



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GUIA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO DE PAVIMENTOS Y
MANTENIMIENTO DE CARRETERAS.**

Walter Raúl Barrios Bolaños

Asesorado por el Msc. Ing. Edwin Raúl Barrios Ambrosy

Guatemala, junio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUIA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO DE PAVIMENTOS Y
MANTENIMIENTO DE CARRETERAS.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WALTER RAÚL BARRIOS BOLAÑOS

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Francisco Estuardo Ruiz Cruz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUIA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO DE PAVIMENTOS Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS,

tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de ingeniería civil, el 31 de marzo de 2005.

Walter Raúl Barrios Bolaños

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios,** por sobre todas las cosas.
- Maria,** madre celestial y recurso ordinario.
- Mis padres,** Edwin e Imelda, por ser mi primera y más importante escuela, por su amor, apoyo moral y económico, por ser ejemplo de vida y ejemplo de profesionales y simplemente por existir.
- Mis hermanos,** por ser parte importante de este logro y de mi vida.
- Maria Inés Fuentes,** por todo este tiempo de amor y apoyo incondicional.
- Mi familia,** por su motivación a lo largo de todo lo que me propongo y por su apoyo incondicional.
- Mis amigos,** todos aquellos que de alguna u otra forma son o fueron parte de mi vida, porque siempre tienen un lugar especial en mi corazón.
- Universidad de San Carlos de Guatemala,** por la educación brindada.

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres,

Edwin Raúl Barrios Ambrosy
Imelda del Rosario Bolaños Quevedo
Por un sueño hecho realidad.

Mis hermanos,

Edwin Ricardo, Pablo Andrés y Raúl José, por que este logro les sirva de inspiración y que tomen para ustedes mis buenos ejemplos y desechen los malos.

Mi novia,

María Inés, por ser la elegida y porque este es un logro compartido y para nuestro futuro.

Mis abuelos,

Virgilio, Leonor, Otilia y Ricardo †.

Mis tíos, primos, y a toda mi familia con mucho cariño y respeto.

A todas las personas, amigos y amigas que colaboraron de una u otra forma, para que este sueño fuera toda una realidad, enumerarlos me seria imposible, mil gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. PAVIMENTOS	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Términos técnicos en carreteras	3
1.3 Términos técnicos en alcantarillas	5
1.4 Términos técnicos en puentes	6
2. PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES	9
2.1 Pavimentos rígidos	9
2.2 Pavimentos flexibles	10
3. MATERIALES	11
3.1 El suelo	11
3.1.1 Tamaño de las partículas	11
3.1.2 Contenido de Humedad	12
3.1.3 Permeabilidad	12
3.1.4 Capilaridad	12
3.1.5 Límites de Consistencia	12
3.1.6 Densidad Máxima	13
3.1.7 Conformación	13
3.2 Agregados minerales	13

3.3	Productos bituminosos y cemento Pórtland	15
3.3.1	Productos Bituminosos	15
3.3.2	Cemento Pórtland	18
3.4	Asfalto / azufre	22
3.4.1	Betún asfáltico	23
3.4.2	Asfalto fluidificado (<i>Cutback</i>)	23
3.4.3	Emulsiones asfálticas	24
3.5	Asfaltos reciclados	26
3.6	Asfaltos polimerizados	28
4.	PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO	31
4.1	Sub-rasante	31
4.2	Sub base	34
4.3	Bases	35
4.3.1	Base de piedra triturada granulada	37
4.3.2	Bases tratadas con material bituminoso	38
4.3.3	Bases de arena y betún	39
4.3.4	Bases de suelo – cemento	40
4.4	Riego de imprimación	41
4.5	Riegos de liga	41
4.6	Tratamientos superficiales asfálticos	42
5.	MEZCLAS	45
5.1	Materiales utilizados	46
5.1.1	Cemento	46
5.1.2	Agua para mezcla	46
5.1.3	Árido grueso	47
5.1.4	Árido fino	48
5.1.5	Aditivos	48

5.2	Procedimiento de mezclado	49
6.	PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO	51
6.1	Materiales utilizados	51
6.2	Procedimiento de mezclado	55
6.3	Aplicación	56
6.4	Curado	57
7.	DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS	61
7.1	Método de diseño de pavimentos flexibles	61
7.2	Método de diseño de pavimentos rígidos	68
8.	MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS	73
8.1	Fallas en pavimentos de concreto hidráulico	74
8.1.1	Fallas de regularidad y superficie	74
8.1.1.1	Asentamientos	74
8.1.1.2	Baches	75
8.1.1.3	Bombeo	76
8.1.1.4	Escalonamiento de las losas	77
8.1.1.5	Fisuras ligeras, de aparición temprana	78
8.1.1.6	Superficie pulimentada	79
8.1.2	Deficiencias o fallas en juntas	80
8.1.2.1	Desplazamiento	80
8.1.2.2	Pérdida del material de sello	81
8.1.2.3	Pérdida de adherencia concreto/sello	82
8.1.2.4	Falta de cohesión en el material de sello	83
8.1.2.5	Extrusión del material de sello	84
8.1.2.6	Sello contaminado con material extraño	85
8.1.3	Grietas y agrietamientos	86

8.1.3.1	Grietas Longitudinales	86
8.1.3.2	Grietas Transversales	87
8.1.3.3	Grietas Diagonales	88
8.1.3.4	Grietas en Esquina:	89
8.1.3.5	Grietas de Borde	90
8.1.3.6	Grietas en los extremos de los pasadores	90
8.1.3.7	Grietas Sinuosas	91
8.1.3.8	Grietas Tipo Piel de Cocodrilo	92
8.2	Fallas en Pavimentos de Concreto Asfáltico	93
8.2.1	Desintegraciones	93
8.2.1.1	Peladuras	93
8.2.1.2	Exudación de asfalto	94
8.2.1.3	Baches descubiertos	95
8.2.1.4	Desintegración de bordes	96
8.2.2	Deformaciones	97
8.2.2.1	Hundimientos	97
8.2.2.2	Corrugaciones y desplazamientos	98
8.2.2.3	Ahuellamiento	99
8.2.3	Fisuraciones o agrietamientos	99
8.2.3.1	Fisuramiento longitudinal	99
8.2.3.2	Fisuramiento transversal	100
8.2.3.3	Fisuramiento de borde	101
8.2.3.4	Fisuramiento en bloque	102
8.2.3.5	Fisuramiento piel de cocodrilo	103
8.2.3.6	Fisuramiento por reflexión de juntas	104
8.3	Bacheo	105
8.3.1	Requisitos para materiales de bacheo	106
8.3.2	Requisitos de construcción	106
8.3.2.1	Equipo	106

8.3.2.2	Procedimiento de bacheo	107
8.3.2.3	Medida	108
8.4	Sellado de grietas	109
8.4.1	Requisitos para materiales de sellado de grietas	110
8.4.2	Requisitos de construcción	110
8.4.2.1	Equipo	111
8.4.2.2	Limpieza	112
8.4.2.3	Grietas finas	113
8.4.2.4	Grietas medianas	113
8.4.2.5	Grietas Gruesas	114
8.4.3	Medida	115
9.	DRENAJES	117
9.1	Materiales	118
9.1.1	Alcantarillas de tubos de concreto reforzado	118
9.1.2	Drenajes horizontales	119
9.1.3	Cunetas Revestidas	120
9.1.3.1	Piedra ligada con mortero	120
9.1.3.2	Concreto simple fundido en sitio	121
9.1.3.3	Concreto simple prefundido	121
9.1.3.4	Mezclas asfálticas	121
9.2	Colocación	122
9.2.1	Alcantarillas de tubos de concreto reforzado	122
9.2.2	Drenajes horizontales	124
9.2.3	Cunetas Revestidas	126
9.2.3.1	Piedra ligada con mortero	126
9.2.3.2	Concreto simple fundido en sitio	127
9.2.3.3	Concreto simple prefundido	128
9.2.3.4	Mezclas asfálticas	129

9.3	Mantenimiento	129
9.3.1	Limpieza de estructuras de drenaje existentes	130
9.3.2	Reacondicionamiento de estructuras de drenaje	130
9.3.3	Remoción y reutilización de drenajes en el proyecto	130
9.3.4	Remoción de estructuras de drenaje existentes	131
10	ESPECIFICACIONES	133
10.1	Especificaciones Internacionales	133
10.1.1	AASHTO	133
10.1.2	AI	135
10.2	Especificaciones Nacionales	137
10.2.1	Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes	137
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES	141
	BIBLIOGRAFÍA	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA

1.	Determinación de espesores de capa en un pavimento asfáltico	67
----	--	----

TABLAS

I	Composición del Concreto de Cemento Hidráulico para Pavimentos	53
II	Relaciones de Modulo Resiliente – C.B.R	63
III	Valor del Coeficiente Estructural Capa de Rodadura-Concreto Asfáltico	64
IV	Valor del Coeficiente Estructural para Bases Tratadas Bases Bituminosas	64
V	Valor del Coeficiente Estructural para Base Granular Chancada	65
VI	Valor del Coeficiente Estructural para Sub base Granular	65
VII	Relación de drenaje – tiempo de saturación del pavimento.	66

RESUMEN

La importancia del curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras, se hace, cada vez, más notable en nuestro entorno y es necesario contar con un documento de respaldo para consulta durante el estudio de la materia.

El presente documento es de mucha importancia como una referencia bibliográfica, tanto para el estudiante de Ingeniería Civil, como para los profesionales dado que integra el diseño de elementos estructurales de un pavimento, de acuerdo a las especificaciones para diseño y construcción de pavimentos de la Dirección General de Caminos y AASHTO. Además, proporciona aspectos generales de la tipología de estos, los materiales utilizados, etc.

OBJETIVOS

- **General**

Crear una guía de apoyo teórica y práctica para los estudiantes del curso de Pavimentos y mantenimiento de carreteras, así como para el docente y profesionales que deseen consultarla.

- **Específicos**

1. Describir las generalidades de los Pavimentos.
2. Describir los tipos de Pavimentos y sus características.
3. Describir los materiales utilizados para pavimentos.
4. Describir los tipos de asfaltos que existen.
5. Describir el proceso de riego de imprimación.
6. Describir los materiales y procedimientos utilizados para las mezclas.
7. Describir los pavimentos de concreto hidráulico.
8. Describir el proceso de diseño de Pavimentos.
9. Describir las generalidades del mantenimiento de pavimentos.
10. Describir el proceso de diseño de drenajes.
11. Describir las generalidades acerca de las especificaciones.

INTRODUCCIÓN

En el ramo de la construcción vial, los pavimentos han ocupado un lugar preponderante, dada la necesidad de la comunicación, a través de este sistema, en aras del desarrollo económico y social.

Dada la variedad de tipos de pavimentos con que se cuenta y, tomando el factor económico como parámetro importante en la decisión final, para determinar el tipo de pavimento a utilizar en un proyecto determinado, es beneficioso contar con estructuras de pavimentos variadas, lo que hace posible seleccionar una determinada estructura a un monto económico adecuado, a los parámetros que regularán el proyecto.

El curso de pavimentos y mantenimiento de carreteras, proporciona al estudiante los conocimientos teóricos, necesarios, para la toma de decisiones en estos aspectos.

Debido a la necesidad, tanto de la actualización del contenido de estudio de los pavimentos, como del mantenimiento de los mismos, bajo los cambios surgidos en las normas que los rigen, se plantea la elaboración de un documento el cual integre el contenido del curso de pavimentos y mantenimiento de carreteras y que, además de ser importante, tanto para estudiantes como para profesionales, por cuanto en él se plantean diversos conceptos relacionados con el diseño de pavimentos.

También, se contemplan los factores que tanto el estudiante como el profesional deben conocer para determinar una solución aceptable de pavimentación para transmitir las cargas del tránsito al suelo.

El trabajo de graduación pretende que el estudiante del curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras conozca aspectos generales de la tipología de pavimentos, especificaciones y métodos de diseño y construcción así como el diseño de los elementos estructurales del pavimento de acuerdo a los métodos usados en nuestro medio y la aplicación de las especificaciones de la Dirección General de Caminos, de SIECA y AASHTO, constituyendo en un documento auxiliar para el desarrollo del curso y de consulta para profesionales interesados en el tema.

1. PAVIMENTOS

1.1 Generalidades

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los mas económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Un pavimento se puede definir también como un sistema de revestimiento que conforma el suelo transitable de cualquier espacio construido. Los pavimentos se apoyan sobre elementos estructurales sensiblemente horizontales, como los terrenos estabilizados, soleras, losas y forjados. Las principales funciones que desempeñan son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

Los diversos tipos de suelos se clasifican, atendiendo al método de construcción, en continuos y discontinuos. Los continuos, extendidos en grandes superficies, suelen fabricarse con piedras artificiales como morteros hidráulicos, hormigones o gravas asfaltadas. Entre los más comunes se encuentran los recubrimientos asfálticos de carreteras y autopistas o los pavimentos industriales de concreto. Los revestimientos de suelos discontinuos o modulares, por el contrario, abarcan toda la gama conocida de materiales, desde la piedra natural y artificial hasta los diversos plásticos, pasando por maderas, telas, metales y otros. Los entarimados, los adoquinados, los suelos de baldosas, etc.

1.2 Términos técnicos en carreteras

a) Carretera o camino: toda vía pública abierta a la circulación de vehículos, peatones y demás usuarios.

b) Derecho de vía: área o superficie de terreno propiedad del estado, destinada para el uso de una carretera o camino. Son áreas adyacentes a la sección de la carretera.

c) Carretera de primer orden: carretera en la que se puede circular con seguridad a 140 KPH en una curva horizontal.

d) Plataforma o corona: área de la carretera o camino que comprende la superficie de rodadura y los hombros.

e) Superficie de rodamiento o rodada: área de la carretera o del camino, destinada a la circulación de vehículos.

f) Superficie de rodamiento de tierra: área donde los vehículos circulan prácticamente sobre el terreno natural (libre de tierra vegetal).

g) Superficie de rodamiento balastada: área formada por una o más capas de Balasto, sobre la cual circulan vehículos.

h) Superficie de rodamiento pavimentada: área formada por una o más capas de concreto asfáltico, tratamiento superficial, losas de concreto armadas o losas de concreto sin armar.

i) Carril: cualquier subdivisión de la superficie de rodadura que tenga el ancho suficiente para permitir la circulación de una hilera de vehículos.

j) Hombro: área adyacente a ambos lados de la superficie de rodamiento.

k) Línea Central: eje central de la carretera. A él están referidas todas las medidas de sus componentes: ancho de rodamiento, hombros, cunetas, etc.

l) Cunetas: zanja lateral paralela al eje de la carretera, constituida entre los extremos de los hombros y el pie de los taludes.

m) Contracunetas: zanja lateral generalmente paralela al eje de la carretera, construida en la parte superior de las laderas de corte.

n) Lecho: es la parte inferior del camino sobre el que se constituyen las capas de sub base, base, superficie de rodamiento, hombros y cunetas.

o) Talud: área del terreno en corte o relleno, comprendida entre la cuneta y el terreno original.

p) Curva horizontal compuesta: son dos curvas horizontales consecutivas que no están separadas por una tangente; es decir, que el PT de la primera curva coincide con el PC de la segunda. Esta clase de curvas es permisible únicamente en casos especiales, debido a la topografía del terreno, a los pasos obligados, etc.

q) Curva de transición: es una curva no circular intercalada entre una tangente y una curva circular, o entre dos curvas circulares, cuyo propósito es contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga.

r) Peralte: es la diferencia de elevación en sentido transversal, que existe entre los extremos interno y externo de la superficie de rodamiento de una curva.

s) Sobre ancho: es el área que se incrementa al ancho normal de la plataforma o corona en una curva; se recomienda aplicar en el área interna de la curva.

t) Curva vertical: es el tramo de forma parabólica que une dos gradientes. Esta puede ser cóncava o convexa, según el sentido de la curva.

u) Gradiente: se llama gradiente a la pendiente ascendente o descendente en la proyección vertical de una carretera y se le considera positiva o negativas según sea su dirección.

1.3 Términos técnicos en alcantarillas

a) Alcantarilla: conducto por el cuál circula una corriente de agua.

b) Tubería: obra de drenaje construida con tubos de sección circular o abovedada, de diferentes materiales, diseñada para permitir el transporte del agua u otros fluidos en forma eficiente.

c) Esviaje: es el ángulo menor que forma la línea central de la carretera con la línea central de la tubería; cuando este ángulo es de 90° se llama “tubería normal”.

d) Bóveda: es una estructura formada por un arco (metálico, de concreto o de mampostería) apoyado en dos muros, las cuales son diseñadas y construidas para desaguar caudales de agua y soportar rellenos relativamente grandes.

e) Aletón: muro lateral colocado en estribos, entrada o salida de bóvedas, cajas o cabezales, diseñados para sostener y proteger los taludes y encauzar las aguas.

1.4 Términos técnicos en puentes:

a) Diafragma: elemento estructural fundido perpendicularmente a las vigas principales de soporte, con el fin de aumentar la rigidez de la estructura del puente.

b) Estribo: elemento extremo auxiliar de los puentes para evitar deslaves.

c) Esviajamiento: ángulo que forma el puente con la corriente que salva.

d) Gálibo: dimensión mínima ideal autorizada para permitir el paso de vehículos sin problemas.

e) Nervadura: elemento soportante de un puente (viga), generalmente de concreto.

f) Pilotes: elemento estructural que se hinca en tierra para consolidar los cimientos.

2. PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES

La pavimentación de carreteras, calles y aeropuertos utiliza diversas técnicas y procesos con la finalidad de dar seguridad y comodidad al usuario y duración a la construcción.

Los pavimentos se componen de capas sobrepuestas con finalidades específicas. Al utilizar una vía pavimentada el usuario ve apenas los beneficios con relación a la utilidad y comodidad ofrecida apenas por la capa superficial, o sea, la capa de rodamiento. El usuario común no imagina que el desempeño de ésta dependa fundamentalmente de las capas inferiores de soporte.

Los pavimentos están divididos, en lo que se refiere a su capa superficial en dos grupos:

- Pavimentos Rígidos
- Pavimentos Flexibles

2.1 Pavimentos rígidos

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico o cemento Pórtland que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varia entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de dilatación entre losas.

Este tipo de pavimento se utiliza generalmente en proyectos destinados a soportar grandes cargas, intenso tráfico o incluso en terrenos de baja capacidad de soporte. Su mayor aplicación, hoy, está en la pavimentación de grandes carreteras, avenidas de intenso tráfico pesado, aeropuertos, áreas portuarias de movimiento de cargas pesadas, etc.

2.2 Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles elaborados a partir de la mezcla de áridos y cemento asfáltico resultan mas económicos en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 20 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento esta compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y la sub-base.

Se usan e indican para la mayoría de los proyectos de pavimentación. Esa técnica de pavimentación tiene a su disposición varios procesos diferentes cuya elección depende de la evaluación de costos, intensidad de tráfico, vida útil, etc.

Los principales procesos utilizados en la construcción de pavimentos flexibles son:

- Concreto Betuminoso Plantado en Caliente (CBUQ)
- Premezclados en frío (PMQ)
- Tratamientos Superficiales
- Micro concreto Betuminoso

3. MATERIALES

3.1 El Suelo

Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de la actividad de los seres vivos que sobre ella se asientan.

El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es fundamentalmente importante en el estudio y diseño de Pavimentos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferente contenido de humedad.

