



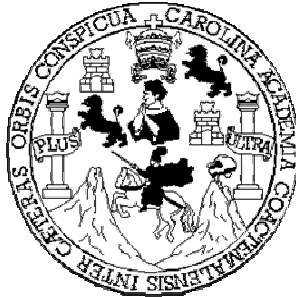
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

CONTROL DE CALIDAD EN LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EXISTENTES

Carlos Arnoldo Morales Rosales
Asesorado por el Ing. Tonio Michele Bonatto Mérida

Guatemala, febrero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL DE CALIDAD EN LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS EXISTENTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ARNOLDO MORALES ROSALES
ASESORADO POR EL ING. TONIO MICHELE BONATTO MÉRIDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2007

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

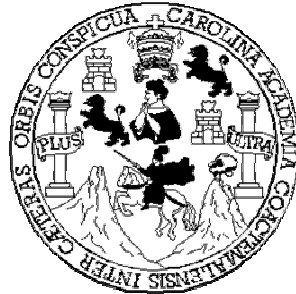
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONTROL DE CALIDAD EN LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
EXISTENTES,**

tema que fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 20 de noviembre de 2006.

Carlos Arnoldo Morales Rosales

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia Garcia Soria
VOCAL II	Inga. 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. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Torres Juárez
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS, por sobre todas las cosas, por haberme permitido culminar mi carrera profesional.

Ingeniero Tonio Michele Bonatto Mérida, por compartir conmigo su amplia experiencia, sin la cual no hubiese sido posible la elaboración del presente trabajo de graduación.

Ingeniero Víctor Rosales Gómez, por apoyarme en los momentos más difíciles de mi formación profesional, y por compartido conmigo sus conocimientos en el área vial.

Los ingenieros Irvin y Pedro Roberto Martínez, quienes siempre me apoyaron y alentaron a lo largo de mi formación profesional.

ACTO QUE DEDICO A:

MI ESPOSA	Evelyn Lucia Rosales Gómez, por su amor, comprensión y apoyo.
MIS HIJAS	María Fernanda y María Jimena, por ser fuente de mi inspiración.
MIS PADRES	Gladys Rosales y Carlos Morales con mucho amor y en recompensa por todos sus sacrificios.
MIS SUEGROS	Víctor Rosales y Maria Cristina Gómez, por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera.
MIS HERMANAS	Nancy de Eskenasy y Maria Raquel
A MI FAMILIA	Con cariño.

Y en general a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a que alcanzara este logro. Gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. MARCO TEÓRICO	
1.1. Pavimentos asfálticos	1
1.1.1 Capas que conforman un pavimento asfáltico y su función dentro del mismo	3
1.1.2 Asfaltos utilizados en carpetas de rodadura	6
1.2. Criterios de diseño para pavimentos asfáltico (<i>AASHTO 1993</i>)	10
1.2.1 Tránsito y carga por eje	11
1.2.2 Tasa de crecimiento	12
1.2.3 Número de carriles	12
1.2.4 Ejes equivalentes “ <i>ESAL</i> ”	13
1.2.5 Características de la sub-rasante (Módulo de Resilencia)	13
1.2.6 Clima y drenaje	15
1.2.7 Coeficientes estructurales	16
1.2.8 Determinación de los coeficientes de capa	16
1.2.9 Período de diseño	19
1.2.10 Nivel de servicio	20
1.2.11 Confiabilidad	20
1.2.12 Desviación estándar	21
1.2.13 Determinación del número estructural	21

1.3.	Comentarios acerca de los ensayos de laboratorio a suelos usados frecuentemente en ingeniería vial	23
1.3.1.1	Granulometría	23
1.3.1.2	Límites de Consistencia	25
1.3.2.1	Límite líquido	25
1.3.2.2	Límite plástico	26
1.3.1.3	Proctor (determinación de humedad óptima y densidad máxima)	27
1.3.1.4	C.B.R (<i>California Bearing Ratio</i>)	30
1.3.1.5	Densidad de Campo	32
1.3.1.6	Equivalente de arena	33
1.3.1.7	Bondad (Abrasión)	35
1.3.1.8	Desgaste al sulfato de sodio (Soudnes)	36
1.3.1.9	Partículas Planas y Alargadas	37
1.3	Fallas en los pavimentos asfálticos	37
2.	PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA EVALUACIÓN DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE	47
2.1.	Recolección de información importante	48
2.2.	Inspección visual	48
2.3.	Muestreo de los materiales de las distintas capas del pavimento por medio de excavación de pozos a cielo abierto	49
2.4.	Toma de muestra de las distintas capas del pavimento	50
3.	EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE	55
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Capas que conforman la estructura de un pavimento asfáltico.....	3
2.	Ábaco de relación entre el coeficiente estructural de sub-base y distintos parámetros resistentes.....	17
3.	Ábaco de relación entre el coeficiente estructural de base y distintos parámetros resistentes.....	18
4.	Ábaco de relación entre el módulo resiliente del concreto asfáltico y el coeficiente estructural de capa de rodadura.....	19
5.	Representación gráfica de una granulometría	24
6.	Representación gráfica de límites de Atterberg	27
7.	Representación gráfica del ensayo de Proctor.....	30
8.	Representación gráfica del ensayo de C.B.R.	31
9.	Representación gráfica del ensayo de Equivalente de arena.....	34
10.	Representación gráfica de algunos tipos de fallas en pavimentos asfálticos	46
11.	Croquis de excavación de pozos a cielo abierto.....	50
12.	Ejemplo de muestreo de carpeta de rodadura	50
13.	Ejemplo de muestreo de capas de base y sub-base.....	51
14.	Ejemplo de pozo a cielo abierto a nivel de sub-rasante.....	52
15.	Ejemplo de un pozo a cielo abierto terminado.....	52
16.	Ejemplo de un pozo a cielo abierto terminado y bacheado.....	53
17.	Croquis de ubicación proyecto Siquinalá - Cocales.....	55
18.	Fallas identificadas en el tramo Siquinalá – Cocales.....	58
19.	Fallas identificadas en el tramo Siquinalá – Cocales.....	59
20.	Fotografías de excavación de pozos a cielo abierto.....	60
21.	Gráfico de áreas vrs. estaciones (apéndice J AASHTO).....	67

