06	1.6 (s)	3.8 (s)			
C2	15.5	1.8	5.5 (s)	10.0 (s)			
C3	23.5	2.2	5.5 (s)	18.0 (t)			
C4	28.0	2.5	5.5 (s)	22.5 (tr)			
T2-S1	25.5	4.0	5.5 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)		
T2-S2	32.5	4.2	5.5 (s)	10.0 (s)	18.0 (t)		
T3- S2	41.5	4.3	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)		
C2-R2	35.5	5.5	5.5 (s)	10.0 (s)		10.0 (s)	10.0 (s)
C3-R2	43.5	6.0	5.5 (s)	18.0 (t)		10.0 (s)	10.0 (s)
C3-R3	51.5	6.3	5.5 (s)	18.0 (t)		10.0 (s)	18.0 (t)
T2-S1-R2	45.5	6.1	5.5 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)
T3-S3	50.5	6.0	5.5 (s)	18.0 (t)	22.5 (tr)		
T2-R2-S2	53.5	6.4	5.5 (s)	10.0 (s)	18.0 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)
T3-S1-R2	53.5	6.6	5.5 (s)	18.0 (t)	10.0 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)
T3-S2-R2	61.5	8.4	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	10.0 (s)	10.0 (s)
T3-S2-R3	69.5	8.2	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	10.0 (s)	18.0 (t)
T3-S2-R4	77.5	8.0	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	18.0 (t)	18.0 (t)

(s) = eje sencillo; (t) = eje tándem; (tr) = eje triple.

Tabla 12. Peso de los diferentes tipos de vehículos automotores y los coeficientes de equivalencia a vehículos estándar de 8.2 ton.

Se tienen que hacer las pruebas de materiales necesarias para que los pavimentos funcionen de la mejor manera.

También hay que determinar el tipo de tránsito diario promedio anual, que es el promedio de los diferentes tipos de vehículos que pasan por el camino o calle.

Cargas máximas permitidas en México para los vehículos:

- 5.5 ton por eje y rueda sencilla
- 10.5 ton para eje sencillo y rueda doble
- 18.0 ton para eje tándem y rueda doble
- 27.0 ton para eje triple y rueda doble

Como se puede observar las cargas máximas reales de los vehículos son mayores a las permisibles dando como resultado una degradación y destrucción de los pavimentos más rápido que el tiempo proyectado.

La solución a este problema se puede ver fácilmente en los Estados Unidos, donde los vehículos tienen que pasar por unidades de pesaje y llevar cartillas de tiempo de manejo de los operadores para evitar accidentes. Las multas por transportar cargas mayores a 30 ton son muy costosas y generalmente se respeta la carga máxima y por lo tanto la vida de proyecto del camino o calle no se reduce.

También la periodicidad de mantenimiento se debe respetar y considerar en los proyectos financieros para tener unas buenas rutas de conducción.

Hay que tener en cuenta los cambios de costos de los pavimentos flexibles y rígidos; actualmente los aumentos en el petróleo han disparado el precio de los pavimentos flexibles y en cambio la reducción del precio de cemento y el costo de agregados han reducido el costo de los pavimentos rígidos casi hasta el costo de los pavimentos flexibles.

En algunos fraccionamientos de la ciudad de Veracruz, de los que no doy nombres por razones éticas, ha sucedido que los pavimentos flexibles por ser muy escasos en su espesor, malas condiciones de las zonas de construcción y muy pobre proyecto pluvial han dado con la falla de los mismos en muy poco tiempo.

En otros fraccionamientos se han utilizado pavimentos rígidos de varias características según el tipo de vehículos que lo transitan y su costo de construcción es muy similar al del pavimento flexible, sabiendo de ante mano que el pavimento rígido tiene mantenimiento menor, vida útil mas larga, mas presentación y el plus que él mismo por si solo le da al fraccionamiento.

Pavimento porosos: Es un pavimento sin finos y a través de este se filtra el agua hacia las capas inferiores, sirve muy bien en zonas arenosas como los fraccionamientos de Boca del Rio a Antón Lizardo; en zonas arcillosas su costo aumenta debido a la captación y conducción del agua y además si llega a haber filtraciones, drenan hacia la capa arcillosa la cual no es permeable y disminuye las propiedades mecánicas y provoca fallas en el pavimento, razón por la cual no se ha utilizado en alrededores de la Ciudad Industrial de Veracruz.

Otros pavimentos rígidos como los ofrecidos por las plantas de concreto de CEMEX son más costosos debido a que la capa de sub-base y base son cementadas lo cual aumenta el costo.

Para concluir los Municipios, Estados y Gobierno Federal, deberán tener programas aceptables de mantenimiento acordes a las realidades financieras.

BIBLIOGRAFÍA

Especificaciones de construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) Libros 4, 8 y 9

OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando. Estructuras de vías terrestres.
Segunda edición. Compañía editorial continental s.a de c.v