El suelo tiene una amplia gama de características físicas y químicas, pero para el estudio de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras, las que más nos interesan son

3.1.1 Tamaño de las partículas: lo determinan la clase de minerales que entran en su composición:

- a) Piedras pequeñas: partículas mayores de 76mm.
- b) Gravas gruesas: comprendidas entre 25mm y 76mm.
- c) Gravas medianas: comprendidas entre 10mm y 25mm.
- d) Gravas finas: comprendidas entre 2mm y 10mm.
- e) Arenas gruesas: comprendidas entre 0.6mm y 2mm.

- f) Arenas medianas: comprendidas entre 0.25mm y 0.6mm.
- g) Arenas finas: comprendidas entre 0.07mm y 0.25mm.
- h) Limos: comprendidos entre 0.005mm y 0.07mm
- i) Arcillas: partículas menores a 0.005mm.

3.1.2 Contenido de humedad: es la relación que existe entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca.

3.1.3 Permeabilidad: propiedad que tiene el suelo de permitir el paso del agua a través de sus poros.

3.1.4 Capilaridad: esta propiedad está basada en el principio de ascensión capilar; el cual indica el comportamiento del agua cuando la atracción de sus moléculas por la superficie con la que están en contacto (adhesión) es mayor o menor que la atracción que experimentan entre ellas mismas (cohesión).

3.1.5 Límites de consistencia: indican el grado de cohesión entre las partículas del suelo.

El Límite Líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

El Límite Plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, para el cual los suelos cohesivos pasan a un estado semisólido a un estado plástico.

El Límite de Contracción se define como el porcentaje de humedad, con respecto al peso seco de la muestra, con el cual, una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo.

Por plasticidad se conoce a la propiedad que tienen los suelos de deformarse sin romperse.

3.1.6 Densidad máxima: es cuando una masa de suelo alcanza su menor volumen y su mayor peso. Para alcanzar la densidad máxima, es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada conocida como Humedad Optima, la cual es obtenida a través de un ensayo de compactación.

3.1.7 Conformación: se define como la configuración de la forma de un suelo en base a una sección típica con Motoniveladora.

3.2 Agregados minerales

También llamados Áridos, son todos los materiales inertes que son los constituyentes en una mezcla, no tienen ninguna reacción química, más bien se comportan de manera mecánica; éstos pueden ser pétreos o metálicos.

Los agregados pueden ser clasificados según su tamaño en Agregado Fino y Agregado Grueso, siendo el límite entre ellos el tamiz 4 (4.75mm); según su forma pueden ser clasificados como Cantos Rodados (provenientes de ríos o quebradas), Triturados (provenientes de la trituración de roca en planta) o Cantos Rodados Triturados (después del

proceso de triturar cantos rodados para mejorar su adherencia), siendo la diferencia entre ellos la adherencia y la trabajabilidad; según su origen geológico se clasifican en Sedimentarios (caliza), Ígneos (basaltos, pómez, etc.) o Metamórficos (granitos, cuarzos, etc.); y según su procedencia se clasifican en Naturales y Artificiales.

Estos materiales son esenciales para la composición de la estructura de pavimento de una carretera. La costumbre de los ingenieros civiles es dividir los materiales en rocas (agregados minerales) y suelos.

El nombre de algunas rocas son: el Cuarzo, Feldespatos y Calcita o Dolomita. La roca se divide en grava, gravilla y arena. La mayoría de las rocas son agregados minerales, algunos como la piedra pómez, están formadas por vidrio volcánico, mientras que otros como el carbón están compuestos por los productos en descomposición orgánica.

Para conocer sus características y poder efectuar una clasificación de los agregados minerales, se le evalúan una serie de propiedades físicas y mecánicas, entre las que están: el peso específico, la granulometría, la resistencia al desgaste, el porcentaje de absorción, el porcentaje de humedad contenida y la cantidad de materia orgánica existente.

El peso específico es una característica física de la roca que depende de la composición mineralógica y de su textura e indica la relación existente entre el peso del agregado y el peso del agua.

La proporción de los tamaños y composición granulométrica tienen mucha importancia para la calidad del pavimento porque dependiendo del módulo de finura que presente el material, así será su resistencia óptima.

3.3 Productos bituminosos y cemento Pórtland

Son los componentes activos de una mezcla, que reaccionan químicamente en presencia de un agente externo, como el agua, el aire o los solventes, también se les conoce como aglomerantes.

3.3.1 Productos bituminosos: Se consideran materiales bituminosos los que contienen en su composición asfaltos naturales, betunes asfálticos de penetración, betunes asfálticos de oxidación, alquitranes o breas.

Los materiales bituminosos pueden ser de los siguientes tipos:

a) Imprimadores: son productos bituminosos utilizados para la imprimación y la preparación de las superficies de los soportes que vayan a impermeabilizarse con el fin de mejorar la adherencia del material impermeabilizante con el soporte; los imprimadores se clasifican en los dos tipos siguientes: emulsiones asfálticas y pinturas bituminosas de imprimación. Las emulsiones asfálticas son productos bituminosos obtenidos por la dispersión de pequeñas partículas de un betún asfáltico en agua o en una solución acuosa con un agente emulsionante; además de los tres productos básicos (betún asfáltico, agua y emulsionantes), pueden contener otros tales como materia mineral fina, caucho, etc., mientras que las pinturas

bituminosas de imprimación son productos bituminosos líquidos obtenidos a partir de una base bituminosa (asfáltica o de alquitrán) que, cuando se aplican en capa fina, al secarse, forman una película sólida, las pinturas bituminosas de imprimación se clasifican en: tipo I, pinturas de imprimación de base asfáltica y tipo II, pinturas de imprimación de base alquitrán.

b) Pegamentos bituminosos y adhesivos: son productos de base bituminosa, destinados a realizar la unión entre sí de otros productos tales como láminas y armaduras bituminosas o la unión de estos productos con el soporte base de la impermeabilización, se clasifican en: tipo I, pegamentos bituminosos de aplicación en caliente y tipo II, pegamentos bituminosos de aplicación en frío. Los pegamentos bituminosos se designan con las siglas PB seguidas de un guión, del número romano que identifica el tipo al que pertenecen. Como pegamentos bituminosos de aplicación en caliente pueden utilizarse oxiasfaltos o másticos bituminosos del tipo II; los oxiasfaltos son productos bituminosos semisólidos preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación y oxidación posterior, sin o con catalizadores, al hacer pasar a través de su masa una corriente de aire a elevada temperatura. Los pegamentos bituminosos de aplicación en frío están compuestos esencialmente por un producto bituminoso disuelto en un disolvente volátil y son de tal naturaleza que permiten la unión de los materiales sin afectar a sus propiedades.

c) Másticos modificados de base alquitrán de aplicación in situ: son productos de consistencia pastosa que contienen en su composición alquitrán mezclado con polímeros. Pueden contener además otros productos tales como disolventes, plastificantes, materia mineral fina o fibrosa y otros aditivos. Se utilizan para la realización de impermeabilizaciones in situ con refuerzo de armaduras.

d) Armaduras bituminosas: son productos obtenidos por saturación o impregnación de una armadura de fieltro o de tejido con betún asfáltico, que se utilizan para dar resistencia mecánica a las impermeabilizaciones realizadas in situ, alternando dicho producto con capas de oxiasfalto o de mástico, que se utilizan para la realización in situ de la impermeabilización. Las armaduras bituminosas se clasifican en: tejidos bituminosos y fieltros bituminosos.

e) Materiales bituminosos de sellado para juntas de concreto: son productos bituminosos que se emplean para el sellado de las juntas, con objeto de impermeabilizar y mejorar adherencia entre las partes y evitar la penetración de materiales extraños a las partes inferiores o al suelo mismo, se clasifican en: tipo I, selladores de aplicación en caliente y tipo II, selladores de aplicación en frío.

f) Láminas y Placas: son productos prefabricados laminares, cuya base impermeabilizante es de tipo bituminoso, destinados a formar parte fundamental de la impermeabilización, como sistema monocapa (compuesto por una sola lámina, por

materiales de unión y, en algunos casos, por imprimaciones) o multicapa (compuesto por varias láminas que pueden ser del mismo o de distinto tipo, por materiales de unión y, generalmente, por imprimaciones). Las láminas pueden ser: a) láminas bituminosas de oxiasfalto; b) láminas de oxiasfalto modificado; c) láminas de betún modificado con elastómeros; d) láminas de betún modificado con plastómeros; e) láminas extrudidas de betún modificado con polímeros; f) láminas de alquitrán modificado con polímeros. (Normativa Asfaltex, 2006)

3.3.2 Cemento Pórtland: El cemento Pórtland es un conglomerante hidráulico cuya principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza el amasado, lo que permite dar forma a la piedra artificial resultante estas tres cualidades (moldeable, resistente, duradero) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de edificios y obras públicas.

Tiene diversas aplicaciones, como la obtención de concreto por la unión de arena y grava con cemento Portland (es el más usual), para pegar superficies de distintos materiales o para revestimientos de superficies a fin de protegerlas de la acción de sustancias químicas. El cemento tiene diferentes composiciones para usos diversos, puede recibir el nombre del componente principal, como el cemento calcáreo, que contiene óxido de silicio, o como el cemento epoxiaco, que contiene resinas epoxídicas; o de su principal característica, como el cemento hidráulico o el cemento rápido. Los

cementos utilizados en la construcción se denominan en algunas ocasiones por su origen, como el cemento romano, o por su parecido con otros materiales, como el caso del cemento Portland, que tiene cierta semejanza con la piedra de Portland, utilizada en Gran Bretaña para la construcción. Los cementos que resisten altas temperaturas se llaman cementos refractantes.

El cemento se fragua o endurece por evaporación del líquido plastificante, como el agua, por transformación química interna, por hidratación o por el crecimiento de cristales entrelazados. Otros tipos de cemento se endurecen al reaccionar con el oxígeno y el dióxido de carbono de la atmósfera.

Los cementos Portland típicos consisten en mezclas de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de hierro y magnesio. Para retardar el proceso de endurecimiento se suele añadir yeso.

Los compuestos activos del cemento son inestables, y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice (dióxido de silicio) hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniendo las partículas de arena o piedras —siempre presentes en las mezclas de argamasa de cemento— para crear una masa dura. El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más

lentamente, endureciendo poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento se conoce como curado, y durante el mismo se desprende calor.

El cemento Portland se fabrica a partir de materiales calizos, por lo general piedra caliza, junto con arcillas, pizarras o escorias de altos hornos que contienen óxido de aluminio y óxido de silicio, en proporciones aproximadas de un 60% de cal, 19% de óxido de silicio, 8% de óxido de aluminio, 5% de hierro, 5% de óxido de magnesio y 3% de trióxido de azufre. Ciertas rocas llamadas rocas cementosas presentan en su composición estos elementos en proporciones adecuadas y se puede obtener cemento a partir de ellas sin necesidad de emplear grandes cantidades de otras materias primas. No obstante, las cementeras suelen utilizar mezclas de diversos materiales.

En la fabricación del cemento se trituran las materias primas mezcladas y se calientan hasta que se funden, formando el “clínquer”, que a su vez se tritura hasta lograr un polvo fino. Para el calentamiento se suele emplear un horno rotatorio de más de 150 m de largo y más de 3,2 m de diámetro. Estos hornos están ligeramente inclinados, y las materias primas se introducen por su parte superior, ya sea en forma de polvo seco de roca o como pasta húmeda hecha de roca triturada y agua. A medida que desciende a través del horno, se va secando y calentando con una llama situada al fondo del mismo. Según se acerca a la llama se separa el dióxido de carbono y la mezcla se funde a temperaturas entre 1.540 y 1.600 °C. El material tarda unas seis horas en pasar de un extremo a otro del horno. Después de salir del horno, el clínquer se enfría con

rapidez y se tritura, transportándose a una empaquetadora o a silos o depósitos de almacenamiento. El material obtenido tiene una textura tan fina que el 90% o más de sus partículas podrían atravesar un tamiz o colador con 6.200 agujeros por centímetro cuadrado.

En los hornos modernos se pueden obtener de 27 a 30 Kg. de cemento por cada 45 Kg. de materia prima. La diferencia se debe sobre todo a la pérdida de agua y dióxido de carbono. Por lo general, en los hornos se quema carbón en polvo, consumiéndose unos 450 Kg. de carbón por cada 900 g de cemento fabricado. También se utilizan gases y otros combustibles derivados del petróleo.

Para comprobar la calidad del cemento se llevan a cabo numerosas pruebas. Un método común consiste en tomar una muestra de argamasa de tres partes de arena y una de cemento y medir su resistencia a la tracción después de una semana sumergida en agua.

Las especificaciones de la AASHTO para cemento Portland (AASHTO M85-60) enumeran cinco tipos:

- a) Tipo I: Para construcciones generales de concreto, cuando las propiedades especiales de los otros cuatro tipos no son requeridas.

- b) Tipo II: Para construcción general de concreto, expuesta a una moderada acción de los sulfatos, o en donde se requiera un moderado calor de hidratación.

- c) Tipo III: Para una creación rápida de resistencia elevada.
- d) Tipo IV: Para un bajo calor de hidratación.
- e) Tipo V: Para una alta resistencia a los sulfatos.

Además, existen especificaciones de la AASHTO que cubren los cementos con inclusión de aire y los cementos naturales y cementos de escoria de altos hornos (Designaciones AASHTO M134-60, N135-57 y M151-60). (Yepes,2004)

3.4 Asfalto / Azufre

Llamamos asfalto a determinadas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleos por destilación o extracción y cuyas propiedades físicas y químicas los hacen aptos para multitud de aplicaciones de diverso tipo.

El asfalto se presta particularmente bien para la construcción por varias razones: proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños además, es capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.

Una propiedad importante del asfalto es que impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de las precipitaciones además, proporciona una estructura de pavimento con características flexibles.

Existen diversos tipos de asfaltos utilizados en la construcción de pavimentos y mantenimiento de carreteras, cada uno con sus beneficios y desventajas, los cuales se enumeran a continuación:

3.4.1 Betún asfáltico

El betún asfáltico es el procedente de la destilación del petróleo. Los diversos tipos de betún asfáltico se fabrican introduciendo el crudo asfáltico a elevada temperatura en una torre de destilación por cuya parte superior destilan los productos ligeros, mientras que en la base se condensan los productos asfálticos en forma de un líquido muy viscoso.

Volviendo a destilar este producto al vapor o al vacío se obtienen como residuo los diversos tipos de betún asfáltico los cuales suelen designarse por la palabra asfalto seguida de dos cifras que son los límites mínimo y máximo de la penetración fijadas por las especificaciones para cada tipo.

3.4.2 Asfalto fluidificado (*Cutback*)

Dado que el betún asfáltico, desde el punto de vista práctico, presenta el inconveniente de las elevadas temperaturas a que es preciso calentarlo para hacer posible su utilización, se emplean

frecuentemente los cutbacks, productos obtenidos por incorporación de betunes asfálticos de disolventes hidrocarbonatos.

Los disolventes incorporados deben ser de naturaleza compatible con la del betún asfáltico para evitar que se produzca precipitación de asfaltenos. Frecuentemente se emplean disolventes procedentes del mismo crudo asfáltico.

Los cutbacks son líquidos más o menos viscosos, dependiendo su viscosidad de la proporción de disolvente incorporado.

Los cutbacks son productos empleados casi exclusivamente en la construcción de carreteras. Una vez aplicados, los disolventes se eliminan por evaporación en un tiempo más o menos largo dependiente de su naturaleza.

3.4.3 Emulsiones asfálticas

Se le llama emulsión a un sistema compuesto de dos líquidos inmiscibles de lo que el uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas. Se llama al primero fase dispersa, y al segundo, fase continúa.

En las emulsiones asfálticas, las dos fases en presencia son agua y asfalto. Si se agitan asfalto fundido y agua caliente, se obtiene una emulsión inestable que solo dura lo que la agitación. Tan pronto como cesa ésta, las partículas de asfalto se unen unas a otras, formando una masa continua separada del agua. Para lograr emulsiones estables es necesario introducir en el sistema un tercer

componente, el emulgente, que se concentra en la capa interfacial de ambos componentes, modificando las propiedades del conjunto y haciendo estable la emulsión.

Evidentemente, cada sistema de dos líquidos inmiscibles puede dar dos emulsiones de tipo completamente distinto, según sea una u otra la fase dispersa. Los dos tipos fundamentales de emulsión suelen denominarse aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O).

Al ser el asfalto un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir considerables esfuerzos instantáneos, aunque fluya siempre bajo la acción de cargas permanentes, puede cumplir en la construcción de caminos, las funciones siguientes:

- a) Impermeabilizar la superficie del camino, evitando la penetración del agua de lluvia.
- b) Impermeabilizar la masa de determinadas capas del pavimento haciéndolas poco sensibles a la humedad. Este es el caso de las bases asfálticas o de pavimentos asfálticos de gran espesor.
- c) Dotar de cohesión a los materiales granulares empleados carentes de ella. Se aplica esta propiedad en los mismos casos anteriores, es decir, en la construcción de bases o pavimentos asfálticos de gran espesor. En ambos casos, no sólo se da a la masa de la capa una gran resistencia a la degradación, muy útil en capas de superficie, sino que se le dota de gran resistencia

mecánica, que puede mejorar sensiblemente el valor portante del pavimento, permitiendo disminuir su espesor.

d) Sería posible emplear el asfalto para construir una impermeabilización exterior a manera de una membrana asfáltica, alrededor de una determinada capa de pavimento flexible, manteniéndola en las condiciones de humedad óptimas para favorecer su resistencia.

3.5 Asfaltos reciclados

El reciclado de la superficie es un proceso eficiente que usa equipo especialmente para reparar y rehabilitar calles deterioradas y bituminosas.

El proceso puede ser desempeñado en una o dos fases. En el método de una fase, el asfalto nuevo está colocado directamente detrás de el asfalto existente. La operación de dos fases permite retardar la colocación del riego (o cualquier otro cubridor de superficie) que puede ser colocado en el recirculado días o semanas después.

El Asfalto reciclado provee un bajo costo de mantenimiento estratégico, removiendo grietas, surcos en el camino, y áreas bajas utilizando asfalto existente en el camino para la rehabilitación en el sitio. La flexibilidad y calidad se restablece al la material asfalto y el pavimento se deja preparado para otro tratamiento de la superficie.

El reciclaje de la superficie permite que el dinero disponible pueda ser extendido sobre yardas de áreas de pavimento con mantenimiento. El

aumento de costo de mantenimiento hace de este proceso una alternativa deseable para la reparación de los caminos.

Equipo eficiente y mejores métodos de rehabilitación del pavimento permiten que una calle reciclada pueda ser completada y abierta al tráfico con solamente pocas horas, aunque no sea visible al público, el proceso es rápido y presenta menos inconveniencia para los automovilistas.

El reciclaje de la superficie comienza con dos o más quemadoras acondicionadas de gas propano, la última quemadora en línea está proveída con scarifier hidráulicos.

Los scarifiers desmenuzan el asfalto recalentándolo para la recolocación. La profundidad de 25mm a 40mm se obtiene en condiciones normales.

La pavimentadora de asfalto reciclado sigue el proceso de desmenuzación y añade el aceite rejuvenecido antes del proceso de la molienda. La adición del aceite está controlado con una bomba hidráulica que está calibrada a la rapidez del empedrador. Después de la adición del rejuvenecedor la material está molido, revuelto y distribuido uniformemente antes de la tirada crítica. Con el proceso de la molienda se puede obtener la profundidad del tratamiento mientras se deja la superficie con textura para el aumento del asfalto reciclado.