22.	Gráfico de valor z vrs. Estaciones (apéndice J AASHTO).....	68
23.	Gráfico tramos homogéneos.....	68
24.	Gráfico ESAL vrs. Tiempo de vida útil.....	77
25.	Gráfico años de vida vrs. SNreq. tramo 1.....	78
26.	Gráfico años de vida vrs. SNreq. tramo 2.....	78
27.	Gráfico años de vida vrs. SNreq. Tramo 3.....	79
28.	Gráfico años de vida vrs. SNreq. Tramo 4.....	80

TABLAS

I.	Clasificación de los vehículos, según peso y número de ejes.....	11
II.	Tiempos y coeficientes de drenaje recomendados por AASHTO.....	15
III.	Tiempos de diseño recomendados por AASTHO	20
IV.	Tipos de ensayos de abrasión.....	35
V.	Parámetros de diseño original del tramo Siquinalá-Cocales.....	56
VI.	Estructura de pavimento de diseño original.....	57
VII.	Estructura de pavimento tramo ampliación 4 carriles.....	57
VIII.	Espesores encontrados mediante el muestreo en el proyecto.....	61
IX.	Espesores encontrados mediante el muestreo en el proyecto.....	62
X.	Tabla resumen de resultados de laboratorio de la sub-rasante en el proyecto.....	63
XI.	Tabla resumen de resultados de laboratorio de la sub-rasante en el proyecto.....	64
XII.	Tabla resumen de resultados de laboratorio de las capas de base y sub-base en el proyecto.....	65
XIII.	Metodología propuesta en el apéndice J de AASHTO.....	66
XIV.	Metodología propuesta en el apéndice J de AASHTO.....	67
XV.	Conteos vehiculares realizados en el proyecto.....	70

XVI. Proyección vehicular para el tiempo de diseño.....	71
XVII. Cálculo de ejes equivalentes a 18,000 libras.....	72
XVIII. Comportamiento del pavimento existente en el tramo Siquinalá- Cocales para los siguientes 5 años de vida.....	77

RESUMEN

Con el presente trabajo de graduación se pretende dar los lineamientos necesarios para comprender el funcionamiento y comportamiento de un pavimento asfáltico, así como conocer las distintas capas de materiales que conforman la estructura de pavimento. Se iniciará dando una descripción de las distintas capas que conforman el pavimento, su función en el mismo y los distintos tipos de asfalto que se pueden utilizar en este tipo de pavimento.

Debido a que un pavimento asfáltico puede tener un déficit estructural desde su concepción, se dará a conocer la metodología propuesta por AASHTO, para el diseño de pavimentos asfálticos, con el fin de determinar los parámetros necesarios para la obtención del número estructural requerido y el número estructural aportado por el pavimento, los cuales son un índice muy confiable para determinar el estado actual del pavimento asfáltico. Se presenta una sección con comentarios y datos importantes de los ensayos de laboratorio a suelos usados más frecuentemente en ingeniería vial.

Posteriormente, se dará una guía de pasos a seguir en el momento de evaluar el estado de un pavimento asfáltico existente

Por último, se dará un ejemplo de evaluación del pavimento asfáltico existente en el tramo de Siquinalá a Cocal, con el fin de determinar si existe un déficit estructural o no.

OBJETIVOS

General

Conocer el comportamiento de un pavimento asfáltico, con el fin de determinar el momento en el cual éste requiere de un mantenimiento preventivo o correctivo.

Específicos

1. Determinar el estado en el que se encuentra cada capa del pavimento existente, mediante los resultados de laboratorio de los materiales de cada capa.
2. Conocer la metodología propuesta por la AASHTO, mediante el cálculo del número estructural requerido y del número estructural aportado por el pavimento, con el fin de determinar si hay o no un déficit estructural en el mismo.
3. Identificar los parámetros necesarios para determinar tanto el número estructural requerido y el número estructural aportado por el pavimento y los medios con los cuales se pueden obtener dichos parámetros.

INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo de graduación se pretende dar los lineamientos necesarios para comprender el funcionamiento y comportamiento de un pavimento asfáltico, así como detallar las distintas capas de materiales que conforman la estructura de pavimento.

Se iniciará dando una descripción de los conceptos básicos relacionados al tema, tales como conocer las distintas capas que conforman el pavimento, su función en el mismo y los distintos tipos de asfalto que se pueden utilizar en este tipo de pavimento.

Debido a que un pavimento asfáltico puede tener un déficit estructural desde su concepción, se dará a conocer la metodología propuesta por AASHTO para el diseño de pavimentos asfálticos, con el fin de determinar los parámetros necesarios para la obtención del número estructural requerido y el número estructural aportado por el pavimento, los cuales son un índice muy confiable para determinar el estado actual del pavimento asfáltico. Como ésta metodología se basa en los resultados de laboratorio realizado a los materiales de la capas del pavimento, se hará una sección con comentarios y datos importantes de los ensayos de laboratorio a suelos usados más frecuentemente en ingeniería vial.

Posteriormente, se dará una guía de pasos a seguir en el momento de evaluar el estado de un pavimento asfáltico existente; hay que recalcar que no es el único procedimiento a seguir para realizar evaluaciones pero éste método es uno de los más usados en nuestro medio por ser más económico que los otros.

Por último, se dará un ejemplo de evaluación del pavimento asfáltico existente en el tramo de Siquinalá a Cocales, con el fin de determinar si existe un déficit estructural o no; detallando los procedimientos realizados para dicha evaluación utilizando la metodología de AASHTO determinando el número estructural requerido por el tramo y el número estructural aportado por el pavimento existente.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Pavimentos asfálticos

Es el conjunto de capas de materiales con características definidas destinadas a soportar, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito en forma disipada hacia la capa de sub-rasante. Deben repartir las presiones impuestas por el tránsito, de tal forma que a la sub-rasante sólo llegue una pequeña parte de ellas y la misma sea capaz de soportarlas sin sufrir deformaciones.

Los pavimentos asfálticos deben proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes que soporten las cargas del tránsito y la acción de desgaste durante un período de tiempo determinado. Las características estructurales de los pavimentos asfálticos están relacionadas con las de los materiales empleados en sus diferentes capas y con sus espesores.

En base a lo anterior se pueden resumir en 6 los requisitos principales de una estructura de pavimento:

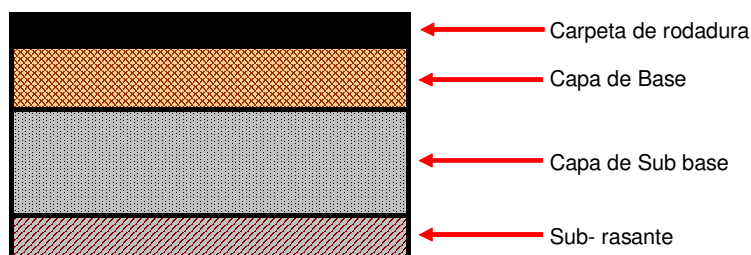
- a) Resistir y distribuir de forma homogénea las cargas que se originan por el tránsito, esto quiere decir que las capas que formen una estructura de pavimento asfáltico al momento de recibir las cargas provenientes del tránsito no deberán causar deformaciones permanentes a la sub-rasante.

- b) Resistir la acción destructora del paso de los vehículos, las llantas de los vehículos generan una fuerza abrasiva que provoca desgaste de la superficie y posterior desprendimiento de las partículas de la carpeta de rodadura, dependiendo del grado de deterioro este desgaste puede afectar a las capas inferiores de la superficie de rodadura.
- c) Proporcionar la impermeabilidad necesaria para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que la presencia en exceso de ésta causa lubricación entre las partículas ocasionando pérdida en el valor soporte, por otro lado la presencia de agua en la capa de sub-rasante en su mayoría de veces ocasiona cambio de volumen perjudicial para la estructura de pavimento.
- d) Resistir los efectos de los agentes climáticos debido a que a lo largo de la vida útil de un pavimento será expuesto a los efectos destructores del sol y la lluvia o a cambios frecuentes de temperatura, los materiales a utilizar deberán tener la capacidad de resistir los efectos de los agentes físicos y químicos al cual estarán expuestos.
- e) Tener una superficie de rodadura adecuada que permita en todo tiempo un desplazamiento fácil y cómodo de los vehículos, esto quiere decir que la carpeta de rodadura debe ser segura y lo suficientemente lisa para generar confort y el menor daño a los vehículos que lo transitan, sin embargo la carpeta de rodadura debe de ser antideslizante o evitar el hidropneumático cuando se encuentre húmeda.
- f) La carpeta de rodadura deberá ser lo suficientemente flexible para adaptarse a cualquier deformación que se presente en las capas de base y sub-base o hasta de la propia sub-rasante.

1.1.1 Capas que conforman un pavimento asfáltico y su función dentro del mismo

Las capas que conforman un pavimento asfáltico son en el orden de arriba hacia abajo la carpeta de rodadura de concreto asfáltico, una capa de base y posteriormente una capa de sub-base todas las anteriores descansan sobre la sub-rasante. Debido a que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores hasta llegar al suelo natural o sub-rasante.

Figura 1. Capas que conforman la estructura de un pavimento asfáltico.