El asfalto reciclado se consolida, usando métodos convencionales de rodillo.

El proceso de reciclaje asfáltico permite que el tráfico pase por la superficie con una velocidad moderada durante de la operación. Después de terminado el reciclaje de la carretera, muchos de los defectos de la superficie han sido eliminados. El camino queda listo para la apertura al tránsito inmediatamente o después de un tiempo no muy prolongado.

El asfalto reciclado ofrece los siguientes beneficios:

- a) Menos efecto en la ambiente.
- b) Más millas de carretera se pueden mantener con menos costo.
- c) Menos efecto en el tráfico.
- d) El proceso es independiente de otros procesos, dejando más flexibilidad de trabajo.

3.6 Asfaltos polimerizados

El asfalto polimerizado está basado en una tecnología originalmente Holandesa e introducida luego en Estados Unidos.

El Asfalto polimerizado, ampliamente usado en Europa desde hace más de dos décadas, es una mezcla de asfalto y polímero. La combinación corrige los problemas del asfalto asociados a las deformaciones ocasionadas por altas temperaturas así como al desgaste del producto por uso y al agrietamiento por factores térmicos. La avanzada tecnología usada en este producto asegura su gran elasticidad y prolonga su vida útil en más de un 200 por ciento con respecto al asfalto convencional. A diferencia del concreto, material que compite con este asfalto, el asfalto polimerizado tiene la ventaja de que se puede aplicar en

horas de la noche, de manera que minimiza las interrupciones del tráfico durante el día.

En resumen, debido a su durabilidad y menores exigencias de mantenimiento, ésta línea de asfalto garantiza una notoria reducción de costos durante el ciclo de vida total del pavimento, lo cual se traduce en ahorros considerables para las entidades públicas y contribuyentes que desembolsan dinero para el mantenimiento de la vialidad de país.

La clasificación de ASTM clasifica los asfaltos polimerizados en base al polímero modificador utilizado, de la siguiente manera:

- a) Tipo I: Asfalto Modificado típicamente con copolímeros de bloques SB o SBS.
- b) Tipo II: Asfalto Modificado típicamente con SBR o cloroprenos.
- c) Tipo III: Asfalto Modificado típicamente con polímeros tipo EVA
- d) Tipo IV: Asfalto Modificado típicamente dispersando SBS sin ligamentos. (ASTM, 2006)

4. PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

4.1 Sub-rasante

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Es el prisma en corte o terraplén, en el cual se construyen las partes de la carretera mostradas en la sección típica. Es el resultado final del proceso de ejecución de la fase de movimiento de tierras. Cuando la construcción de la estructura del pavimento se va a efectuar sobre carreteras de terracería existentes, la sub-rasante existente previamente se deberá de reacondicionar.

Reacondicionamiento de Sub-Rasantes existentes, es la operación que consiste en escarificar, homogeneizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la sub-rasante de una carretera previamente construida para adecuar su superficie a la sección típica y elevaciones del proyecto establecidas en los planos, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros, con el objeto de regularizar y mejorar, mediante estas operaciones, las condiciones de la sub-rasante como cimiento de la estructura del pavimento.

Sobre la sub-rasante se construye la estructura del pavimento por lo que el espesor de esta estructura dependerá en gran parte de su valor soporte, sea rígido o flexible. Por ejemplo, si el terreno es de muy mala

calidad (que contiene un alto contenido de materia orgánica), este material deberá sustituirse por otro de mejor calidad. Si el terreno de fundación es de mala calidad formado por un suelo fino, limoso o arcilloso, habrá de colocarse una sub-base granular de material seleccionado antes de la colocación de la base y capa de rodamiento. Si el terreno de fundación es regular o bueno y formado por un suelo bien graduado sin ofrecer peligro de saturación, es posible que no se necesite la capa de sub-base, si el valor soporte de la sub rasante es excelente. Por último, si el terreno de fundación fuera excelente, ó sea que el valor soporte del terreno de fundación fuera elevado y además no hubiera posibilidad de saturación de agua, entonces sería suficiente colocar encima la capa de rodamiento, y que en realidad con muy raras excepciones sucede en nuestro medio y no es muy recomendado.

El valor soporte del terreno de fundación, se obtiene ya sea determinando su C.B.R. o su valor de resistencia (R-Value) del Esbilómetro de Hveem, o mediante ensayos directos de carga en el terreno sobre placas (Plate Bearing Test).

Son materiales inadecuados para la construcción de la sub-rasante, los siguientes:

- a) Los clasificados en el grupo A-8, AASHTO M 145, que son suelos altamente orgánicos, constituidos por materias vegetales parcialmente carbonizadas o fangosas. Su clasificación está basada en una inspección visual y no depende del porcentaje que pasa el tamiz 0.075 mm (N° 200), del límite líquido, ni del índice de plasticidad. Están compuestos principalmente de materia orgánica parcialmente podrida y generalmente tienen una textura fibrosa, de

color café oscuro o negro y olor a podredumbre. Son altamente compresibles y tienen baja resistencia. Además basuras o impurezas que puedan ser perjudiciales para la cimentación de la estructura del pavimento.

b) Las rocas aisladas, mayores de 100 milímetros, que se encuentran incorporadas en los 300 milímetros superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

c) Suelos de preferencia granulares con menos de 3 por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR), que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren en el tramo o sección que se esté reacondicionando y que además, no sean inadecuados para sub-rasante de acuerdo a lo indicado en el Libro Azul de Caminos.

En algunos casos, si el material de la sub-rasante no es adecuado, puede utilizarse el procedimiento conocido como estabilización de la sub-rasante, el cual consiste en escarificar o pulverizar, incorporar materiales estabilizadores, homogeneizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la mezcla de la sub-rasante con materiales estabilizadores (cal, granza de cal, cal/ceniza fina o compuestos estabilizadores químicos orgánicos e inorgánicos de eficacia y durabilidad comprobada) para mejorar sus características mecánicas y su función como cimiento de la estructura del pavimento, adecuando su superficie a la sección típica y elevaciones de sub-rasante establecidas en los planos, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros y cumpliendo con lo establecido en las Especificaciones.

4.2 Sub-base

Es la capa de material selecto (tierra seleccionada) que se coloca encima de la sub-rasante, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base; también puede ser el material de sub-rasante estabilizado. Esta situada inmediatamente debajo de la capa de Base, tal como lo indica su nombre y debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la sub rasante e inmediatamente debajo de la base. Tiene por objeto:

- a) Distribuir las cargas de rodadura que le transmite la base, de manera que las soporte la Sub-rasante.
- b) Servir de capa de drenaje al pavimento, por lo que deben preferirse los materiales granulares.
- c) Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, la elasticidad y la plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub rasante.
- d) Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de heladas.

Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos donde la ascensión capilar es grande; en Guatemala esta condición solo ocurre en las montañas del Occidente de la Republica.

El material de la sub-base, debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava, granzón, escoria de los altos homos o volcánica, o bien residuos del material de cantera. En algunos casos, es posible emplear para sub-base el mismo material de la sub rasante mezclado con granzón, cemento, etcétera; es decir, estabilizándolo.

El material ha de tener las características de un suelo A-1 o A-2 aproximadamente, de acuerdo a la Clasificación de la AASHTO. Su limite liquido debe ser inferior a 40 y su índice plástico no mayor de 10. El CBR, (valor soporte) no podrá bajar de 20 % (dependiendo del espesor de Base).

Si la fundación principal de la sub-base fuera a servir de capa de drenaje al pavimento, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino, (limo y arcilla) que pase el tamiz numero 200, no ha de ser mayor del 10%.

4.3 Bases

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos trasmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y a través de esta, al terreno de fundación.

Las bases pueden ser granulares, de grava o piedra trituradas o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

El material pétreo que se emplee en la base granular, deberá llenar los siguientes requisitos:

- a) Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- b) No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- c) El porcentaje de desgaste o abrasión, según el ensayo "Los Ángeles", debe ser inferior a 50.
- d) La fracción del material que pase el tamiz No.40, ha de tener un límite líquido menor de 25 % y un índice de plasticidad inferior a 6.
- e) La fracción que pasa el tamiz No.200, no deberá exceder de $\frac{1}{2}$, y en ningún caso de los $\frac{2}{3}$, de la fracción que pase el tamiz No.40.
- f) La graduación debe ser controlada y estar dentro de límites especificados.
- g) El CBR tiene que ser superior a 80%.

La capa de Base debe compactarse al 100 % de la densidad máxima y, si el pavimento (capa de rodadura) es asfáltico, se le colocará un riego de Imprimación.

Existen los siguientes tipos de bases utilizadas según las necesidades del pavimento:

4.3.1 Base de piedra triturada granulada: Los requerimientos más importantes para éstas son la estabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia a la penetración del agua y propiedades capilares para reemplazar la humedad perdida por evaporación superficial.

Las bases granuladas deben ser de mejor calidad que los suelos inferiores de cemento. Las especificaciones típicas a utilizar son las de AASHTO, tanto para los requerimientos granulométricos, la resistencia y la solidez, como para las provisiones que cubren las características de plasticidad; no obstante, otras agencias tienen diversas especificaciones añadidas, como lo son: la relación de resistencia de California (CBR), el ensayo de “equivalente de arena”, etc.

Los problemas que deben satisfacerse para producir bases a partir de materiales no tratados, son los mismos que los que se encuentran para producir capas superficiales, si se desea un control exacto, puede especificarse el triturado, la separación en varios tamaños, las proporciones en peso, la recombinación, junto con una cantidad controlada de agua.

El espesor de las bases se controla por medio de la naturaleza del subrasante que se encuentra por debajo, y sobre el cual distribuye las cargas de las ruedas entregadas desde arriba. Existen varios métodos de diseño, pero comúnmente, los espesores mínimos varían de 10.16 a 15.24 cm. A veces las consideraciones especiales

tales como la acción del hielo pueden controlar la profundidad de las bases.

4.3.2 Bases tratadas con material bituminoso: Los materiales bituminosos han sido empleados con éxito para estabilizar tierras y arenas y para impermeabilizar materiales granulados similares a las bases no tratadas, pero con más materiales plásticos finos.

El término “material bituminoso” es usualmente aplicado al producto resultante de la impermeabilización por medio de agregados bituminosos. Como regla, los agregados cohesivos tienen capacidad de carga satisfactoria a bajo contenido de humedad, pero la pierden cuando ésta aumenta. Al incorporar un agente impermeabilizante bituminoso al material, es posible mantener una condición de baja humedad y una capacidad de carga adecuada en la base. En otras palabras, estos límites significan que las bases de tierra y betún pueden ser construidas satisfactoriamente, utilizando combinaciones de agregados con granulometrías que se encuentran en los cimientos estabilizados y las combinaciones de arenas finas y arcillas.

Las bases de tierra y betún usualmente se tienden en espesores de 10.16 a 20.32 cm. El tratamiento puede hacerse ya sea en el camino con conformadoras de lámina o por medio de mezcladoras móviles o en una planta fija. Los agregados pueden consistir en las tierras naturales de la plantilla del camino, con o sin mezclas granuladas, o pueden ser importados de alguna fuente local diferente. El betún y el agua se añaden separadamente.

La superficie de una mezcla de tierra y betún es generalmente desmenuzable y, bajo es tránsito se raspará y quedará poco uniforme. A veces pueden formarse baches. Las mezclas no protegidas se reblandecerán si el agua permanece sobre la superficie. Por estas razones debe proporcionarse una superficie hermética al agua y resistente a la abrasión.

4.3.3 Bases de arena y betún: estas consisten en arena suelta procedente de playas, dunas, minas o ríos, cementada con materiales bituminosos.

Las arenas, para ser adecuadas para bases de arena y betún, deben ser relativamente limpias. La granulometría no es crítica pero las arenas deben ser estables, es decir, las propiedades superficiales y la forma de los granos deben ser tales que resistan el desplazamiento bajo carga. Si la arena no es satisfactoria, puede ser mezclada con partículas de forma angulosa, tales como agregados triturados, tamizados de piedra o escorias, polvo de piedra marga u otro mineral esencialmente no cohesivo para producir una mezcla estable.

Los materiales bituminosos de liga comúnmente usados son de viscosidad media, curado rápido o de curado medio, asfaltos emulsionados de fraguado lento o alquitranes. El porcentaje del ligador, en peso, varía de 4 a 10 para asfaltos rebajados y alquitranes, y de 5 a 10 para asfaltos emulsionados.

Las superficies de arena y bituminosas deben protegerse contra la acción abrasiva del tránsito. Esto se logra frecuentemente

aplicando una capa selladora de aglutinante bituminoso, cubierta con arena gruesa o piedra o pedazos de escoria.

4.3.4 Bases de suelo – cemento: Estas bases, protegidas mediante un tratamiento superficial bituminoso, sirven como pavimentos para caminos o calles de poco tránsito. Para arterias principales, las mezclas de tierra y cemento pueden reemplazar la base usual como soporte para una mezcla asfáltica realizada en la planta o para pavimento de cemento Portland.

El suelo de cemento es una mezcla íntima de tierra y cemento Portland, compactado al contenido óptimo de humedad y curada para hidratar el cemento. Forma una capa de asiento fuerte y estable que tiene poca susceptibilidad a los cambios de la temperatura o a la humedad. Es considerablemente más elástico que el concreto a base de cemento Portland.

El cemento afecta a los suelos de dos formas; primero, por acción química superficial reduce la afinidad a la humedad de las arcillas. Segundo, activa la cementación, de ahí que produzca un armazón semirrígido de material del suelo.

La superficie de una base de tierra y cemento es deleznable, por lo tanto, debe protegerse contra la intemperie y contra el contacto directo con las llantas de los vehículos motorizados, pues de otro modo se raspará y se socavará. Un tratamiento superficial bituminoso ofrece protección suficiente para bajos volúmenes de tránsito ligero. De otro modo, la función de la mezcla de tierra y

cemento es la de una base cubierta por medio de un pavimento adecuado.

4.4 Riego de Imprimación

Es la aplicación de un asfalto líquido, por medio de riego a presión, sobre la superficie de la sub-base o sobre la base y hombros de una carretera, para protegerla, impermeabilizarla, unir entre sí las partículas minerales existentes en la superficie y endurecer la misma, favoreciendo la adherencia entre la superficie imprimada y la capa inmediata superior.

Este trabajo consiste en la delimitación y preparación de la superficie a imprimir, barriéndola y humedeciéndola previamente; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento cuando sea requerido de acuerdo con el tipo de asfalto líquido utilizado, y su riego por medio de tanque distribuidor a presión; el control de tránsito, protección y señalización del área imprimada; el suministro, transporte, esparcimiento y distribución del material secante; el mantenimiento de la superficie imprimada y el barrido del exceso de material secante, previo al riego o a la colocación de la capa inmediata superior que corresponda. Todo de conformidad con lo indicado en los planos, alineamientos horizontal y vertical, y secciones típicas, dentro de las tolerancias establecidas y de conformidad con las Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales.

4.5 Riegos de liga

Es la aplicación de una emulsión asfáltica diluida por medio de riego a presión, sobre una superficie bituminosa existente, la cual debe ser

cubierta con la capa de material asfáltico inmediato superior. Este riego tiene por objeto mejorar las condiciones de adherencia entre las dos superficies y prevenir deslizamientos.

Este trabajo consiste en la delimitación, limpieza y preparación de la superficie existente a ligar, que puede ser una superficie imprimada con anterioridad, una superficie asfáltica que ha sido abierta al tráfico o una superficie de concreto de cemento hidráulico; barriéndola y lavándola, si es necesario, previamente; el suministro, transporte, almacenamiento, adición de agua, calentamiento y esparcimiento, por medio de tanque distribuidor a presión, de la emulsión asfáltica diluida; el control de tránsito, protección y señalización del área a tratar.

4.6 Tratamientos superficiales asfálticos

Un Tratamiento Superficial Asfáltico es una capa de revestimiento formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados de tamaño uniforme esparcidos uniformemente que, mediante el proceso de compactación, son acomodados y orientados en su posición más densa. Esta capa está destinada principalmente a recibir directamente la acción del tránsito proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

En los caminos con volúmenes de tráfico relativamente bajos, los cimientos esenciales protegidos por tratamientos superficiales, proporcionan un pavimento permanente y relativamente barato que resuelve los problemas de control de polvo, formación de ondulaciones y pérdida de materiales de revestimiento, creados por la acción abrasiva de

las llantas de los vehículos. Para las carreteras que llevan tránsito pesado, los tratamientos superficiales pueden servir sólo temporalmente, debido a que carecen de la resistencia de los pavimentos más costosos.

Este trabajo consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos, la trituración de piedra o grava y lavado para formar los agregados clasificados, su apilamiento y almacenamiento, la preparación y delimitación de la superficie a tratar; el suministro, acarreo y distribución uniforme superficial del material asfáltico y agregados pétreos, la compactación; la regulación del tránsito y los controles de laboratorio durante todo el proceso de construcción de una o varias capas de tratamiento asfáltico superficial, sobre la base previamente preparada, de conformidad con lo indicado en los planos y ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical, y secciones típicas de pavimentación, dentro de las tolerancias estipuladas, y de conformidad con las Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales del Libro Azul de Caminos.

Los tratamientos superficiales aplicados en dos o más capas se denominan “revestimientos de protección” o “tratamientos superficiales dobles (o triples)” según la cantidad de riegos y capas de agregados con que se construyan.

5. MEZLCAS

Las mezclas en los pavimentos se pueden dividir en dos tipos principales: las mezclas en planta y las mezclas en sitio.

La mezcla en planta es la mezcla de árido y asfalto en una planta central generalmente de alto rendimiento.

Existen mezclas en planta en frío y en caliente. En las mezclas en frío se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado. Salvo indicación se emplearán asfaltos cortados o emulsiones asfálticas que cumplan con lo especificado en el Libro Azul de Caminos.

Las mezclas en caliente son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas y consisten en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165°C).

Los cementos asfálticos típicos son: CA 60-80 y CA 80-100, que deben cumplir con las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes”, edición 2001, de la Dirección General de Caminos y dependiendo del proyecto deberá cumplirse lo especificado en las normas internacionales de ASTM, SIECA, ECAT o AASHTO.

Una mezcla en sitio es una carpeta asfáltica que se confecciona mezclando árido con asfalto líquido en la misma faja del camino, mediante motoniveladora o alguna maquinaria especial que efectúe el trabajo.

Los asfaltos líquidos más adecuados para estas mezclas son: RC-250 clima cálido y medianamente húmedo, MC-250 clima templado y medianamente húmedo Y CSS-1 ó SS-1 clima frío, templado y húmedo.

5.1 Materiales utilizados

5.1.1 Cemento

- Grado corriente 320 Kg. / mt³
- Grado alta resistencia 280 Kg. / mt³

En todo caso, el cemento a ocupar será de grado alta resistencia y deberá cumplir con las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes”, edición 2001, de la Dirección General de Caminos.

5.1.2 Agua para mezcla

El agua para efectuar la mezcla deberá ser limpia, exenta de sustancias perjudiciales y satisfacer los requisitos de algún laboratorio certificado y con las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes”, edición 2001, de la Dirección General de Caminos.

Límites mínimos tolerables de sustancias en el agua:

- Turbidez: 1000 partes por millón. ·
- Materiales orgánicos: 0,05 gramos por litro.
- Acidez 6 a 8.
- Cloruros 2 Kg./m³.
- Sulfatos 1 k/m³.