La función en conjunto de las capas de un pavimento asfáltico es la de soportar los efectos provenientes de las cargas originadas por el tránsito, así como de poder brindarle a los usuarios la sensación de confort, seguridad y tranquilidad a la hora de transitar por el mismo.

a) Carpeta de rodadura

Es la capa superior de la estructura de un pavimento asfáltico, está formada por la mezcla homogénea de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico puro o rebajado y aditivos (opcional). Las funciones de la carpeta de rodadura de un pavimento asfáltico son:

- 1) Proteger de la intemperie, lluvia, erosión, fricción de las llantas, etc, así como de proporcionar una rodadura que suministre confort, comodidad, textura, color, desplazamiento y sobre todo proveer seguridad a todos los usuarios de la misma mediante una superficie homogénea tanto en sentido transversal como longitudinal.
- 2) Recibe directamente las cargas originadas por el tránsito en forma horizontal y vertical, las distribuye y las transmite en forma disipada hacia las capas inferiores del mismo.
- 3) Aportar una adecuada resistencia al deslizamiento mediante un desagüe superficial rápido para evitar el hidroneo.

La clase y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo al tipo de carretera, al volumen de vehículos que van a transitar y a las características del suelo que la soporta.

En las mezclas asfálticas es de suma importancia definir la cantidad de asfalto a utilizar debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que un exceso o déficit de éste causaría resultados perjudiciales no deseados en la estructura de pavimento.

b) Capa de base

Es la capa que después de la carpeta de rodadura recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, se ubica por debajo de la carpeta de rodadura y está conformada por la mezcla de piedra o grava combinada con material de relleno, en algunos casos con asfalto (base negra), cemento o aglomerantes y se conoce como base estabilizada.

Su función consiste en resistir, distribuir y transmitir en forma disipada gran parte de los esfuerzos originados por el tránsito y que fueron transmitidos por la carpeta de rodadura, por lo tanto los materiales que la forman deberán tener mejores propiedades físico-mecánicas que los de la capa de sub-base. Entre los principales requisitos de una capa de base se encuentran los siguientes:

- 1) Mantener en todo momento la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas tanto por los vehículos estacionados o en movimiento.
- 2) Tener el espesor necesario para que dichas presiones al ser transmitidas a las capas de sub-base y sub-rasante no excedan la capacidad estructural de éstas.
- 3) Al variar las condiciones de humedad no deberá presentar cambios de volumen perjudiciales a la estructura de pavimento.

c) Capa de sub-base

Por medio de ésta capa se puede brindar economía a un proyecto, transformando un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base que es de menor calidad que el material de base, la capa de sub-base está formada por la mezcla de piedra o grava, combinadas con material de relleno, para constituir una sub-base integrante de un pavimento.

La capa de sub-base dentro de una estructura de pavimento asfáltico tiene como función:

- a) Reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la capa de base la cual se construye generalmente con materiales de mayor costo debido a que tienen que cumplir con especificaciones más severas.

- b) Proteger la capa de base aislándola de la sub-rasante ya que ésta está formada generalmente por materiales finos y plásticos que cuando la base esta formada con una granulometría abierta, al no existir el aislamiento que proporciona la capa de sub-base, el material de la sub-rasante se introduciría en la capa de base ocasionando cambios volumétricos perjudiciales con el cambio de humedad, disminuyendo la resistencia estructural de la capa de base.

d) Sub-rasante

Es la capa de terreno natural de una carretera sobre ella descansa la estructura de pavimento, posee una profundidad infinita tal que no le afecte las cargas del tránsito previsto en el diseño de pavimento. Entre mejor calidad se tenga de sub-rasante el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad del mismo.

1.1.2 Asfaltos utilizados en carpetas de rodadura

La mayoría de asfaltos utilizados en proyectos viales provienen de la refinación del petróleo, este proceso produce una gran variedad de tipos y grados de asfaltos que van desde sólidos duros y frágiles a líquidos poco viscosos.

Si bien el asfalto de uso vial es a temperatura ambiente semi-sólido o sólido, puede ser rápidamente licuado mediante calentamiento, adicionándole un solvente de petróleo, o mediante emulsificación en agua.

El asfalto en estado semi-sólido es conocido como cemento asfáltico, en relación a la mezcla asfáltica utilizada en los pavimentos flexibles estos pueden dividirse en pavimentos con mezcla en caliente, pavimentos con mezcla en frío.

1) Mezcla asfálticas en caliente

Está formada por la mezcla bien proporcionada de cemento asfáltico (AC), agregados pétreos, polvo mineral y aditivos (opcional). Generalmente son utilizadas en carreteras de alta circulación con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.

Un cemento asfáltico está constituido prácticamente en un 100% por un betún de penetración, por lo tanto para que éste pueda recubrir los agregados y mantenerse trabajable durante el transporte, colocación y compactación hay que bajar su viscosidad y esto se logra proporcionándole calor en plantas asfálticas.

A medida que se enfría el asfalto se endurece y recupera las propiedades ligantes que hacen de él un material vial eficaz. En Guatemala el más usado es el AC-20 el cual deberá estar entre 130° C a 160° C a la hora de mezclarlo con los agregados, la mezcla en caliente se aplica en el tramo a una temperatura entre 120° C a 130° C para lograr una buena trabajabilidad.