5.1.3 Árido grueso

Comúnmente llamado grava., sus características son las siguientes:

- El tamaño máximo absoluto será de 40 o 50 mm.
- Desgaste según procedimiento de Los Ángeles, máximo 35 % según método L.N.V. 75.
- Porcentaje que pasa por el tamiz ASTM N° 200, máximo 0.5 % en peso, según L.N.V. 70.
- Porcentaje de partículas chancadas, mínimo 50 % en peso, según método L.N.V. 3.

Si este tamaño máximo aumenta, se puede disminuir la razón agua - cemento, reduciéndose el consumo de cemento. Sin embargo este tamaño máximo tiene un límite, en los pavimentos este límite tienen relación con el espesor de la losa.

5.1.4 Árido fino

- Composición granulométrica según tabla nº 2 de la especificación L.N.V. 70.
- Porcentaje que pasa por el tamiz ASTM Nº 200, será máximo 2 % en peso según L.N.V. nº 70.

Para el agregado fino, es importante determinar su módulo de fineza, que se obtiene del análisis granulométrico. Este nos permite clasificar las arenas, para su uso en las mezclas, en gruesas, finas y semi-finas.

5.1.5 Aditivos

Son sustancias que se emplean en pequeña cantidad, para modificar alguna de las propiedades del pavimento cuando está fresco, o para proporcionar alguna condición especial después de endurecido.

Las propiedades que un aditivo puede modificar, mejorando las características del concreto fresco, son:

- Trabajabilidad (docilidad): Mediante aditivos Plastificantes.
- Fraguado y Resistencia: Mediante aditivos Aceleradores o Retardadores; los aceleradores son apropiados para tiempo frío y en reparaciones; los retardadores en transporte, bombeo e inyección de mortero.
- Retracción de fraguado: Mediante aditivos expansores

Las propiedades que un aditivo proporciona después de endurecido el concreto, son:

- Impermeabilidad: Mediante aditivos Hidrófugos
- Durabilidad: Mediante aditivos dispersores, que tienen por objeto dispersar las partículas de cemento que por lo general se encuentran aglomerados localmente, produciendo una masa más homogénea y de mayor durabilidad.

5.2 Procedimiento de mezclado

La dosificación del pavimento consistirá en combinar en proporciones definidas, los diferentes componentes, de modo de obtener un concreto que cumpla con la resistencia, docilidad, durabilidad y restantes exigencias requeridas en el proyecto.

En todo caso, cualquier estudio de dosificación estará respaldado por ensayos que acrediten una resistencia característica a la flexotracción mínima de 4.6 MPA a los 90 días, u otra que especifique el proyecto, considerando una fracción defectuosa del 20 %.

Los requerimientos básicos en una mezcla son:

1. Cantidad mínima de aglomerante: 340 Kg. /m³.
2. Asentamiento: Según COGUANOR entre 2 y 5 cm.
3. Resistencia: nominal cúbica de 360 Kg. /cm² a los 90 días.
(AASHTO, 2004)

6. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Es un pavimento rígido, de concreto de cemento hidráulico, con o sin refuerzo, que se diseña y construye para resistir las cargas e intensidad del tránsito.

Existen varios tipos de pavimentos rígidos, que pueden dividirse en 1) Pavimentos de Concreto Simple y 2) Pavimentos de Concreto Continuamente Reforzados con barras de acero. Los pavimentos de concreto simple a la vez pueden ser de dos tipos: a) Pavimento de Concreto Simple con juntas sin barras de transferencia, y b) Pavimento de Concreto Simple con juntas con barras de transferencia, ambos con losas de 3 a 6 metros.

6.1 Materiales utilizados

Los materiales para pavimentos de concreto de cemento hidráulico, a menos que lo indiquen de otra forma las Disposiciones Especiales, deben llenar los requisitos siguientes:

a) Cementos hidráulicos: estos cementos deben con una clase de resistencia de 28MPa (4,000 psi) o mayor.

Con la aprobación previa del Ingeniero pueden utilizarse otras clases de cemento.

b) Agregado fino: debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos de 551.04 (b) del Libro Azul de Caminos, con las limitaciones sobre cantidad de finos allí estipuladas, para concreto de pavimentos y para concreto sujeto a desgaste superficial.

El agregado fino debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto.

c) Agregado grueso: debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos en 551.04 (c) del Libro Azul de Caminos, incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

d) Agua: debe llenar los requisitos establecidos en 551.04 (d) del Libro Azul de Caminos.

e) Aditivos: el uso de aditivos para concreto debe ajustarse a lo prescrito en 551.05 del Libro Azul de Caminos.

f) Requisitos para la clase y resistencia del concreto: el concreto de cemento hidráulico para pavimentos, debe ser como mínimo clase 24.5 (3,500) con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24.5 Mpa (3,500 psi) y una resistencia a

la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3.8 Mpa (550 psi), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días. Cuando en los planos y Disposiciones Especiales no se indique la clase, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto, deben usarse los valores que se indican a continuación.

Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5,000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20%, debe usarse un concreto de clase 28 (4,000) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78) promedio mínima de 4.5Mpa (650 psi) o mayor, y llene todos los requisitos de la Tabla 1.

Tabla I. Composición del Concreto de Cemento Hidráulico para Pavimentos

Relación Agua Cemento Máxima	Temperatura del Concreto	Asentamiento AASHTO T 119	Contenido de Aire Mínimo ⁽¹⁾	Tamaños agregados AASHTO M 43	Resistencia a la Compresión AASHTO T-22	Resistencia a la Flexión AASHTO T 97
0.49	20 ± 10 ° C	40 ± 20 mm	4.5 %	551.04 (b) y (c)	28 Mpa (4,000 psi)	4.5 Mpa (650 psi)

⁽¹⁾ Si se usa agregado de tamaño nominal máximo 3/8", el contenido mínimo de aire es de 5%.

Puede utilizarse concreto premezclado de fabricante comercial autorizado que llene los requisitos antes indicados y los estipulados en 551.15 del Libro Azul de Caminos.

g) Requisitos para el acero de refuerzo:

1) Requisitos para el refuerzo en las losas: cuando las Disposiciones Especiales o los planos lo requieran expresamente se usarán losas reforzadas. El refuerzo debe consistir en emparrillado de barras corrugadas de acero de refuerzo, AASHTO M 54 (ASTM A184).

En todo caso el acero de refuerzo debe llenar los requisitos estipulados en la Sección 552 del Libro Azul de Caminos.

2) Barras de sujeción en las juntas: estas deben de consistir en barras corrugadas de acero de lingote grados 300 (40), 400 (60) ó 500 (75), conforme a 552.03 (a) del Libro Azul de Caminos. Las barras de acero grados 400 (60) y 500 (75), no deben usarse como barras de sujeción cuando tengan que ser dobladas o reenderezadas durante la construcción.

3) Barras pasadores o dovelas: las dovelas deben ser redondas y lisas de acuerdo a lo indicado en 552.03 (g) del Libro Azul de Caminos. Deben estar libres de rebabas o deformaciones que restrinjan su deslizamiento en el concreto. Antes de colocarse, las dovelas deben revestirse con una capa delgada de alquitrán o pintura aprobada para metales u otro material que permita el deslizamiento de la barra e impida su oxidación.

El casquete para las dovelas, debe ser de metal o de plástico y del largo suficiente para cubrir por lo menos 60 mm de la dovela, debiendo ser cerrados en el extremo y con un tope para mantener la dovela a la distancia de 25 mm del fondo del casquete. Los casquetes deben ser diseñados para que no se desprendan de las barras durante la construcción.

h) Materiales para juntas: deben llenar los requisitos estipulados en 551.06 del Libro Azul de Caminos.

Según lo indiquen los planos y Disposiciones Especiales, cuando se requiere relleno premoldeado en fajas o tiras, cada faja o tira debe suministrarse en una sola pieza suficiente para rellenar la profundidad y ancho requerido por la junta. Cuando las Disposiciones Especiales autorizan más de una pieza para cada junta, los extremos deben ser rápidamente asegurados estirándolos hasta unirlos, engrapándolos adecuadamente.

i) Materiales para curado: los materiales para curado deben ajustarse a lo estipulado en 551.08 del Libro Azul de Caminos.

6.2 Procedimiento de mezclado

Generalmente el concreto de pavimentación se mezcla en grandes maquinas montadas en orugas, las cuales producen un metro cúbico o mas de concreto por carga. Muchas de estas maquinas son del tipo de tambor sencillo, realizándose en este caso toda la mezcla en un solo cilindro horizontal. Más recientemente, se han desarrollado mezcladoras dobles con dos tambores colocados extremo con extremo. La mezcla

parcial en un tambor sigue por un dispositivo de transporte para el mezclado final en el segundo. Corrientemente, bacheadores triples con tres compartimentos de mezclado pueden también utilizarse, de tal modo que se procesan tres batchadas a la vez.

Un mezclador se coloca haciendo retroceder un camión de carga hacia el cucharón grande en su extremo delantero. Si el cemento se encuentra en sacos distribuidos a lo largo de la trayectoria del mezclador, los trabajadores lo vacían dentro del cucharón mientras el camión está descargando. Después que el camión ha descargado una mezcla y se ha sacado, el cucharón se levanta y el material se desliza dentro de la mezcladora. Al mismo tiempo, una cantidad medida de agua se echa dentro del tambor. Después que el concreto se mezcla durante el tiempo prescrito, se descarga en un cangilón inferior de volteo, el cual se mueve hacia fuera de un aguilón horizontal que reparte su carga uniformemente sobre la infraestructura.

Dentro de límites razonables, la resistencia del concreto aumenta con el tiempo de mezclado, pero en razón decreciente.

6.3 Aplicación

Previamente a la iniciación de los trabajos de construcción de las losas del pavimento de concreto, el ejecutor debe someter a la aprobación del Delegado Residente, el procedimiento, maquinaria, equipo y materiales que utilizará en las operaciones necesarias, y si en forma parcial o total usará concreto premezclado de fabricante comercial autorizado, de acuerdo con las características de los materiales y las especificaciones.

El procedimiento debe determinar: la localización de las plantas de producción de agregados y de mezcla de concreto; la producción, preparación, almacenamiento y suministro de los agregados grueso y fino; la forma de almacenamiento y suministro del cemento hidráulico, el aprovisionamiento de agua; las características de la planta de dosificación y producción de concreto, el uso de aditivos, el tipo de formaletas, los materiales para curado y para juntas, el sistema de colocación y afinado; los resultados de los ensayos de laboratorio, el diseño de mezcla, y la fórmula de dosificación propuestos dentro de los requisitos que establecen las Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales.

Esta información debe presentarla el ejecutor antes de iniciar la producción de mezcla de concreto, con 30 días de anticipación como mínimo, para que el Delegado Residente pueda hacer las verificaciones y rectificaciones que estime convenientes.

La aprobación del procedimiento de construcción a utilizar no exime al ejecutor de su responsabilidad de construir un pavimento de concreto en forma tal, que se ajuste a las Especificaciones Generales, Disposiciones Especiales y planos correspondientes.

6.4 Curado

Inmediatamente después del texturizado y ranurado y tan pronto sea posible sin causar daño a la superficie del concreto, se debe proceder al curado del concreto por alguno de los siguientes métodos:

a) Carpetas o esteras de algodón, lona o brines empapadas con agua: la superficie del concreto debe ser recubierta en su totalidad con esteras. Las esteras deben tener longitudes (o anchos) tales, que salgan por lo menos dos veces el espesor de la losa de concreto. La estera se colocará de forma tal, que la superficie total y ambos bordes de la losa queden completamente recubiertos. Antes de la colocación, se empaparán con agua las esteras. Las esteras se colocarán y se sujetarán con pesos, para que estén en contacto directo con la superficie revestida y se deben mantener mojadas y colocadas durante 72 horas, a menos que se especifique lo contrario en las Disposiciones Especiales.

b) Aplicación de compuestos líquidos formadores de membrana de curado: el Contratista debe aplicar un compuesto líquido de curado con pigmento blanco. Cuando se empleen pavimentadoras de formaleta deslizante, como complemento del equipo mecánico de rociado del tren de pavimentación, deben utilizarse equipos de rociado manual en aquellos tramos irregulares donde no pueda usarse la pavimentadora y para los lados de las losas de pavimento expuestas al remover las formaletas. El compuesto de curado, no debe aplicarse durante tiempo lluvioso.

El compuesto de curado, se aplicará a presión en la proporción de un litro por 3.0 metros cuadrados de pavimento de concreto hidráulico, mediante distribuidores mecánicos. El compuesto de curado tendrá características tales, que la película debe endurecer dentro de los 30 minutos siguientes a la aplicación.

Todo equipo de distribución debe ser del tipo atomizador, equipado con agitador de tanque y una protección contra el viento. Se debe mezclar el compuesto con el pigmento antes de su uso. La mezcla debe agitarse continuamente durante la aplicación por medio de medios mecánicos efectivos.

Se emplearán medios aprobados, para asegurar el curado adecuado de las juntas cortadas con sierra durante por lo menos 72 horas y para evitar la penetración de material extraño en la junta antes de terminar el sellado. Si la película se dañara debido a cualquier causa dentro de las 72 horas del período de curado, el Contratista debe reparar las partes dañadas inmediatamente empleando compuesto adicional.

c) Membranas impermeables: se debe mojar inicialmente la superficie del pavimento con un equipo rociador de agua finamente pulverizada o nebulizador de agua, cubriendo después la superficie total con membranas impermeables, traslapando las mismas por lo menos 500 mm y extendiéndolas más allá de los lados de la losa en por lo menos dos veces el espesor del pavimento. Las membranas deben mantenerse en contacto directo con la superficie del pavimento por medio de pesos u otros medios apropiados. La duración del curado debe ser de por lo menos 72 horas, salvo que se especifique en otra forma en las Disposiciones Especiales. Las membranas impermeables también pueden usarse para cubrir carpetas empapadas con agua a fin de hacer más efectivo el curado.

La falta de suministro de material de cualquier clase que el Contratista haya elegido emplear o la falta de agua para cumplir

adecuadamente el requisito de curado o cualquier otro requisito, dará lugar a la suspensión inmediata de las operaciones de colocación de concreto. No se dejará el concreto expuesto durante más de media hora entre etapas de curado o durante el período de curado.

7. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

7.1 Método de diseño de pavimentos flexibles

MÉTODO AASHTO-PAVIMENTO FLEXIBLE

a) Ecuación de diseño

El modelo de ecuación de diseño está basado en la pérdida del índice de serviciabilidad durante la vida de servicio del pavimento; siendo éste un parámetro que representa las bondades de la superficie de rodadura para circular sobre ella.

La ecuación de diseño es la siguiente:

$$T = \left[\frac{NE + 2.54}{10.06} \right]^{9.36} \times \left[\frac{p_o - p_t}{p_o - 1.5} \right]^K * MR^{2.32} * 10^{-Zr+So}$$

Donde $K = 1/C$

$$C = 0.4 + \left[\frac{9.78}{NE + 2.54} \right]^{5.19}$$

En que:

T = Tránsito, expresado en ejes equivalentes a 8,16 Ton. Para la vida de diseño.

NE = Número Estructural en cm.

$$NE = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot m_3$$

a_i, h_i : Coeficiente estructural y espesor de la capa i del pavimento.

M_i : Coeficiente de drenaje de las capas de base y sub base granulares.

P_o = Índice de servicialidad inicial

P_t = Índice de servicialidad final

MR = Módulo resiliente del suelo de subrasante (Kg./cm²)

FR = Factor de confiabilidad del diseño

$$FR = 10Z_r \cdot S_o$$

Z_r = Coeficiente de Student para el nivel de confiabilidad (R%) adoptado

S_o = Desviación normal del error combinado en la estimación de los parámetros de diseño y modelo de deterioro.

b) Capacidad de soporte suelo de fundación

La capacidad del suelo se mide mediante los ensayos de C.B.R. y Módulo Resiliente, dependiendo de los equipos disponibles.

- C.B.R. (Estático)
- Módulo Resiliente (Dinámico)

c) Relaciones C.B.R. – Módulo de resiliencia

En nuestro país no existe experiencia ni equipos suficientes para determinar el Módulo Resiliente. Ante esta falencia se recurre a las siguientes relaciones con el C.B.R.

Tabla II. Relaciones de Modulo Resiliente – C.B.R.

Módulo Resiliente	Relación
MR (Kg./cm ²)	180 * CBR ^{0,64}
(1) 2 < CBR < 12%	
MR (Kg./Mpa)	17,6 * CBR ^{0,64}
MR (Kg./cm ²)	225 * CBR ^{0,55}
(2) 12 < CBR < 80%	
MR (Mpa)	22,1 * CRB ^{0,55}

Ref. **Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes**

d) Coeficientes estructurales (ai)

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural “ai”. Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Estos Coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales y otras condiciones para generalizar la aplicación del método.

Tabla III Valor del Coeficiente Estructural Capa de Rodadura-Concreto Asfáltico

Estabilidad MARSHALL	Coeficiente Estructural (a1)
5000	0,33
6000	0,36
7000	0,39
8000	0,41
9000	0,43
10000	0,45

Tabla IV. Valor del Coeficiente Estructural para Bases Tratadas Bases Bituminosas

Estabilidad MARSHALL	Coeficiente Estructural (a1)
1000	0,12
2000	0,17
3000	0,20
4000	0,22
5000	0,25
6000	0,27
7000	0,29
8000	0,31

Tabla V. Valor del Coeficiente Estructural para Base Granular Chancada

Valor C.B.R. (%)	a2
40	0,11
50	0,12
60	0,12
70	0,13
80	0,13
90	0,14
100	0,14

Tabla VI. Valor del Coeficiente Estructural para Sub base Granular

Valor C.B.R. (%)	A3
10	0,08
20	0,09
30	0,11
40	0,12
50	0,12
60	0,13

e) Coeficiente de drenaje (mi)

Este coeficiente se determina en base a las siguientes condiciones:

Tabla VII. Relación de drenaje – tiempo de saturación del pavimento.

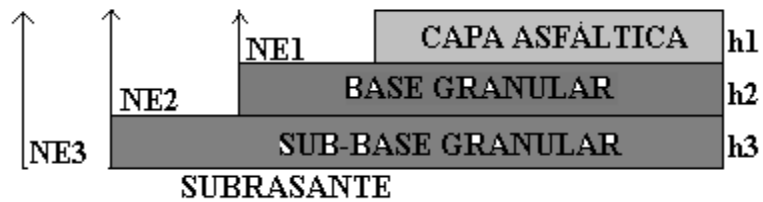
Drenaje		Agua eliminada en			
Excelente		2 horas			
Bueno		1 día			
Regular		1 semana			
Pobre		1 mes			
Malo		(el agua no drena)			
Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación				
	1%	1ª 5%	5 a 25%	25%	
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20	
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00	
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80	
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60	

Una vez calculado el Número Estructural, el siguiente paso es definir las diferentes capas de la estructura del pavimento, las que de acuerdo a sus características estructurales satisfagan el N.E. definido.

La estructuración no tiene una solución única, se pueden establecer variadas combinaciones de capas que satisfacen la ecuación del N.E.

En la elección de las capas se deben considerar los materiales disponibles y su costo.

Figura 1. Determinación de Espesores de Capa en un Pavimento Asfáltico



f) Condición de diseño

$$h1 > NE / a1$$

$$SN1 = a1 \cdot h1 \text{ ----- } SN1 > NE1$$

$$h2 (NE2 - SN) / a2 \cdot m2$$

$$SN2 = SN1 + a2 \cdot h2 \cdot m2 \text{ ----- } SN2 > NE2$$

$$h3 (NE3 - SN2) / a3 \cdot m3$$

Nota:

- NE = Número Estructural Requerido
- SN = Número Estructural Efectivo
- h = Espesores Adoptados (cms) (AASHTO, 2005)

7.2 Método de diseño de pavimento rígido

METODO AASHTO PAVIMENTOS RIGIDOS

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en losas de concreto simple o armado, apoyadas directamente sobre una base o sub-base.

a) Modelo matemático

La fórmula general de diseño, relaciona el número de ejes equivalentes de 8,16 Ton con el espesor de la losa de concreto, para diferentes valores de los parámetros de cálculo.

b) Ecuación de diseño

$$T_d = \left[\frac{H + 2.54}{2.588} \right]^{7.35} * 10^\alpha * \beta^{(4.22 - 0.32Rf)}$$

$$\alpha = \frac{\log\left(\frac{\Delta P}{3}\right)}{\left[1 + \left(\frac{18.078}{H + 2.54}\right)\right]^{8.45}}$$

$$\beta = \left(\frac{Rd * Cd}{15.185 * J}\right) * \left[\frac{H^{0.75} - 2.278}{H^{0.75} - 46.79 * \left(\frac{Kd}{E}\right)^{0.25}} \right]$$

En que:

EE = Ejes equivalentes de 8.16 Ton. totales para la vida de diseño.

H = Espesor de las losas en cm.

Rd = Resistencia media a la flexotracción a los 28 días del concreto.

Cd = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

Kd = Módulo de reacción de diseño en Kg./cm³.

E = Módulo de elasticidad del concreto en Kg./cm².

P = Pérdida de serviciabilidad = Pi - Pf

Pi = Índice de serviciabilidad inicial. Normalmente el valor Pi = 4.5

Pf = Índice de serviciabilidad final. Normalmente Pf = 2.0 ó 2.5

c) Confiabilidad en el diseño (r)

La confiabilidad (R) puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada.

d) Factor de confiabilidad (fc)

Cada valor de R está asociado estadísticamente a un valor del coeficiente de STUDENT (Zr). A su vez, Zr determina, en conjunto con el factor "So", un factor de confiabilidad (Fc).

$$F_c = 10^{(-Z_r * S_o)}$$

Donde:

Zr = Coeficiente de Student para el nivel de confiabilidad (R%) adoptado.

So = Desviación normal del error combinado en la estimación de los parámetros de diseño y modelo de deterioro.

e) Tránsito de diseño (td)

El tránsito de diseño se obtiene a partir de la ponderación de los ejes equivalentes de diseño (TTE) por el factor de confiabilidad (Fc).

$$Td = TTE * Fc$$

f) Modulo de reacción de diseño

Un factor de relativa importancia en el diseño de espesores de un pavimento de concreto es la calidad del suelo que conforma la subrasante.

Esta, usualmente se refiere al módulo de reacción de la subrasante k, que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm. de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el Kg./cm²/cm. (Kg./cm³).

Debido a que el ensayo correspondiente (Norma AASHTO T222-78) es lento y caro de realizar, habitualmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayos más rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos o el ensayo CBR.

Sub-rasante

$$K = 0.25 * \log(C.B.R.) \text{-----} (\text{Kg. /cm}^3) \text{ C.B.R. } < 10 \%$$

Sub-base granular

$$K = 4.51 * \log(C.B.R.) \text{-----} (\text{Kg. /cm}^3) \text{ C.B.R. } > 10 \%$$

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 * \left(\frac{K_b}{K} \right)^{2/3} \right]^{1/2} * K$$

- K_c = Módulo de reacción corregido.
- K_b = Módulo de la base.
- h = Espesor de la sub-base.

Sub-base rígida (base tratada)

$$m = \frac{15 * K}{E}$$

Donde:

$$K_c = \left[\frac{(1 - m)}{\left(1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 * \left(\frac{1}{m} \right)^{2/3} \right)^{1/2}} \right] * m$$

Por último:

$$K_c = \frac{K}{F_w}$$

Las características de drenabilidad se expresan a través de un coeficiente de drenaje de la sub-base (C_d), cuyo valor depende del tiempo en que ésta se encuentra expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación y del tiempo en que drena el agua. El primer factor indicado depende, a su vez, del nivel de precipitación de la zona, altura de la rasante, bombeo o inclinación transversal, sistema de saneamiento superficial, etc. El segundo factor depende de la

calidad de los materiales de sub-base, existencia de drenaje y propiedades de permeabilidad de la subrasante.

g) Coeficiente de transferencia de cargas (J)

La capacidad de carga representa la capacidad de un pavimento de concreto de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales.

La eficiencia de la transferencia de carga depende de múltiples factores y tiende a disminuir durante la edad con las repeticiones de carga.

Dentro de los factores más importantes de eficiencia se pueden mencionar los siguientes:

- Existencia de dispositivos especiales de transferencia de cargas. Esto es, barras de traspaso o zapatas de juntas.
- Interacción de las caras de junta transversal. Para el caso de no existir dispositivos especiales puede existir transferencia por roce entre las caras de la junta. Su eficiencia depende básicamente de la abertura de la junta y de la angulosidad de los agregados.

La abertura de la junta transversal depende principalmente del largo de los paños, la temperatura ambiente en la cual se ejecutó el pavimento y las variaciones periódicas de la misma. (AASHTO, 2005)

8. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

Los pavimentos se proyectan, diseñan y construyen para prestar servicio, en condiciones adecuadas, un determinado número de años a los cuales se conoce como vida útil de la obra. Ellos pueden quedar parcial o totalmente fuera de servicio si se presentan solicitaciones destructivas y no son tratadas oportunamente.

Entre las solicitaciones que pueden contribuir a la destrucción de los pavimentos se encuentran aquellas debidas al tránsito; a las condiciones del medio ambiente; a un inadecuado comportamiento de las juntas o a fallas en la subrasante.

El tránsito puede causar daños superficiales o estructurales. El medio ambiente, especialmente las condiciones de humedad y temperatura, puede producir expansión y contracción no previstas en el diseño del pavimento, con el consiguiente agrietamiento o rotura del mismo. El agua del manto freático, o de las precipitaciones pluviales, puede provocar zonas de bajo soporte, expulsión del material de subrasante y la consiguiente rotura del pavimento.

Únicamente la evaluación y mantenimiento periódico pueden garantizar un servicio adecuado y permanente del pavimento de concreto. La evaluación determina los daños existentes en el pavimento, así como las causas de origen. El mantenimiento oportuno permite que el pavimento mantenga las condiciones de servicio considerados en el diseño. (ASOCEM, 2003)

8.1 Fallas en Pavimentos de Concreto Hidráulico

8.1.1 Fallas de regularidad y superficie

Se consideran como fallas de regularidad aquellas que corresponden a defectos de forma, originados generalmente por diversas causas durante la construcción y a las que afectan la textura, en nuestro caso con extensión apreciable.

8.1.1.1 Asentamientos

Desviación longitudinal de las superficies del pavimento con relación a su perfil original. Se le considera cuando la deformación es mayor de 25 mm y compromete una longitud mayor de un paño.

a) Causas posibles

- 1) Mala compactación y/o falta de soporte de la subrasante.
- 2) Asentamiento diferencial de la subrasante.
- 3) Cambio volumétrico de la subrasante por modificación de su estado de humedad.
- 4) Eventualmente densificación de rellenos.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es menor que 1.5%.

2) Moderada Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es entre 1.5 a 2.5%.

3) Grave Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es mayor que 2.5%.

c) Extensión

1) Menor: menos del 25% de la longitud de vía del tramo afectado.

2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de vía del tramo afectado.

3) Mayor: más del 50% de la longitud de vía del tramo afectado.

8.1.1.2 Baches

Hoyos en la superficie del pavimento; en este caso sin relación con otras fallas.

a) Causas posibles

1) Deficiente control de calidad de los materiales.

2) Técnica inadecuada en la construcción del pavimento.

3) Mala ejecución de la reparación de roturas del pavimento ocasionadas por servicios públicos.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: hoyo pequeño, que aparenta como si se hubieran extraído un puñado de agregados gruesos al desintegrarse el mortero.
- 2) Moderado: hoyo más grande y profundo, que el anterior.
- 3) Grave: hoyos de más de 15 cm. de ancho y 10 cm. de profundidad.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de vía del tramo afectado.

8.1.1.3 Bombeo

Expulsión o bombeo de agua, o agua con finos, a través de juntas permeables o deterioradas, y eventualmente por grietas formadas en el pavimento.

a) Causas posibles

- 1) Presencia de aguas superficiales que penetran bajo la losa, material de apoyo susceptible de erosionarse y tráfico frecuente de vehículos pesados.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: expulsión del agua, sin finos, a través de las juntas, por acción del tráfico de vehículos pesados.
- 2) Moderado: escasa expulsión de agua con material fino, a través de juntas o fisuras, que puede ser observada en la superficie del pavimento.
- 3) Grave: presencia importante de material bombeado en la superficie del pavimento, a través de juntas o grietas.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de las juntas y grietas son afectadas.
- 2) Intermedia: menos del 50% de las juntas o grietas son afectadas.
- 3) Mayor: más del 50% de las juntas o grietas resultan afectadas.

8.1.1.4 Escalonamiento de las losas

Desplazamiento vertical diferencial de losas adyacentes, en juntas o grietas.

a) Causas posibles

- 1) Falta de capacidad de soporte de la subrasante.
- 2) Deformación de la subrasante por cambios de humedad.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de 3 mm a 6 mm
- 2) Moderado: de 6 mm a 13 mm
- 3) Grave: más de 13 mm

c) Extensión

- 1) Menor: se constata una o dos fallas en un área determinada.
- 2) Intermedia: se constata dos a cuatro fallas continuas
- 3) Mayor: se constata más de cuatro fallas contiguas

8.1.1.5 Fisuras ligeras, de aparición temprana

Fisuras delgadas, que afectan únicamente la superficie de la losa, de longitud de 20 a 100 cm., en la mayoría de las veces paralelas entre sí y eventualmente con 45° de orientación, con respecto al eje.

a) Causas posibles

Contracción plástica del concreto, que aparece antes de la fragua final, por secado prematuro.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: fisuras claramente visibles, bordes sin descascarar.

- 2) Moderada: fisura claramente visible con algunas zonas descascaradas.
- 3) Grave: agrietamiento y descascaramiento.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de vía del tramo afectado.

8.1.1.6 Superficie pulimentada

La superficie del pavimento parece pulida, sin la textura superficial original, haciéndolo resbaladizo.

a) Causas posibles

- 1) Mala calidad de los agregados.
- 2) Acción del tráfico sobre los agregados.
- 3) Acabado inadecuado.
- 4) Contaminación de la superficie.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Menor: fácilmente perceptible.
- 2) Intermedia: el área pulimentada tiene un acabado mate.
- 3) Grave: apariencia de espejo

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de vía del tramo afectado.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de vía del tramo afectado.

8.1.2 Deficiencias o fallas en juntas

8.1.2.1 Desplazamiento

Cuando la línea de la junta transversal se ha desplazado de su posición original, respecto de la adyacente al otro lado de la junta longitudinal.

a) Causas posibles

- 1) Contracción o expansión diferencial de las losas, originalmente alineadas, cuando la junta longitudinal que las separa no lleva pasajuntas.
- 2) Deslizamiento de la losa del paño de un canal por efecto de fuerzas laterales.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: menos de 12 mm. fuera de línea.
- 2) Moderada: de 12 a 25 mm. fuera de línea.
- 3) Severa: más de 25 mm. fuera de línea.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de juntas afectadas en un tramo.
- 2) Intermedia: de 25% a 50 % de juntas afectadas en un tramo.
- 3) Mayor: más del 50% de juntas afectadas en un tramo.

8.1.2.2 Pérdida del material de sello

Se presenta en las juntas transversales o longitudinales cuando el material de relleno de la junta ha sido comprimido y expulsado fuera de ella.

a) Causas posibles

Movimiento relativo excesivo entre losas aledañas y poca consistencia del material de sello.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: sello suelto y expulsado fuera de la junta en una longitud menor de 50 cm.
- 2) Moderada: sello suelto y expulsado fuera de la junta en una longitud de 50 cm. a 200 cm.
- 3) Severa: sello suelto y expulsado fuera de la junta en una longitud mayor de 200 cm.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de juntas afectadas en un tramo.

- 2) Intermedia: de 25% a 50 % de juntas afectadas en un tramo
- 3) Mayor: más del 50% de juntas afectadas en un tramo.

8.1.2.3 Pérdida de adherencia concreto/sello

Se presenta en las juntas transversales o longitudinales cuando el material de sello de la junta se ha separado de la(s) cara(s) del canal de la junta.

a) Causas posibles

- 1) Falta de viscosidad del material de relleno en el momento de su colocación.
- 2) Falta de rugosidad en las caras de las juntas de construcción.
- 3) Falta de limpieza de las caras de las juntas al momento del sellado.

b) Severidad – Apariencia

- 1) Ligera: separación concreto/sello en menos del 25% de la longitud de la junta.
- 2) Moderada: separación concreto/sello del 25% al 50% de la longitud de la junta.
- 3) Severa: separación concreto/sello en mas del 50% de la longitud de la junta.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% % de juntas afectadas en un tramo.
- 2) Intermedia: de 25% a 50 % % de juntas afectadas en un tramo.
- 3) Mayor: más del 50% % de juntas afectadas en un tramo.

8.1.2.4 Falta de cohesión en el material de sello

Se presenta en las juntas transversales o longitudinales cuando el material de sello de la junta se abre en una grieta paralela a la junta.

a) Causas posibles

Cambio en el comportamiento geológico del material de relleno, que se torna frágil y quebradizo.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: sello resquebrajado en menos del 25% de la longitud de la junta.
- 2) Moderada: sello resquebrajado del 25% al 50% de la longitud de la junta.
- 3) Severa: sello resquebrajado en más del 50% de la longitud de la junta.

c) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% % de juntas afectadas en un tramo.

2) Intermedia: de 25% a 50% % de juntas afectadas en un tramo.

3) Mayor: más de 50% % de juntas afectadas en un tramo.

8.1.2.5 Extrusión del material de sello

Se presenta en las juntas transversales cuando el material de sello de la junta ha sido extruido y luego extendido por el tráfico.

a) Causas posibles

1) incremento severo de temperatura, que provoca movimientos en las losas y ablandamiento del ligante.

2) Colocación del material de sello en cantidades excesivas a lo largo de las juntas.

b) Severidad - Apariencia

1) Ligera: sello sobresalido y aplanado sobre la junta en un sobreancho menor de 10 mm.

2) Moderada Sello sobresalido y aplanado sobre la junta en un sobreancho de 10 mm. a 20 mm.

3) Severa Sello sobresalido y aplanado sobre la junta en un sobreancho mayor de 20 mm.

c) Extensión

1) Menor: menos del 25% de juntas afectadas en un tramo.

- 2) Intermedia: de 25% a 50% de juntas afectadas en un tramo.
- 3) Mayor: más del 50% de juntas afectadas en un tramo.

8.1.2.6 Sello contaminado con material extraño

Se presenta por lo general en las juntas transversales, cuando el material de sello de la junta por su blandura y/o escasez ha permitido la intrusión de materiales diferentes e incompresibles.

a) Causas posibles

- 1) Blandura del material de sello y presencia de elementos extraños en la vía, y falta de limpieza.
- 2) Contracción excesiva de los paños que provoca el hundimiento o separación del relleno en la junta y facilita la consiguiente introducción de elementos extraños.

b) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera algunas partículas, cuyo tamaño no sobrepasa la mitad del ancho de la junta, están embutidas en el sello.
- 2) Moderada: algunas partículas, cuyo tamaño no sobrepasa los 3/4 del ancho de la junta, están embutidas en el sello.

3) Severa Muchas partículas, cuyo tamaño pueden sobrepasar los 3/4 del ancho de la junta, están embutidas en el sello.

c) Extensión

1) Menor: menos del 25% de juntas afectadas en un tramo.

2) Intermedia: de 25% a 50% de juntas afectadas en un tramo.

3) Mayor: más del 50% de juntas afectadas en un tramo.

8.1.3 Grietas y agrietamientos

El agrietamiento es definido como una separación de las losas de un pavimento en dos o más partes debido a las grietas.

Las grietas pueden definirse por su origen, su orientación respecto del eje de la vía, su ubicación dentro de la losa y su forma.

Al tamaño de su abertura y a la cantidad de grietas por unidad de área se les denomina severidad y extensión, respectivamente.

8.1.3.1 Grietas Longitudinales

Son aquellas que siguen un curso aproximadamente paralelo a la línea central del pavimento. Pueden deberse a anchos de vía excesivos omisión o mala ejecución de la(s)

junta(s) longitudinal(es), contracción lateral, o inadecuada capacidad soporte de las capas inferiores.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera De menos de 1 mm a 10 mm de ancho.
- 2) Moderada De 11 mm a 25 mm de ancho.
- 3) Severa De más de 25 mm de ancho con astillamiento y/o desnivel.

b) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de vía afectada.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de vía afectada.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de vía afectada.

8.1.3.2 Grietas Transversales

Son aquellas que siguen un curso aproximadamente en ángulo con la línea central del pavimento. Pueden deberse a largos de paño excesivos (omisión o mala ejecución de las juntas transversales), bajo soporte de la sub-rasante o cargas excesivas. Normalmente están asociadas con el espaciamiento entre juntas, en cuyo caso se desarrollan en la parte media de la losa.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de menos de 1 mm a 10 mm de ancho, sin astillamiento o desnivel, hasta un muy ligero astillamiento o desnivel.
- 2) Moderada: grietas simples o múltiples de 11 mm a 25 mm de ancho con ligero a notorio astillamiento o desnivel.
- 3) Severa: grietas simples o múltiples de más de 25 mm de ancho con astillamiento, desnivel y detritos atrapados en ellas.

b) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% del ancho de vía afectada.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% del ancho de vía afectada.
- 3) Mayor: más del 50% del ancho de vía afectada.

8.1.3.3 Grietas Diagonales

Son aquellas que siguen un curso aproximadamente diagonal a la línea central de la vía. Pueden deberse a falta de soporte de la sub-rasante o calidades diferentes de sub-rasantes.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de menos de 1 mm a 10 mm de ancho.
- 2) Moderada: de 11 mm a 25 mm de ancho.

3) Severa: de más de 25 mm de ancho con astillamiento y/o desnivel.

b) Extensión

1) Menor: menos del 25% de paños afectados.

2) Intermedia: de 25% a 50% de paños afectados.

3) Mayor: más del 50% de paños afectados.

8.1.3.4 Grietas en Esquina

Son aquellas ubicadas en las esquinas formando un triángulo con un borde o junta longitudinal y una junta o grieta transversal. El tamaño del triángulo así formado es generalmente de 0.3 m. (1 pie) y con pocas excepciones no mayor de 0.60 m. (2 pies).

Pueden deberse a soporte insuficiente de la sub-rasante o la concentración de esfuerzos debidos a movimientos de la losa por acción de la temperatura.

Algunas se extienden en todo el espesor de la losa y otras comienzan en la superficie y progresan en ángulo hacia la junta.

a) Severidad - Apariencia

1) Ligera: de menos de 1 mm a 10 mm de ancho.

2) Moderada: de 11 mm a 25 mm de ancho.

3) Severa: de más de 25 mm de ancho con astillamiento o desnivel.

b) Extensión

- 1) Menor: menos de 25% de paños afectados.
- 2) Intermedia: de 25% a 80% de paños afectados.
- 3) Mayor: más de 80% de paños afectados.