2) Mezcla asfálticas en frío

Al agregarle al cemento asfáltico un solvente de petróleo éste se hace fluido, a este producto se le conoce como asfalto rebajado (*cutback asphalt*), en el proyecto el solvente se evapora en el proceso de curado, restaurando así las propiedades ligantes del asfalto.

Las mezclas en frío están formadas por la combinación bien proporcionada de agregados pétreos, polvo mineral, aditivos y cemento asfáltico rebajado (*RC*, *MC*, *SC*, EMULSIONES), las siglas anteriores dependen del tiempo que requiere para el curado.

Aunque en la actualidad ya no se utilizan los asfaltos rebajados con solventes de petróleo, a continuación se describe algunas características de ellos, en los RC el asfalto está diluido con solventes derivados del petróleo como lo son la gasolina y nafta, estos solventes tienen la característica de evaporación rápida, en el caso de los MC utiliza un solvente de evaporación media como lo es el Kerosén, para los SC se utilizaba un asfalto diluido con aceites de baja volatilidad.

En la mayoría de países los anteriores tipos de asfaltos rebajados ya no se utilizan, debido a que el impacto ambiental es muy grande en el momento en que los solventes se evaporan, esto ha dado lugar a la utilización de mezclas con emulsión asfáltica.

Cuando el asfalto es mecánicamente separado en partículas microscópicas y dispersado en agua con la ayuda de un agente emulsivo, se convierte en una emulsión asfáltica, cuando se utiliza las emulsiones en obra el agua se evapora hacia la atmósfera quedando el agente emulsivo retenido en el asfalto.

Las emulsiones asfálticas están formadas por tres ingredientes básicos: cemento asfáltico, agua y un agente emulsivo. La naturaleza química del sistema emulsivo-asfalto-agua determina las características de la dispersión y la estabilidad de la suspensión.

Las emulsiones se clasifican de acuerdo a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto en aniónicas y catiónicas. Una segunda clasificación para las emulsiones se basa en la velocidad en que las gotitas de asfalto se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico, los términos que se utilizan hoy en día para simplificar los tipos de emulsiones son los siguientes: RS (*rapid-setting*, rotura rápida), MS (*medium-setting*, rotura media), SS (*slow-setting*, rotura lenta) y QS (*quick-setting*, rotura rápida).

La tendencia a coalescer está directamente relacionada con el tiempo que requiere la emulsión para volverse inestable y rompe tras el contacto con la superficie del agregado. Por lo tanto una emulsión RS tiene poca capacidad de mezclarse con los agregados, una emulsión MS tiene la capacidad de mezclarse bien con los agregados gruesos más no con los finos, mientras que las emulsiones SS y QS tienen la capacidad de mezclarse con ambos tipos de agregados, de allí se puede decir que cada tipo de emulsión tiene un funcionamiento especial para determinada actividad constructiva.

3) Mezclas asfálticas con asfaltos modificados

Hoy en día una de las técnicas que ha ido ganando terreno es la de modificar el asfalto con el fin de aprovechar de una manera efectiva los asfaltos en las mezclas utilizadas en pavimentos flexibles.

Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y efectos del tránsito.

El objetivo que se persigue con la modificación de los asfaltos con polímeros es de contar con un ligante más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes o ahuellamientos en las carpetas de rodadura, aumentando la flexibilidad de la mezcla, al mismo tiempo se disminuye el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga aumentando su elasticidad, además se obtiene un ligante con mejores características adhesivas.

1.2 Criterios de diseño para pavimentos asfáltico (AASHTO 93)

La vida útil de un pavimento asfáltico depende en gran medida de los criterios de diseño que se hayan utilizado a la hora de diseñar la estructura de pavimento asfáltico, y es por ello que se detallarán los parámetros que utiliza la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO, la cual tiene como base los ensayos del road test realizados en Ottawa, Illinois por la American Association of State Highway Officials (AASHO).

El método AASHTO considera un procedimiento general de diseño aplicable a diferentes condiciones de tránsito y clima. Se basa en la correlación entre el comportamiento observado in situ y las mediciones de las propiedades de materiales y sus respectivos espesores.

Dentro de los factores a tomar en cuenta para el diseño de pavimentos flexibles, al utilizar la segunda edición del manual AASHTO 1993, se pueden mencionar los siguientes:

1.2.1 Tránsito y carga por eje

Siempre que se desea conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado, se realizan estudios de volúmenes de tránsito, estos estudios varían desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta recuentos en lugares específicos tales como, puentes, túneles o intersecciones con semáforos.

El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y para efectos de diseño se les convierte en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips, los cuales se conocen por sus siglas en ingles como “ESAL”.

A continuación se presenta una tabla resumen en la cual se incluye la estructura vehicular, la clase de vehículo, la carga y el tipo de eje.

Tabla I. Clasificación de los vehículos según peso y número de ejes.