8.1.3.5 Grietas de Borde

Son grietas curvadas que se extienden desde una junta o grieta transversal hasta el borde del pavimento, abarcando generalmente una longitud de 0.50 a 0.75 m. en el arco hacia el interior del pavimento y cubriendo una longitud de 4 a 5 m de extremo a extremo.

Pueden deberse a humedecimiento excesivo en el borde del pavimento sumado a exceso de cargas.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de menos de 1 mm a 10 mm de ancho.
- 2) Moderada: de 10 mm a 25 mm de ancho.
- 3) Severa: de más de 25 mm de ancho con astillamiento

8.1.3.6 Grietas en los extremos de los pasadores

Cercanas al extremo de los pasadores o dowels. Pueden deberse a mala ubicación de los pasadores, a su movimiento durante el proceso constructivo, o a un mal funcionamiento de los casquetes aislantes.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de menos de 1 mm a 10 mm de ancho, sin astillamiento o desnivel, hasta un muy ligero astillamiento o desnivel.
- 2) Moderada: de 11 mm a 25 mm de ancho con ligero a notorio astillamiento o desnivel.
- 3) Severa: de más de 25 mm de ancho con astillamiento, desnivel y detritos atrapados en ellas.

b) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de juntas afectadas por kilómetro.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de juntas afectadas por kilómetro.
- 3) Mayor: más del 50% de juntas afectadas por kilómetro.

8.1.3.7 Grietas Sinuosas

Son grietas que discurren en forma sinuosa como una serpiente a través de la línea del tránsito y generalmente ocurren a partir de una grieta transversal.

Pueden ser debidas a los asentamientos de una subrasante inestable, a problemas de drenaje o por falla de los rellenos en las zanjas de servicios.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: menos de 1 mm de ancho.
- 2) Moderada: de 1 mm a 25 mm de ancho.
- 3) Severa: mayor a 25 mm de ancho con astillamiento o desnivel.

b) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de la vía afectada.
- 2) Intermedia: de 25% a 50% de la longitud de la vía afectada.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de la vía afectada.

8.1.3.8 Grietas Tipo Piel de Cocodrilo

Son grietas interconectadas formando una red de diferentes tamaños, geoméricamente similares a la piel de un cocodrilo. Pueden deberse a fatiga del pavimento.

a) Severidad - Apariencia

- 1) Ligera: de menos de 1 mm hasta 10 mm de ancho sin peladuras.
- 2) Moderada: de 11 mm hasta 25 mm de ancho, con algunas evidencias de peladuras o grietas peladas sobre una cantidad sustancial del área afectada.
- 3) Severa: grietas severamente peladas o descascaradas de más de 26 mm de ancho.

b) Extensión

- 1) Menor: menos del 25% de la longitud de la vía afectada.
- 2) Intermedia: se 25% a 50% de la longitud de la vía afectada.
- 3) Mayor: más del 50% de la longitud de la vía afectada.

8.2 Fallas en Pavimentos de Concreto Asfáltico (Booz et.al, 1999)

8.2.1 Desintegraciones

8.2.1.1 Peladuras

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica debido a pérdida del ligante bituminoso y/o desprendimiento del agregado. Se aumenta la textura del pavimento y expone a los agregados a la acción del clima y el tránsito.

a) Causas posibles

- 1) Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo sus propiedades ligantes.
- 2) Agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes).
- 3) Defectos de construcción.
- 4) Efecto de agentes agresivos (solventes, agua, etc.).

b) Niveles de severidad

1) Bajo: Pequeñas peladuras distribuidas aleatoriamente en la superficie del pavimento. El agregado fino y/o el ligante han empezado a desprenderse en sectores. Cuando hay acción de aceites y solventes, pueden observarse residuos de estos, la superficie se mantiene firme y no puede penetrarse con una moneda.

2) Moderado: Desprendimientos extensivos de agregados pétreos finos y/o ligante. Superficie abierta y rugosa. Bajo la acción de aceites, la superficie se ablanda y puede ser penetrada por una moneda.

3) Severa: Desprendimientos extensivos de agregados pétreos gruesos y finos, textura muy rugosa, cavidades de menos de 15 mm de profundidad. Bajo la acción de aceites, el agregado ha quedado suelto por la pérdida de las propiedades ligantes del asfalto.

8.2.1.2 Exudación de asfalto

Afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento. Forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa. Disminuye la resistencia al deslizamiento.

a) Causas posibles

- 1) Excesivo contenido de asfalto en la mezcla.
- 2) Aplicación de material bituminoso en los sellos.
- 3) Bajo contenido de vacíos, con el calor el asfalto llena los vacíos y aflora a la superficie.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Se hace visible la coloración de la superficie por efecto de pequeñas migraciones de asfalto, aun aisladas
- 2) Moderada: Exceso de asfalto forma una película continua en huellas de canalización del tránsito.
- 3) Severa: Presencia de una cantidad significativa de asfalto libre. Aspecto húmedo del pavimento (mancha negra).

8.2.1.3 Baches descubiertos

Descomposición o desintegración total de la mezcla asfáltica y su remoción en una cierta extensión, formando cavidades de bordes netos. Provocan alto impacto sobre el tránsito y la seguridad. Se llega a esta falla por evolución de otras fallas y carencia de mantenimiento

a) Causas posibles

- 1) Fundaciones y capas inferiores inestables.
- 2) Espesores insuficientes.

- 3) Defectos constructivos.
- 4) Retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.
- 5) Fisuras, piel de cocodrilo, etc. No remediadas a tiempo.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: se presenta una profundidad menor a 25mm y un diámetro promedio menor a 200mm.
- 2) Moderada: se presenta una profundidad entre 25mm y 50mm y un diámetro promedio entre 200mm y 500mm.
- 3) Severa: se presenta una profundidad mayor a los 50mm y un diámetro promedio mayor a 500mm.

c) Medición

- 1) Contando el número de baches según diferentes tipos de niveles.
- 2) Computando los baches en metros cuadrados de superficie afectada según nivel de severidad.

8.2.1.4 Desintegración de bordes

Destrucción progresiva de los bordes del pavimento por acción del tránsito. Común en pistas con bermas no pavimentadas y sin sardinel.

a) Causas posibles

- 1) Acción localizada del tránsito.

- 2) Ausencia de confinamiento lateral.
- 3) Deficiente compactación del borde.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras paralelas al borde. Pequeñas roturas (< 25 mm) desde el borde del pavimento. No hay pérdida de pedazos de pavimento, o se observa muy pocos pedazos faltantes.
- 2) Moderada: Fisuras paralelas al borde de severidad alta, y/o peladuras de cualquier tipo sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos. Roturas entre 25 y 75 mm desde el borde. Los pedazos que faltan le dan al borde del pavimento una apariencia de sierra.
- 3) Severa: Considerable desintegración de los bordes (> 75 mm del borde), con pedazos considerables removidos por el tránsito. El borde tiene una apariencia serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.

8.2.2 Deformaciones

8.2.2.1 Hundimientos

Depresión de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Se localizan en bordes (debido al menor confinamiento lateral) o en cualquier otro lugar de la superficie del pavimento.

a) Causas posibles

- 1) Asentamiento de la fundación.
- 2) Deficiencias en la construcción.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Profundidad máxima de 13 mm a 25 mm.
- 2) Moderada: Profundidad máxima de 26 mm a 50 mm.
- 3) Severa: Profundidad máxima mayor a 50 mm.

8.2.2.2 Corrugaciones y desplazamientos

Distorsiones y ondulaciones de la superficie del pavimento por desplazamientos de la mezcla asfáltica. Levantamientos del material formando cordones. Irregularidades del perfil y serpenteo de la demarcación son signos típicos de estas fallas.

a) Causas posibles

- 1) Acción del tránsito (zonas de aceleración y frenado son afectadas).
- 2) Exceso de asfalto, falta de vacíos.
- 3) Altas temperaturas favorecen el desarrollo de esta falla.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Causa cierta vibración en el vehículo sin llegar a generar discomfort.
- 2) Moderada: Causa una vibración significativa en el vehículo. Cierta incomodidad.

- 3) Severa: Causa vibración excesiva y continua del vehículo. Riesgo a la seguridad y obliga a una reducción de la velocidad.

8.2.2.3 Ahuellamiento

Depresiones continuas longitudinales (> 6 metros) a lo largo de las huellas de los vehículos. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, el origen está en el pavimento, cuando es amplio, el origen está en el suelo y fundación.

a) Causas posibles

- 1) Acción del tránsito.
- 2) Insuficiencia estructural del pavimento.
- 3) Estabilidad deficiente del pavimento fundación.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Profundidad promedio menor a 13mm.
- 2) Moderada: Profundidad promedio entre 13mm y 25mm.
- 3) Severa: Profundidad promedio mayor a 25mm.

8.2.3 Fisuraciones o agrietamientos

8.2.3.1 Fisuramiento longitudinal

Fractura del pavimento paralelo al eje de la vía.

a) Causas posibles

- 1) Acción del tránsito, fatiga del pavimento.
- 2) Proceso constructivo deficiente de las juntas longitudinales (pavimento mixto).
- 3) Contracción de la mezcla asfáltica por endurecimiento del bitumen o reflexión de fisuras causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento.
- 4) Confinamiento lateral deficiente. En ese caso, las fisuras ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 cm. del borde.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras sin sellar, ancho < 10 mm, sin ramificaciones o fisuras selladas de cualquier ancho, sello satisfactorio.
- 2) Moderada: Fisuras sin sellar, ancho entre 10 y 20 mm, fisuras sin sellar, < 20 mm, con ramificaciones o fisuras selladas, de cualquier ancho, con ramificaciones.
- 3) Severa: Fisuras sin sellar de ancho > 20 mm o cualquier fisura con ramificaciones.

8.2.3.2 Fisuramiento transversal

Fractura del pavimento transversal (o casi) al eje de la vía.

a) Causas posibles

- 1) Insuficiente espesor de pavimento y/o falta de sobre ancho de las capas inferiores en los bordes.
- 2) Retracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debida a un exceso de filler, envejecimiento del asfalto, etc.
- 3) Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas (pavimento mixto).

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras sin sellar, ancho < 10 mm, sin ramificaciones o fisuras selladas de cualquier ancho, sello satisfactorio.
- 2) Moderada: Fisuras sin sellar, ancho entre 10 y 20 mm, fisuras sin sellar, < 20 mm, con ramificaciones o fisuras selladas, de cualquier ancho, con ramificaciones.
- 3) Severa: Fisuras sin sellar de ancho > 20 mm o cualquier fisura con ramificaciones.

8.2.3.3 Fisuramiento de borde

Fisuramiento paralelo al borde exterior del pavimento, generalmente dentro de los 300 a 600 mm del borde. La falla es acelerada por el tránsito. El área entre la fisura y el borde del pavimento es considerada desmoronada si hay desprendimiento y rotura de piezas completas.

a) Causas posibles

- 1) Falta de soporte lateral de la berma.
- 2) Drenaje inadecuado.
- 3) Falta de compactación y confinamiento en el borde del pavimento.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Menos de 300 mm del borde del pavimento. Una sola fisura o dos fisuras paralelas.
- 2) Moderada: Fisuras entre 300 y 600 mm del borde del pavimento. Fisuras múltiples con fisuras interconectadas.
- 3) Severa: Se extienden a más de 600 mm del borde del pavimento.

8.2.3.4 Fisuramiento en bloque

Serie de fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de unos 30 x 30 cm. a 3 x3 metros. Esta falla insinúa que el pavimento se ha endurecido u oxidado considerablemente. Difiere de la piel de cocodrilo en que forma piezas más pequeñas con ángulos agudos y se concentra mayormente y únicamente en las áreas sujetas al tráfico vehicular.

a) Causas posibles

- 1) Contracción del concreto asfáltico.
- 2) Ciclos diarios de temperatura.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras únicas, < 10 mm, espaciadas entre si pero interconectadas formando un “mapa”.
- 2) Moderada: Las grietas interconectadas comienzan a desarrollar grietas múltiples, entre 10 y 20 mm.
- 3) Severa: Grietas múltiples interconectadas, > 20 mm.

8.2.3.5 Fisuramiento piel de cocodrilo

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos. Dimensión máxima menor de 0.60 m. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. La fisura se propaga a la superficie. No tiene porque ocurrir en pavimentos mixtos.

a) Causas posibles

- 1) Fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible
- 2) Indicativo de insuficiencia estructural del pavimento.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras muy finas, menores de 1.5 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud. Distorsiones < 13 mm.

2) Moderada: Fisuras finas a moderadas, < 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos. Distorsión de 13 a 25 mm.

3) Severa: Fisuras constituyen una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos. Algunas de estas piezas pueden estar sometidas a movimientos con el tránsito hasta ser removidas. Distorsiones mayores a 25mm.

8.2.3.6 Fisuramiento por reflexión de juntas:

Falla de pavimentos mixtos: superficies asfálticas sobre pavimento rígido con juntas. Son grietas transversales y longitudinales producidas por la reflexión de las juntas del pavimento rígido a la superficie de asfalto.

a) Causas posibles

- 1) Movimiento de las losas de concreto: por razones térmicas, deflexión por las cargas, etc.
- 2) La acción del tránsito puede resultar en peladuras y eventualmente en baches.

b) Niveles de severidad

- 1) Baja: Fisuras sin sellar, ancho promedio < 10mm, sin descascaramiento o fisuras selladas, de cualquier ancho, con sello satisfactorio. No provocan golpeteo cuando se circula en vehículo.
- 2) Moderada: Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 10 y 20 mm, fisuras sin sellar, menor

a 10mm, con evidencia de desportillamiento de los bordes y/o con grietas erráticas leves en sus proximidades y eventuales baches o fisuras selladas de cualquier ancho, sello insatisfactorio. La fisura provoca golpeteos a los vehículos

3) Severa: Cualquier fisura, sellada o no, rodeada por un agrietamiento de la superficie moderado o severo y eventuales baches o fisuras sin sellar de ancho mayor de 20 mm. Las fisuras provocan golpeteo severo a los vehículos.

8.3 Bacheo

Es la reparación de superficies asfálticas de carreteras existentes con la finalidad de mejorar las condiciones de servicio o adecuarlas para los sub-siguientes trabajos de rehabilitación. Esta reparación consiste en el bacheo.

Para el bacheo este trabajo consiste en la excavación de la superficie de la carpeta asfáltica y de las capas inferiores, si fuere necesario, en el área delimitada para el bacheo; el relleno de las capas removidas con el material especificado; la aplicación de un riego de liga y/o de imprimación en el fondo y en las paredes de la excavación efectuada; el suministro, transporte tendido, conformación y compactación de la mezcla asfáltica utilizada para el relleno del bache; el barrido y limpieza de la superficie reparada; y el control del tránsito, la protección y señalización del área en reparación, todo de conformidad con las Disposiciones Especiales y las Especificaciones del Libro Azul de Caminos.

8.3.1 Requisitos para materiales de bacheo

- a) Material de reemplazo para sub-base y/o base: Según el tipo que se especifique en las Disposiciones Especiales, éste deberá cumplir con los requisitos de la(s) Sección(es) correspondiente(s) de la División 300 del Libro Azul de Caminos.
- b) Mezcla asfáltica para bacheo: Según el tipo que se especifique en las Disposiciones Especiales, ésta deberá cumplir con los requisitos de la Sección 401 para Mezclas Asfálticas en Caliente y con los de la Sección 403 para Mezclas Asfálticas en Frío del Libro Azul de Caminos.
- c) Riego de imprimación: Debe estar de acuerdo con lo establecido en la Sección 407 del Libro Azul de Caminos.
- d) Riego asfáltico de liga: Debe estar de acuerdo con lo establecido en la Sección 408 del Libro Azul de Caminos.

8.3.2 Requisitos de construcción

Las áreas de la superficie asfáltica que muestren deformaciones o agrietamientos excesivos, o un grado de deterioro indicativo de deficiencias estructurales localizadas, deben ser reparadas conforme el siguiente procedimiento. Las áreas a ser corregidas deberán ser delimitadas en el campo por el Delegado Residente.

8.3.2.1 Equipo

- a) Equipo para corte: El Contratista debe suministrar sierras motorizadas, un cargador frontal con una cuchilla

especial ó un martillo neumático, todos con capacidad para efectuar los cortes en forma vertical.

b) Equipo de compactación para mezcla asfáltica: El Contratista debe suministrar, según el tamaño del área a reparar, mazos, una plancha vibratoria, una compactadora de rodo manual con un peso de por lo menos 130 kilogramos y/o una compactadora de rodillo metálico.

8.3.2.2 Procedimiento de bacheo

Las áreas deben ser excavadas en forma rectangular con paredes verticales y con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la carretera, debiéndose remover el material asfáltico y, de ser necesario, las capas inferiores de la estructura del pavimento hasta una profundidad que garantice el adecuado comportamiento posterior de la misma. Si durante la reparación, se encuentra que las capas inferiores están saturadas o con un alto grado de humedad, en adición a la corrección del bache, el Delegado Residente debe investigar si la causa es la presencia de agua subterránea y ordenar, en este caso, las medidas correctivas correspondientes.

Previo a la colocación de la mezcla asfáltica se debe aplicar un riego de liga en las paredes verticales de la excavación, de conformidad con lo indicado en la Sección 408 del Libro Azul de Caminos. Se deben reemplazar todas las capas de la estructura utilizando el mismo tipo de materiales existentes o de mejor calidad. Si la base es granular se deberá aplicar un riego de imprimación en el fondo de la excavación, de

conformidad con lo indicado en la Sección 407 del Libro Azul de Caminos. Si la reparación es realizada en toda su profundidad con mezcla asfáltica no será necesario colocar un riego de imprimación en el fondo.

Los baches deben ser rellenados con mezcla asfáltica en caliente o en frío, según lo indicado en las Disposiciones Especiales. La mezcla debe ser colocada en capas con un espesor máximo de 100 milímetros cada una. Cada capa debe ser compactada con el equipo adecuado, según el tamaño del área a bachear, de manera que la mezcla asfáltica alcance la compactación especificada en las Secciones 401 ó 403 del Libro Azul de Caminos, según el tipo de mezcla utilizado.

Al completar las operaciones antes mencionadas, se debe limpiar la superficie utilizando métodos aprobados hasta que ésta quede libre de material suelto, polvo u otras sustancias deletéreas. La limpieza se debe efectuar a todo lo ancho de las pistas de rodadura, retirando de los hombros y cunetas cualquier material sobrante de los trabajos realizados.

8.3.2.3 Medida

- a) Excavación para bacheo: La excavación para bacheo será medida por el número de metros cúbicos, con aproximación de dos decimales, de la excavación ordenada por el Delegado Residente. El volumen debe ser determinado por procedimientos analíticos.

b) Material granular para relleno de baches: El material de sub-base y/o base utilizado en la reposición del material excavado en estas capas será medido por el número de metros cúbicos compactados con aproximación de dos decimales, efectiva y satisfactoriamente colocados, conforme la clase, tipo y dimensiones de acuerdo con las Especificaciones Generales, ordenados por el Delegado Residente. El volumen debe ser determinado por procedimientos analíticos.

c) Mezcla asfáltica para relleno de baches: La mezcla asfáltica para relleno de baches será medida por el número de metros cúbicos, con aproximación de dos decimales, medidos en su posición final ya compactados satisfactoriamente construidos y aceptados, conforme el tipo de mezcla utilizado y las dimensiones ordenadas por el Delegado Residente y de acuerdo con las Especificaciones Generales. El volumen debe ser determinado por procedimientos analíticos.

8.4 Sellado de grietas

Es la reparación de superficies asfálticas de carreteras existentes con la finalidad de mejorar las condiciones de servicio o adecuarlas para los sub-siguientes trabajos de rehabilitación. Esta reparación consiste en el sellado de grietas.

Para el sellado de grietas este trabajo consiste en la delimitación y limpieza de las grietas a sellar; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento, cuando sea requerido de acuerdo con el tipo de material, y

el riego a presión del material bituminoso utilizado; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento en caldera y aplicación del material sellador con su correspondiente respaldo de esponja; y el suministro, transporte y distribución del material secante, todo de conformidad con las Disposiciones Especiales y las Especificaciones Generales del Libro Azul de Caminos.

8.4.1 Requisitos para materiales de sellado de grietas

- a) Sellador para grietas medianas: Debe ser del tipo elástico vertido en caliente y debe cumplir con los requisitos de AASHTO M 173 (ASTM D 1190). Se debe aplicar sobre un respaldo de esponja de polietileno Tipo 1 de acuerdo con lo indicado en ASTM D 3204, del tamaño especificado en los planos o en las Disposiciones Especiales. El respaldo debe ser capaz de soportar la temperatura de aplicación del sellador sin derretirse.
- b) Mezcla asfáltica para sellado de grietas gruesas: La mezcla asfáltica en caliente utilizada será especificada en las Disposiciones Especiales. Deberá de cumplir con los requerimientos de la Sección 401 del Libro Azul de Caminos.
- c) Material secante: El material secante será del tipo especificado en la sección 407.03 (b) del Libro Azul de Caminos.

8.4.2 Requisitos de construcción

El sellado de grietas se hace fundamentalmente para evitar la penetración del agua a las capas subyacentes del pavimento.

Las grietas se clasifican por su ancho, de la siguiente manera:

- Grietas finas con un ancho menor de 6 milímetros
- Grietas medianas con un ancho entre 6 y 20 milímetros
- Grietas gruesas con un ancho mayor de 20 milímetros

8.4.2.1 Equipo

a) Compresor de aire: El Contratista debe suministrar un compresor capaz de proveer aire comprimido a una presión de 830 kilo Pascales y con un volumen de 2.8 metros cúbicos por minuto. Cuando así se especifique en las Disposiciones Especiales, al compresor se le debe adaptar un dispositivo capaz de calentar el aire a una temperatura de 100° C.

b) Contorneadora: El Contratista debe suministrar una contorneadora rotativa mecánica de impacto o una contorneadora de eje vertical capaz de limpiar las grietas en el ancho y hasta la profundidad requerida.

c) Caldera de calentamiento: El Contratista debe suministrar una caldera de doble pared con el espacio entre las paredes exteriores e interiores lleno con aceite u otro medio de transferencia de calor, capaz de ser agitado constantemente. Se debe proveer un termómetro exacto y calibrado que tenga un rango de temperaturas entre 100° a 300° C, en incrementos de 2° C. El termómetro debe ser colocado en una ubicación tal que la temperatura del sellador pueda ser verificada de manera segura. El

Contratista también debe suministrar una pistola para la aplicación del sellador adherido a una manguera precalentada que a la vez esté adherida a la caldera de calentamiento. Los controles de temperatura deben mantener la temperatura del sellador dentro de las tolerancias recomendadas por el fabricante.

d) Espátula rasadora de hule: El Contratista debe suministrar una espátula manual para asegurar que la grieta sea llenada hasta la superficie.

8.4.2.2 Limpieza

Todas las grietas deben ser limpiadas hasta dejarlas libres de todo material suelto, polvo u otras sustancias deletéreas por medio de un barrido, aplicación de aire comprimido u otros métodos aprobados. El material extraño que no pueda ser removido utilizando estos métodos debe ser removido utilizando un cepillo de alambre de acero o una contorneadora.

Cuando se utilice aire comprimido caliente, éste se debe mantener en movimiento para no quemar el pavimento circundante. Este método ayuda a secar las grietas y, si la operación de sellado se hace inmediatamente después de la aplicación del aire caliente, ayuda a que el sellador se adhiera a la superficie de la grieta.

Se debe usar una contorneadora en las grietas con un ancho mayor de 6 milímetros antes de su sellado para proveer un espacio para la colocación del respaldo de esponja y del

sellador, con una profundidad de por lo menos 20 milímetros y para reducir la pérdida potencial del agregado y del asfalto existentes a los lados de la grieta.

8.4.2.3 Grietas finas

Después de efectuada la limpieza en las áreas que el Delegado Residente indique, las grietas finas deben sellarse aplicando material asfáltico a presión con una pistola conectada a un tanque distribuidor. El material asfáltico puede ser cemento asfáltico o emulsión asfáltica. Las emulsiones asfálticas tienen flexibilidad limitada para mantener el sellado de la grieta y su efectividad se puede perder cuando, por el movimiento del tránsito o fuerzas ambientales, la grieta tenga expansión o contracción excesivas, o movimiento vertical. Por tal razón este tipo de reparación puede ser considerado como un sellado temporal.

8.4.2.4 Grietas medianas

Después de efectuar la limpieza se debe asegurar que la grieta esté seca. Se debe instalar un respaldo de esponja antes de colocar el material sellador. Este respaldo debe ser aproximadamente 25% más ancho que el ancho de la grieta para evitar que se resbale hacia abajo o que sea expulsado después de verter el sellador. Éste se deberá introducir dentro de la grieta antes de la aplicación del sellador, según las recomendaciones del fabricante del mismo. Las grietas deben ser selladas con un producto sellador del tipo indicado en la

sección 406.03 (b) del Libro Azul de Caminos, utilizando la pistola de aplicación conectada a la caldera de calentamiento.

El sellador debe ser colocado cuando la temperatura de la superficie del pavimento sea mayor de 4° C. No se debe calentar el sellador a una temperatura mayor que la máxima recomendada por el fabricante. Se debe calentar únicamente la cantidad de sellador que se pueda utilizar en una jornada de trabajo, ya que no se permitirá el recalentamiento del mismo.

El sellador debe ser colocado desde el fondo hacia la parte superior de la grieta para evitar que se formen burbujas de aire que dejen un espacio débil en el sellador. Se debe utilizar una espátula de hule u otro equipo adecuado para forzar el sellador dentro de las grietas y para que la reparación quede nivelada con la superficie del pavimento.

8.4.2.5 Grietas Gruesas

Después de efectuar la limpieza, las grietas deben ser rellenadas con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregado fino. Si existen áreas demasiado agrietadas, éstas deben repararse como un bache de acuerdo con lo indicado en la sección 406.06 del Libro Azul de Caminos. Se debe utilizar una espátula de hule u otro equipo adecuado para forzar la mezcla dentro de las grietas y para que la reparación quede nivelada con la superficie del pavimento.

8.4.3 Medida

a) Sellado de grietas finas: El sellado de grietas será medido por el número de metros lineales medidos sobre la superficie de la carretera, con aproximación de dos decimales, de la longitud de las grietas finas limpiadas y selladas con material bituminoso.

b) Sellado de grietas medianas: El sellado de grietas será medido por el número de metros lineales medidos sobre la superficie de la carretera, con aproximación de dos decimales, de la longitud de las grietas medianas limpiadas y selladas con material sellador y respaldo de esponja.

c) Mezcla asfáltica en caliente para relleno de grietas gruesas: La Mezcla Asfáltica en Caliente para relleno de Grietas Gruesas será medida por el número de metros lineales, con aproximación de dos decimales, de la longitud de las grietas gruesas limpiadas y selladas de acuerdo con las Especificaciones Generales.

9. DRENAJES

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que ésta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento y sobre el comportamiento de los mismos.

El drenaje de agua en los pavimentos, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipan con el tiempo para ocasionar daño a las estructuras de pavimento.

Todo diseño de pavimento presupone que debe haber un drenaje adecuado, como prerrequisito; la necesidad de drenajes transversales para el agua que corre a través del camino es obvia, y tales drenajes son suministrados corrientemente en forma de tuberías y bóvedas. El drenaje longitudinal para facilitar el rápido escurrimiento del agua de las lluvias y prevenir la excesiva acumulación de humedad en la sub-rasante, sub-base y base, es de igual importancia y efectuado por medio de cunetas, las que se revisten cuando es necesario.

La mejor sección transversal o típica, es la que drena el agua de la línea central hacia las orillas del pavimento. Los hombros que escurren de la orilla del pavimento hacia una zanja longitudinal abierta (cuneta) o hacia la orilla del terraplén, son los medios más eficientes y económicos de proveer drenaje superficial. Estos hombros deberán ser contruidos del mismo material usado en la base o de otro material poroso que permita la filtración del agua a través de él.

La sub-rasante, en tangente, deberá ser conformada como una sección coronada, con una pendiente recta a cada lado de la línea central y todas las capas (nivelación, sub-base o base) deberán extenderse hasta la orilla del hombro del material poroso seleccionado, usado para formar el hombro. El material seleccionado deberá protegerse en forma que se impida la erosión. El fondo de las zanjas longitudinales, en esta clase de construcción, deberá estar por lo menos a 20 cm. debajo de la superficie de la sub-rasante. Estas zanjas deberán ser anchas, tener taludes de pendiente mayor, y una pendiente longitudinal definida que permita el escurrimiento del agua.

La sub-rasante deberá ser preparada de manera que permanezca constantemente en una condición tan seca como sea posible, dentro de los límites prácticos. Sobre una capa acuífera permanente, la altura del relleno deberá ser suficiente para prevenir la sobre-saturación de la sub-rasante. En secciones de corte, donde aparece agua en la superficie de la sub-rasante dentro del camino, deberá averiguarse el origen de esta agua, la cual deberá ser eliminada por medio de sub-drenajes. Sin embargo, los sub-drenajes no pueden bajar el nivel de la capa acuífera en suelos impermeables ni pueden tomar el lugar de las zanjas longitudinales abiertas, a lo largo de ambos lados de la carretera.

9.1 Materiales

9.1.1 Alcantarillas de tubos de concreto reforzado

Son los conductos que se construyen por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

a) Concreto de cemento hidráulico: Debe ser de las clases requeridas para los tipos de tubos estipulados en el inciso (c) y se deben fabricar y suministrar de acuerdo a lo indicado en la Sección 551 del Libro Azul de Caminos.

b) Acero de refuerzo: Debe cumplir con los requisitos de la Sección 552 del Libro Azul de Caminos, para las diferentes clases de refuerzo requeridas para los tipos de tubos indicados en el inciso (c).

c) Tubos de concreto reforzado: Deben de cumplir con los requisitos establecidos en AASHTO M 170M (ASTM C 76) debiendo, en las Disposiciones Especiales, indicarse qué clase de tubo debe usarse.

9.1.2 Drenajes horizontales

Son los drenajes, de tubería perforada colocados a presión dentro de los taludes de excavación de la carretera y para drenaje de éstos.

a) Tubería: Los drenajes horizontales deben ser de acero corrugado, de polietileno o de cloruro de polivinilo (PVC) y deben cumplir con los requisitos de las especificaciones AASHTO M 36, AASHTO M 252 ó M 294 y AASHTO M 278, respectivamente y con lo indicado en la sección 605.03 (d) y (e) del Libro Azul de Caminos.

9.1.3 Cunetas Revestidas

Son los canales, situados a ambos lados de la línea central de la carretera, recubiertas de: piedra ligada con mortero, concreto simple fundido en sitio, concreto simple pre-fundido o mezclas asfálticas, que sirven para conducir hacia los drenajes, el agua de lluvia que cae sobre la corona y los taludes.

9.1.3.1 Piedra ligada con mortero

a) Piedra: La piedra para el revestimiento de las cunetas, puede ser canto rodado o material de cantera labrada o no labrada. También se puede usar residuos de pavimento de concreto. La piedra debe ser dura, sana, libre de grietas u otros defectos estructurales que tiendan a reducir su resistencia a la intemperie. Las superficies de las piedras deben estar exentas de tierra, arcilla o cualquier materia extraña, que pueda obstaculizar la perfecta adherencia del mortero. Las piedras pueden ser de cualquier forma, pero una de sus superficies debe ser aproximadamente plana, de un decímetro cuadrado de área y un espesor no menor de 100 milímetros. En caso de usar canto rodado, no debe tener necesariamente alguna de las superficies plana; pero en todo caso el material a usar debe ser aprobado por el Delegado Residente.

b) Mortero: El mortero para la construcción de las cunetas, debe cumplir con los requisitos indicados en la sección 565 del Libro Azul de Caminos.

9.1.3.2 Concreto simple fundido en sitio

El concreto para el revestimiento de las cunetas, debe ser de clase 14 Mpa (2,000 psi) y debe cumplir con los requisitos de 551 del Libro Azul de Caminos.

9.1.3.3 Concreto simple prefundido

a) Planchas: Las planchas para revestimiento de las cunetas, deben ser fabricadas de concreto clase 14 Mpa (2,000 psi) y deben cumplir con los requisitos de 551 del Libro Azul de Caminos.

b) Mortero: El mortero para la unión de las planchas, debe cumplir con los requisitos indicados en 565 del Libro Azul de Caminos.

9.1.3.4 Mezclas asfálticas

La mezcla asfáltica para revestimiento de cunetas, debe consistir en concreto asfáltico en caliente mezclado en planta de acuerdo con la Sección 401 del Libro Azul de Caminos, con el requisito de que se use cemento asfáltico 60-70 ú 85-100 AASHTO M 20 ó AC 10 AASHTO M 226, o bien mezcla en frío

en planta de acuerdo con la Sección 403, pudiendo usar asfalto rebajado MC 70 AASHTO M 82.

9.2 Colocación

9.2.1 Alcantarillas de tubos de concreto reforzado

Antes de colocar los tubos, el Delegado Residente debe comprobar que las zanjas han sido excavadas de acuerdo con los requisitos de la Sección 205 del Libro Azul de Caminos y los lechos o superficies de cimentación conformados y terminados como se indica en los planos. La colocación se debe principiar en el extremo de aguas abajo, con los extremos de campana o ranura en la dirección aguas arriba. Cuando se usen tubos de campana, se debe excavar en la superficie preparada, el espacio para acomodar la campana y para permitir un contacto firme del cuerpo del tubo en toda la superficie de cimentación. Los tubos deben ser encajados de tal manera, que cuando se apoyen en la superficie de fundación, formen un fondo interior liso y uniforme.

Cuando se utilicen tubos circulares con refuerzo elíptico, o tubos elípticos con refuerzo circular, éstos deben ser colocados en tal posición que las marcas del eje vertical hechas en la fábrica, no estén desplazadas más de 5 grados, del plano vertical en dirección del eje longitudinal de la alcantarilla.

En los tubos de 910 mm (36") de diámetro, con refuerzo elíptico, se debe colocar un entranquillado interior horizontal, para

prevenir la formación de grietas durante la colocación y compactación del relleno a los lados del mismo.

Las instalaciones de líneas múltiples de alcantarillas, se deben hacer con la línea central de cada línea individual de las mismas, paralela a las demás. Cuando no se indique otra cosa en los planos, la distancia libre entre dos líneas, debe ser igual a $\frac{1}{2}$ del diámetro y nunca menor de 760 mm (30”).

Las juntas de los tubos de concreto deben ser calafateadas y llenadas con mortero o lechada espesa de cemento hidráulico, o utilizando otros tipos de unión tales como uniones de goma, juntas mecánicas, estopa o compuestos selladores plásticos.

El mortero de cemento hidráulico debe ser una mezcla volumétrica de una parte de cemento y tres partes de arena aprobada, con el agua necesaria para obtener una mezcla seca pero trabajable.

Las juntas se deben mojar completamente antes de hacer la unión con mortero. Antes de colocar la siguiente sección, las mitades inferiores de las campanas o ranuras de cada una, deben ser llenadas con mortero de suficiente espesor para permitir que la superficie interior quede a un mismo nivel. Después que la sección ha sido colocada, el resto de la junta debe ser llenada con mortero, usando suficiente mortero adicional para formar un anillo exterior alrededor de la junta. El interior de la junta debe ser limpiado y alisado. Después del fraguado inicial, el mortero de los anillos exteriores en las juntas debe ser protegido del aire y del sol con una

cubierta de tierra saturada de agua o un brin completamente mojado. Para las juntas con lechada de cemento se deben emplear moldes u otros medios aprobados por el Delegado Residente para retener la lechada vertida o bombeada.

El tubo de la alcantarilla que no se encuentre en su verdadera alineación o que muestre asentamiento excesivo después de haber sido colocado, debe ser quitado y vuelto a colocar correctamente, sin ningún pago adicional.

No se debe efectuar ningún relleno sino hasta que el mortero o lechada de las juntas haya endurecido lo suficiente para que no sea fácilmente dañado.

9.2.2 Drenajes horizontales

Los sitios de ubicación de los drenajes horizontales, deben ser establecidos mediante las observaciones que se ejecuten durante el proceso de construcción de la carretera, según lo ordene el Delegado Residente. Los largos y diámetros de las tuberías, deben ser determinados por observaciones y mediciones necesarias, ejecutadas para cada caso en particular por el Delegado Residente. La forma y procedimientos de colocación, pueden ser por medios manuales o mecánicos, usando la mano de obra y equipo más adecuado y lo indicado en los planos. Simultáneamente con la introducción de la tubería dentro del talud, se debe extraer el material que se va depositando en su interior, para ayudar a la colocación y también para garantizar un buen funcionamiento hidráulico de la misma posteriormente.

Los drenajes horizontales instalados en las terrazas de los taludes de corte deben ser completados antes de efectuar cualquier excavación a más de 12 m por debajo de la elevación de la terraza donde se instalará el drenaje.

Las perforaciones horizontales guía deben ser barrenadas con equipo rotativo capaz de perforar agujeros con un diámetro de 75 a 150 mm y con una longitud de hasta 20 m dentro de la roca o el suelo.

La tubería debe ser instalada empujándola dentro de la perforación con las ranuras o perforaciones en la parte superior o, a opción del Contratista, debe ser instalada insertando la tubería dentro de la varilla de perforación y luego retirando la varilla de manera que el agujero perforado quede entubado en toda su longitud. La operación de entubado del agujero perforado debe ser hecha de tal manera que el entubado forme una tubería continua sin reducciones de diámetro y sin daños de tal magnitud que la eficiencia del drenaje se vea disminuida.

El espacio entre el agujero perforado y la tubería debe ser rellenado firmemente con suelo por una longitud de por lo menos 0.6 m medidos a partir del extremo de salida del agujero. Se debe utilizar tubería sin perforar en los últimos 3 a 6 metros del extremo de salida. El espacio entre el suelo y la tubería sin perforar de los 3 m medidos a partir de la salida debe ser sellado utilizando un material impermeable aprobado. No se debe sellar el espacio entre el suelo y la tubería ranurada.

Los extremos de salida de todos los drenajes horizontales deben ser equipados con los accesorios necesarios para conectarlos con el sistema colector.

Durante las operaciones de perforación, el Contratista debe determinar la elevación en el extremo interior del agujero perforado para el drenaje horizontal. Cuando se utilice agua en las operaciones de la perforación guía, el Contratista será responsable de no dañar cauces de agua superficial ni erosionar el talud.