TIPO DE VEHICULO		CLASE	EJES		
			PARTE	CARGA (KIPS)	TIPO
I	AUTO	AUTOMÓVIL, PANELES Y JEEP	F	2.0	SIMPLE
			R	2.0	SIMPLE
II	PICK-UP	PICK - UP	F	2.0	SIMPLE
			R	5.0	SIMPLE
III	C-2, C-3, C-4	CAMIONES MEDIANOS (2 EJES)	F	10.0	SIMPLE
			R	24.0	SIMPLE
IV	T3-S1, T3-S2, T3-S3	VEHÍCULOS DE 3 EJES	F	12.0	SIMPLE
			R	34.0	TANDEM
V	MICROBUS	MICROBUSES	F	10.0	SIMPLE
			R	10.0	SIMPLE
VI	BUSES	BUSES	F	12.0	SIMPLE
			R	24.0	TANDEM
VII	T3-S2-R4	VEHÍCULOS DE 4 EJES O MÁS	F	12.0	SIMPLE
			M	34.0	TANDEM
			R	34.0	TANDEM

1.2.2 Tasa de crecimiento

En el diseño del pavimento se estima un tiempo de vida útil o tiempo en el cual la estructura de pavimento proporcionará una superficie lisa y suave a los usuarios, para dicho tiempo se deberá proyectar el tránsito calculado de los conteos vehiculares para luego poder ser transformados a “ESAL”.

Se deberán realizar las investigaciones necesarias y establecer si se cuenta con un historial de tránsito o con información sobre el producto interno bruto del lugar que permitan definir un porcentaje de crecimiento vehicular o bien un porcentaje de crecimiento en el desarrollo de la zona.

1.2.3 Número de carriles

La mayoría de carreteras del país poseen dos carriles, para éste caso se deberá afectar el valor del “ESAL” por un factor de dirección igual a 0.5, esto significa que del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del conteo vehicular efectuado. Lo más importante realmente es la diferencia en peso entre los vehículos que van en una y otra dirección, como puede ser la cercanía a una fabrica, en un lado los vehículos van llenos y en el otro van vacíos.

Para el caso de las carreteras que poseen más de un carril por lado se debe diseñar en base al carril de diseño o trocha, el cual no es más que identificar en el campo en que carril circulan los vehículos pesados, que por lo regular es el más externo de los carriles.

1.2.4 Ejes equivalentes “ESAL”

Las distintas cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de distinta manera a los efectos de una misma carga. Como las distintas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas serán distintas. Es por ello que el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de carga tipo AASHTO de 80 KN o 18 kips, dicha transformación se lleva a cabo mediante el uso de los factores equivalentes de carga *LEF*.

El factor equivalente de carga “*LEF*” es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una dada carga de un tipo de eje y la producida por el eje Standard de 80 KN en el mismo eje.

$$LEF = \frac{\text{No de ESALs de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No de ejes de x kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Es necesario recalcar que el eje delantero no está incluido en los factores de equivalencia de carga, debido a que el daño producido por éste eje es mínimo.

1.2.5 Características de la sub-rasante

La sub-rasante es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, anteriormente el diseño de pavimento estaba basado en las propiedades físicas del suelo de sub-rasante, estas propiedades se determinan en base a la clasificación del suelo, plasticidad, resistencia al corte, susceptibilidad a las heladas y drenaje.

Posteriormente se ha puesto más énfasis en las propiedades principales de la sub-rasante y se han desarrollado ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos como el CBR y compresión simple que son a base de aplicar cargas estáticas o de baja velocidad de deformación están siendo reemplazados por ensayos que utilizan cargas dinámicas y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, el cual da una mejor idea de lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a deformaciones y tensiones.

El ensayo de CBR es el más utilizado debido a que se lleva a cabo con equipo que comúnmente se dispone en los laboratorios de suelos, por lo tanto el diseño mediante el valor de CBR se basa en que, a menor valor de CBR tenga el suelo de sub-rasante mayores serán los espesores que requerirá la estructura de pavimento para protegerlo de los efectos del tránsito.

En el nuevo método AASHTO (1986,1993 y 1998), el módulo resiliente vino a reemplazar al CBR como variable para caracterizar la sub-rasante, sub-base y base. Dado que no siempre se tiene el equipo de laboratorio necesario para realizar el ensayo de módulo resiliente, es conveniente relacionarlo con otras propiedades de los suelos. Por ejemplo, con el CBR se tiene:

$$M_R = B * CBR$$

Donde $B = 1500$ si $CBR < 10\%$, este valor puede variar entre 750 a 3000 para M_R en psi.

1.2.6 Clima y drenaje

La presencia del agua juega un papel importante en la ecuación de diseño de pavimentos, y es por ello que se han incluido coeficientes de drenaje que afectan a la base y sub-base.

La humedad tiene una gran influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen el paquete estructural y sobre el comportamiento de los pavimentos en general. Últimamente se ha determinado que un drenaje eficiente aumenta la capacidad portante de la sub-rasante, esto es debido a que el módulo resiliente aumenta cuando la humedad disminuye.

En la siguiente tabla se dan los tiempos de drenaje recomendados por AASHTO, basándose en el tiempo requerido para drenar la capa de base hasta un grado de saturación del 50%.

Tabla II. Tiempos y coeficientes de drenaje recomendados por AASHTO.