9.2.3 Cunetas Revestidas

9.2.3.1 Piedra ligada con mortero

Las superficies de las piedras, se deben humedecer antes de colocarlas, para quitar la tierra, arcilla o cualquier materia extraña; deben ser rechazadas las piedras cuyos defectos no se puedan remover por medio de agua y cepillo. Las piedras limpias se deben ir incrustando cuidadosamente sobre la superficie del terreno debidamente preparado, con las superficies planas si las tiene hacia el exterior. La separación entre piedra y piedra no debe ser menor de 30 milímetros ni mayor de 50 milímetros, las cuales deben quedar completamente llenas de mortero.

Las piedras se deben manipular en tal forma, que no golpeen a las ya colocadas para que no alteren su posición.

No se debe permitir rodar o dar vuelta a las piedras sobre la cuneta, ni golpearlas o martillarlas una vez colocadas. Si una piedra se afloja después de que el mortero haya alcanzado el fraguado inicial, se debe remover la piedra y el mortero circundante, y colocarla de nuevo.

El Mortero debe cumplir con lo especificado en la Sección 565 del Libro Azul de Caminos, con la salvedad de que en este caso se refiere a cunetas revestidas y no a estructuras de mampostería de piedra y que no es aplicable lo indicado en el último párrafo relacionado con humedad, aplicación de carga y repello. El mortero colocado en las juntas debe penetrar 13 milímetros debajo de la superficie. Se debe remover el mortero en exceso de la superficie.

Las cunetas se deben mantener húmedas durante 6 horas después de haber sido terminadas. No se debe aplicar ninguna carga exterior sobre las cunetas terminadas, por lo menos durante 2 días después de haber terminado el trabajo.

9.2.3.2 Concreto simple fundido en sitio

La elaboración y colocación del concreto para revestimiento de cunetas, debe cumplir en lo aplicable, con los requisitos indicados en las secciones 551 y 553 del Libro Azul de Caminos. Se debe colocar el concreto, principiando en el extremo de la cuneta a revestir y avanzando en el sentido ascendente de la pendiente de la misma. Se deben dejar juntas de construcción a cada 2 metros, con un espesor de 3 mm. Se

debe tener cuidado en la colocación de la formaleta y al colocar el concreto se deben nivelar bien las superficies para que la cuneta quede con la verdadera forma y dimensiones indicadas en los planos. El espesor mínimo de la cuneta debe ser de 70 milímetros.

9.2.3.3 Concreto simple prefundido

La fabricación de las planchas de concreto para el revestimiento de cunetas, se debe cumplir en lo aplicable, con los requisitos indicados en las Secciones 551 y 553 del Libro Azul de Caminos. Las formas y dimensiones de las planchas deben ser las indicadas en los planos, con un espesor mínimo de 70 milímetros. Las superficies de las planchas, se deben humedecer antes de ser colocadas, e irlas colocando cuidadosamente, sobre la superficie del terreno debidamente preparado. La separación entre plancha y plancha no debe ser menor de 15 ni mayor de 30 milímetros, las cuales deben quedar completamente llenas de mortero. No se debe permitir arrastrar o dar vuelta a las planchas sobre la cuneta, ni golpearlas o martillarlas una vez colocadas. Si una plancha se afloja después de que el mortero haya alcanzado el fraguado inicial, se debe remover la plancha y el mortero circundante y colocarla de nuevo.

El mortero debe cumplir con lo especificado en la Sección 565 del Libro Azul de Caminos.

9.2.3.4 Mezclas asfálticas

La colocación de las mezclas asfáltica para revestimiento de cunetas, debe cumplir, en lo aplicable, con los requisitos indicados en la Sección 401 del Libro Azul de Caminos, para concreto asfáltico en caliente mezclado en planta; y en la Sección 403 del Libro Azul de Caminos para mezcla en frío elaborado en planta. Antes de la colocación de las mezclas, siempre se debe verificar alineamiento, sección y pendiente para que estén de acuerdo con los planos; se debe retirar de las cunetas todo material suelto o extraño que se encuentre sobre la superficie de las mismas y al colocar la mezcla dar la compactación debida.

El espesor mínimo del concreto asfáltico mezclado en caliente debe ser de 30 milímetros y el de mezcla en frío de 40 milímetros.

9.3 Mantenimiento

Esta operación tiene por objeto, conservar en las mejores condiciones posibles, las diferentes estructuras de drenaje existentes para su óptimo funcionamiento.

Este trabajo consiste en la limpieza, reacondicionamiento, reutilización o remoción de las estructuras de drenaje existentes y sus obras anexas de acuerdo con las especificaciones del Libro Azul de Caminos y de conformidad con las ubicaciones indicadas en los planos o las establecidas por el Delegado Residente.

9.3.1 Limpieza de estructuras de drenaje existentes

El Contratista deberá hacer, como mínimo, una limpieza completa de las estructuras de drenaje existentes al inicio de la construcción de la obra y otra al finalizar la misma.

9.3.2 Reacondicionamiento de estructuras de drenaje

Después de la limpieza inicial, el Contratista deberá hacer el reacondicionamiento o reparación de todas aquellas partes de las estructuras que deban ser reacondicionadas, de acuerdo a las características específicas de cada proyecto, según se establezca en las Disposiciones Especiales.

9.3.3 Remoción, limpieza y reutilización de estructuras de drenaje en el proyecto

En el caso de que algunas unidades de la tubería existente puedan ser reutilizadas, dichas partes serán retiradas cuidadosamente, se limpiará todo material de desecho existente tanto en el cuerpo, como en los extremos de las uniones. Las unidades recuperadas una vez limpiadas deberán ser almacenadas para su posterior reutilización.

Las unidades, que a juicio del Delegado Residente, no vayan a ser reutilizadas deben ser apartadas por el Contratista en un lugar apropiado.

La colocación de las unidades recuperadas se hará de conformidad con lo establecido en las secciones correspondientes de la División 600 del Libro Azul de Caminos.

9.3.4 Remoción de estructuras de drenaje existentes

Para su remoción, deben ser quebrados en pedazos de tamaño apropiado, para que puedan ser utilizados en la construcción de rellenos o disponer de ellos como sea autorizado por el Delegado Residente. Cuando se usen en la construcción de rellenos, el tamaño máximo de cualquier fragmento no debe exceder de $\frac{2}{3}$ del espesor de la capa en que se vayan a colocar. En ningún caso el volumen de los fragmentos debe exceder de 28 decímetros cúbicos, debiendo ser apilados en los lugares que hayan sido designados en los planos y/o Disposiciones Especiales, a menos que el Delegado Residente autorice otro lugar.

10. ESPECIFICACIONES

10.1 Especificaciones Internacionales

10.1.1 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

La AASSHTO (Asociación Americana de Carreteras del Estado y Oficiales de Transporte, por sus siglas en ingles) es una asociación independiente y no lucrativa, que representa los departamentos de carreteras y transporte en los 50 estados del distrito de Colombia, y Puerto Rico. Representa los cinco modos del transporte: aéreo, terrestre, público, ferroviario y marítimo. Su meta fundamental es fomentar el desarrollo, operación, y mantenimiento de un sistema de transporte nacional integrado.

La AASHTO aboga políticas relacionadas con el transporte y proporciona servicios técnicos a los estados como una ayuda a sus esfuerzos de movilizar segura y eficientemente gente y mercancías.

Los objetivos de AASHTO son los siguientes:

- a) Reestablecer el transporte como una prioridad nacional.
 - 1. Asegurar la ayuda nacional para obtener un beneficio neto sostenible.
 - 2. Acelerar la entrega de proyectos.
 - 3. Establecer la seguridad como una prioridad nacional.

4. Establecer el transporte como un elemento vital de la seguridad nacional.
5. Aumentar la movilidad a través de nuevas políticas, tecnologías y soluciones de tránsito.

b) Promover y apoyar las iniciativas de estado y de los legisladores del transporte.

1. Crear sociedades estratégicas con otras asociaciones, gobiernos, comercios e industrias.
2. Desarrollar una agenda legislativa anual de la acción, mejoramiento, herramientas de comunicación y política para permitir a los departamentos de transporte del estado comunicarse mejor con sus legisladores y con el congreso.
3. Comunicar la importancia del transporte para los ciudadanos, la calidad de vida y la economía de una ciudad.

c) Proporcionar servicios técnicos de calidad mundial.

1. Identificar, notificar y facilitar el uso de la investigación de ingeniería, tecnologías, materiales, procesos y programas.
2. Incrementar el uso de los servicios técnicos y productos de AASHTO.
3. Aumentar la participación de AASHTO en actividades técnicas y de ingeniería.
4. Ampliar las oportunidades de entrenamiento y actualización técnica a los departamentos de transporte.

d) Ayudar a los departamentos de transporte con liderazgo y rendimiento.

1. Identificar y aplicar las nuevas técnicas de transporte, liderazgo y administración.
2. Proporcionar un marco detallado para la mejora en el desarrollo y entrega de los proyectos de transporte.
3. Desarrollar herramientas para ayudar a los departamentos de transporte en la solución de problemas en proyectos de transporte.
4. Desarrollar herramientas para ayudar a los departamentos de transporte en la solución de problemas en la selección transporte y almacenaje de materiales en los proyectos de transporte.
5. Desarrollar herramientas para ayudar a los departamentos de transporte en reclutamiento, capacitación y actualización del personal para los proyectos de transporte.
6. Desarrollar un ambiente que consolide las relaciones comunitarias para la mejor integración del transporte, utilización del suelo, y desarrollo económico.

10.1.2 AI (Asphalt Institute)

El instituto de asfalto (por sus siglas en inglés) es la asociación comercial internacional de los productores de asfalto de petróleo. Su misión es promover el uso, ventajas y funcionamiento de la calidad del asfalto de petróleo, con la ingeniería, investigación, comercialización y actividades educativas, y con la resolución de las ediciones que afectan la industria.

A través de varios comités y sociedades, el instituto del asfalto sirve a sus miembros como centro de la excelencia para la salud, seguridad y problemas ambientales.

Al promueve el asfalto de petróleo como un material seguro y ambientalmente amistoso de construcción para carreteras, para las calles, y para sistemas de techado a través de programa de investigación científica y desarrollos tecnológicos.

El Laboratorio del Instituto de Asfalto es una instalación líder en investigación, análisis y ensayos de la industria de asfalto. Es reconocido por el liderazgo en soluciones a asuntos técnicos que afectan la industria de asfalto, y sirven como un centro de atención para la aplicación de nueva tecnología basada en los estándares más altos del desempeño.

El Instituto del Asfalto promueve el uso de productos basados en el asfalto a través de su participación en la Alianza de Pavimentos Flexibles (Asphalt Pavement Alliance), una coalición de la industria cuya misión es aumentar el uso y calidad de los asfaltos de mezcla en caliente, basándose en la investigación, transferencia de tecnología, ingeniería, educación e innovación.

Las publicaciones y seminarios del Instituto del asfalto educan a los usuarios y autoridades en las prácticas apropiadas para el diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de toda clase de pavimentos de asfalto. La revista del asfalto alcanza una audiencia de alrededor de 18.000 profesionales de la industria con información

auténtica en lo último respecto a materiales y técnicas para la industria de asfalto.

10.2 Especificaciones Nacionales

10.2.1 Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes

Las especificaciones generales de construcción de carreteras y puentes, es el compendio que norma en forma general, las relaciones entre la Dirección General de Caminos y los Contratistas, para todas sus obras.

Tratándose de normas generales, su aplicación no debe hacerse indistintamente para una carretera de primera que para un camino de penetración. Para cada proyecto deben diseñarse las Disposiciones Especiales que para éste prevalezcan, describiendo además las características especiales de la obra.

Los Planos cuidadosamente elaborados para cada obra, las Disposiciones Especiales diseñadas especialmente para cada obra y las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes, son un conjunto de documentos que se complementan entre sí.

Las Especificaciones y demás documentos tienen por objeto comunicar al oferente, lo que la Dirección General de Caminos quiere construir. Son un medio de comunicación escrito. Aunque cuidadosamente preparados, los medios de comunicación escritos

adolecen de fallas: A menudo se ve lo que se quiere ver, se entiende lo que se quiere entender y se encuentra lo que se quiere encontrar.

Siendo las Especificaciones Generales un medio de legislar o de normar, no contienen los criterios que sirvieron para establecerlas. Se recomienda la formulación del Manual de Construcción, que es el documento que sirve para establecer el criterio y el razonamiento para su aplicación.

El espíritu que prevalece en las Especificaciones de Construcción de Carreteras y Puentes es el de que cada elemento debe asumir la responsabilidad que le corresponde: El que diseña es responsable del diseño; el que construye es responsable de que la construcción se ejecute de conformidad con el diseño aprobado por la Dirección General de Caminos; y todos los participantes deben tener como objetivo primordial encauzar sus esfuerzos y colaboración hacia la construcción de la obra en el tiempo estipulado y con la calidad con que fuera concebida y aprobada.

CONCLUSIONES

1. El Ingeniero Civil es el responsable del desarrollo de la infraestructura del país, y como parte de esta, la infraestructura vial, haciéndose notable la importancia de una preparación apropiada en materia de pavimentos y mantenimiento de carreteras, debido a la influencia directa de este tipo de infraestructura con el desarrollo, tanto social como económico del país.
2. Como se puede deducir, existen muchas variables que un ingeniero debe considerar al momento de la utilización de un pavimento, y es por esto que el estudio detallado de todas las características y propiedades de los pavimentos se convierte en un tema sumamente importante para el buen desempeño del Ingeniero Civil.
3. Lo extenso del contenido del curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras implica que los temas se estudien de una manera superficial, lo que provoca que al finalizar el curso, el estudiante se mecanice en la elaboración de los procesos y en el análisis y diseño de los pavimentos.
4. Es necesario el estudio de los factores que afectan las propiedades de una estructura de pavimentos, ya que estos podrían causar daños perjudiciales, tanto en el suelo de subrasante así como en las capas de la estructura que transmiten las cargas.

5. Se puede observar la importancia del estudio del suelo, ya que a partir del valor soporte del mismo se procede a diseñar la estructura de pavimento que pueda soportar o, las modificaciones necesarias para que se cumplan los requisitos de carga óptimos.

6. Uno de los factores más importantes en el estudio de pavimentación y mantenimiento de carreteras, es el comportamiento del agua, debido a que si no se toma en consideración, puede ocasionar efectos dañinos irreversibles en la estructura de un pavimento.

7. En muchas ocasiones, las variables a considerar por un ingeniero están ya plasmadas en normas y especificaciones por lo que, al momento del diseño de un pavimento, se deben integrar, tanto los criterios que pueda tener el profesional de la ingeniería, como las condiciones expuestas en las normas y especificaciones correspondientes.

RECOMENDACIONES

1. Para todo proyecto de Pavimentación, se recomienda realizar los ensayos destructivos y no destructivos correspondientes, con muestreo del tipo de suelo subrasante en el cual se realizará la estructura, a una distancia no menor de 1000m, que puede ser reducida hasta 200m cuando el suelo evidencie cambios significativos, con el fin de definir las propiedades ingenieriles y los materiales de cada perfil estratigráfico, a través de información recopilada en calicatas , para con ello realizar los cálculos necesarios, y así evitar sobrediseños en la estructura.
2. Para todo proyecto se recomienda realizar una comparación de alternativas de pavimentación, para determinar con ello la solución óptima que cumpla con lo requerido.
3. Debido a lo extenso del contenido del curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras, se recomienda implementar en los cursos de Mecánica de Suelos, y Vías Terrestres, los conocimientos básicos sobre el comportamiento del suelo en carreteras y el diseño básico de las mismas respectivamente, para que en el curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras lograr la enseñanza del análisis de estructuras de pavimentos a profundidad.
4. Se recomienda continuar con la elaboración de material bibliográfico, que evalúe nuevas y óptimas opciones de pavimentación y mantenimiento de carreteras, como por ejemplo el uso de escoria de acero como agregado para pavimentos. Esto con el fin de formar una idea al profesional, de las

ventajas y limitaciones que pueden ofrecer diversas formas de pavimentación y mantenimiento de carreteras, de tal manera que se reúna un material completo y actualizado de la materia.

5. Se recomienda para la reestructuración del pensum de estudios de la carrera de Ingeniería Civil, considerar la opción de establecer como obligatorio el curso de Pavimentos y Mantenimiento de Carreteras debido a su importancia en las actividades que al ingeniero civil le competen, así como para el desarrollo económico y social del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berry, Peter L. y Reid, David. **Mecánica de suelos**. Colombia: McGraw Hill, 1993. 387pp.
2. Boubourg Cetina, Luis Felipe. Consideraciones sobre el mantenimiento sobre la red vial de Guatemala. Tesis ingeniería civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1972.
3. Compañía internacional de petróleo Shell. **Manual de diseño de pavimentos de Shell**. Inglaterra: s.e., 1978.
4. Corro, S., et al. **Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras**. Serie del instituto de Ingeniería UNAM No. 444 México, 1997
5. Craig, R F. **Mecánica de suelos**. México: Logos Consorcio Editorial, S.A., 1976.
6. Crespo del Río, Ramón. **La ingeniería de pavimentos en el siglo XXI"**. España: AEPO S.A. 2002. 275pp.
7. Departamento de transporte del estado de Washington, **WSDOT pavement guide**. EEUU: s.e., 1998
8. Departamento del Ejército y Fuerza Aérea. **Diseño de pavimentos para calles, carreteras y áreas de almacenaje, método de capas elásticas**. EEUU: Octubre, 1994.
9. Escario, J. L. y V. Escario. **Caminos**. 4^a. ed. España: Tipografía artística, 1949.
10. Huang, Yang H. **Análisis y diseño de pavimentos**. EEUU: Prentice Hall, 1993.
11. Instituto nacional de vías. **Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras**. Colombia: s.e., 2002.

12. Lilli, Félix J. **Curso sobre diseño racional de Pavimentos**. Popayán: s.e., 1987.
13. Martin, J. R. y Wallace, H. A. **Diseño y construcción de pavimentos de asfalto**. EEUU: ed. Mc graw hill, 1958.
14. Medina, Luis R. y otros. **Calculo de leyes de fatiga de mezclas bituminosas**. España: AEPO S.A. 2001.
15. Medina, Luis R. y otros. **Comprobación estructural de las secciones de pavimento de la instrucción de carreteras 6.1 y 6.2 I.C**. España: AEPO S.A. 2000.
16. Montejo, Alfonso. **Ingeniería de pavimentos para carreteras**. Universidad Católica de Colombia: s.e., 2001.
17. Oglesby, Clarkson y Hewes, Lawrence. **Ingeniería de carreteras**. 2ª ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A. 1975. 858pp.
18. Olivera, Fernando B. **Estructuración de las vías terrestres**. 2ª ed. México: CECSA. 1996.
19. Reyes, Fredy L. **Diseño de pavimentos por métodos racionales**. Tomo I. Universidad de Los Andes, Bogotá, 1999.
20. Rico, A. y Del Castillo, H. **La ingeniería de suelos en las vías terrestres**. Mexico: Ed. Limusa, 1974.
21. Sabogal, Fernando S. **Pavimentos**. Tomo I, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, 1992.
22. Secretaría permanente del tratado de integración económica centroamericana (SIECA). **Algunas consideraciones sobre el mantenimiento de carreteras en Centroamérica**. Guatemala: s.e., 1971.
23. Vásquez Varela, Luis Ricardo. **Funciones de transferencia en el método empírico - mecánico de diseño de pavimentos flexibles**. México: s.e., 2002.
24. Vasquez y Vasquez, Hugo Dagoberto. Causas de falla en los pavimentos de la ciudad de Guatemala. Tesis ingeniería civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977.

25. Yoder, E. J. y Witzak, M. W. **Principios en el diseño de pavimentos.** 2^a ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, Inc. 1975.