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
		< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
EXCELENTE	2 HORAS	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
BUENO	1 DÍA	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
REGULAR	1 SEMANA	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
POBRE	1 MES	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
MUY POBRE	EL AGUA NO DRENA	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Como se puede apreciar en la tabla anterior los coeficientes de drenaje son mayores a 1 cuando las capas son drenantes, si el drenaje no es bueno el coeficiente será menor que 1 y obligará a una estructura de pavimento mayor. Es necesario aclarar que a la hora de la construcción de un pavimento el usar un paquete de espesores grandes no será un sustituto de un buen drenaje.

1.2.7 Coeficientes estructurales

Estos coeficientes son un indicativo de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento.

Aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material, estos coeficientes están relacionados con distintos parámetros resistentes de los materiales a utilizar en cada capa de la estructura de pavimento.

1.2.8 Determinación de los coeficientes de capa

a) Capa de sub-base

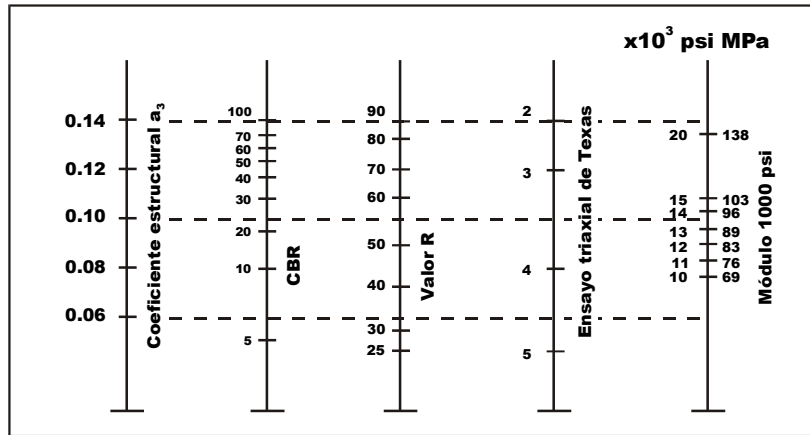
Para la determinación del coeficiente estructural de la capa de Sub-base, se debe aplicar la siguiente fórmula propuesta por AASHTO:

$$a_3 = 0.227 * (\log_{10} E_{SB}) - 0.839$$

El Módulo de Elasticidad de la capa se tomará de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados.

El ábaco que aparece a continuación es de gran utilidad, debido a que por medio de los resultados de laboratorio que se obtienen de las muestras de los materiales de la capa de sub-base se puede determinar su coeficiente de capa.

Figura 2. Ábaco de relación entre el coeficiente estructural de sub-base y distintos parámetros resistentes.



FUENTE: AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993, American Association of state Highway and transportation officials, edition 1993. Basados en la figura 2.7 de la sección II-21

b) Capa de base

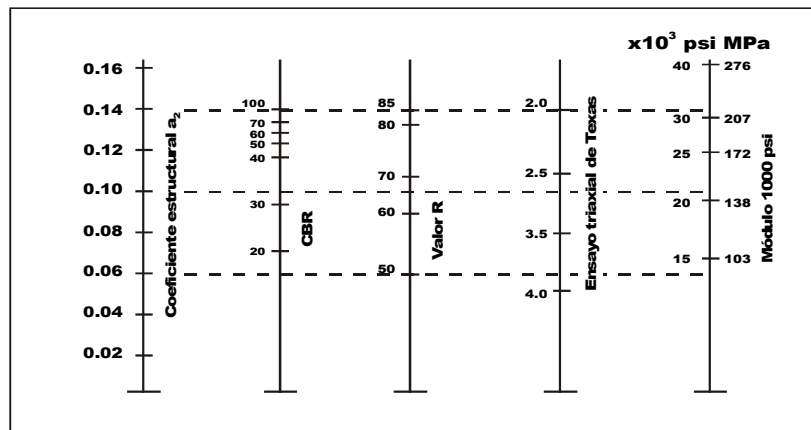
Para la determinación del coeficiente estructural de la capa de base, se aplica el mismo criterio utilizado para evaluar la sub-base, y su módulo de elasticidad se determina mediante los resultados de los análisis de laboratorio a los materiales de la capa de base.

De lo anterior y aplicando la siguiente fórmula propuesta por AASHTO se tiene:

$$a_2 = 0.249 * (\log_{10} E_{SB}) - 0.977$$

El ábaco que aparece a continuación es de gran utilidad, debido a que de acuerdo a los resultados de laboratorio que se obtienen de las muestras a los materiales de la capa de base se puede determinar su coeficiente de capa.

Figura 3. Ábaco de relación entre el coeficiente estructural de base y distintos parámetros resistentes.



FUENTE: AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993, American Association of state Highway and transportation officials, edition 1993. Basados en la figura 2.6 de la sección II-22

c) Capa de concreto asfáltico

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad se utilizará la siguiente fórmula:

$$E_{AC} = 860 * (P/f) * 10^{0.035(30-T)}$$

Donde:

E_{AC} en MPa

P = Estabilidad Marshall en KN

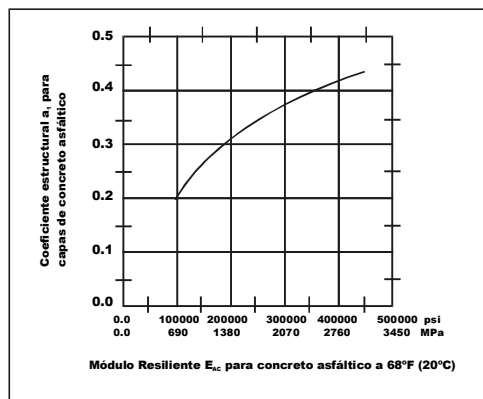
f = Fluencia en mm

T = Temperatura (para el cálculo se hará con T = 25°C)

Basados en la figura 2.5, de la sección II.18 de la guía Interina de la AASHTO, se obtiene un coeficiente de capa variable de acuerdo al Módulo de Elasticidad del Concreto Asfáltico (Módulo de Elasticidad entre 250,000 y 500,000).

El ábaco que aparece a continuación es de gran utilidad, debido a que en base a los resultados de laboratorio que se obtienen de las muestras de la mezcla asfáltica se puede determinar el coeficiente de capa.

Figura 4. Ábaco de relación entre el módulo resiliente del concreto asfáltico y el coeficiente estructural de capa de rodadura.



FUENTE: AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993, American Association of state Highway and transportation officials, edition 1993. Basados en la figura 2.5 de la sección II-18

1.2.9 Período de diseño

Es conocido también como período de análisis el cual es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cumplir. La AASHTO recomienda los siguientes tiempos de diseño:

Tabla III. Tiempos de diseño recomendados por AASHTO

TIPO DE CAMINO	PERIODO DE ANALISIS
Gran volumen de tránsito urbano	30 - 50 años
Gran volumen de tránsito rural	20 - 50 años
Bajo volumen pavimentado	15 - 25 años

1.2.10 Nivel de servicio

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de soportar la cantidad de tránsito para el cual ha sido diseñado. Se utiliza un índice de serviciabilidad presente (PSI) con el cual el pavimento es calificado entre 0 y 5, donde 0 significa que el pavimento se encuentra en pésimas condiciones y 5 significa que el pavimento está en perfecto estado.

En el diseño de un pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y la final, la serviciabilidad inicial p_o , es en función del diseño de pavimento y de la calidad de la construcción, la serviciabilidad final p_f , es en función de la categoría del camino.

1.2.11 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que la estructura de pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo los efectos del medio ambiente que tienen lugar en ese lapso de tiempo.

La AASHTO sugiere la siguiente fórmula para calcular la confiabilidad:

$$R(\%) = 100 * P(N_t > N_T)$$

Donde:

N_t = número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

N_T = número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su periodo de diseño.

1.2.12 Desviación estándar

La varianza $(DS)^2$ del comportamiento de la estructura de pavimento y del tránsito estimado en el periodo de diseño, pueden ser determinados para un caso de diseño en particular si se dispone de suficiente información o en caso contrario se pueden utilizar los valores sugeridos por la AASHTO para pavimentos flexibles:

$$0.44 \leq DS \leq 0.49$$

Dichos valores fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test donde se tomaba en cuenta el grado de error cometido a la hora de estimar el tránsito en el periodo de diseño, de tal forma que a mayor error estimado mayor el valor de la desviación estándar, a menor error estimado menor el valor de la desviación estándar a utilizar.

1.2.13 Determinación del número estructural

El método de diseño AASHTO 93 utiliza la siguiente fórmula de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.5}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

SN = número estructural en pulgadas

W_{18} = número de cargas de 18 kips previstas

Z_R = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

S_o = desviación estándar de todas las variables

Δ PSI = pérdida de serviciabilidad

M_R = módulo resiliente de la sub-rasante en psi

La ecuación anterior puede ser resuelta en forma manual lo cual es muy tedioso, de aquí radica la importancia de tener un programa de computación para efectuar dicha operación con exactitud y rapidez para obtener los resultados requeridos.

Con la fórmula de diseño anterior se obtiene el número estructural (SN) (*structural number*) y en función del mismo se determinan los espesores de capas que conforman el paquete estructural.

Dicho número estructural (SN) esta relacionado con los espesores de capa mediante la formula siguiente:

$$SN = a_1 m_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales

m_1, m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje

D_1, D_2, D_3 son los espesores de capa en pulgadas

La ecuación anterior no tiene una única solución, por lo tanto se tendrá una gran variedad de valores que la satisfacen.

Hasta aquí se ha tratado lo concerniente a los parámetros a utilizar a la hora de diseñar un pavimento flexible, la importancia de estos parámetros radica en que un pavimento desde sus inicios puede tener una deficiencia estructural.

1.3 Comentarios acerca de los ensayos de laboratorio a suelos usados frecuentemente en ingeniería vial

Al evaluar un pavimento existente los ensayos de laboratorio realizados a los distintos materiales utilizados en las capas del pavimento juegan un papel muy importante, debido a que éstos proporcionan información de gran valor a la hora de tomar decisiones con respecto al estado en que se encuentran los materiales de la estructura de pavimento.

Como se definió inicialmente el pavimento esta formado por varias capas de distintos materiales, como lo son suelos, agregados controlados y mezclas asfálticas. A continuación se hará una breve descripción sin entrar en detalle de los ensayos de laboratorio comúnmente utilizados en el análisis de los materiales.

1.3.1 Granulometría

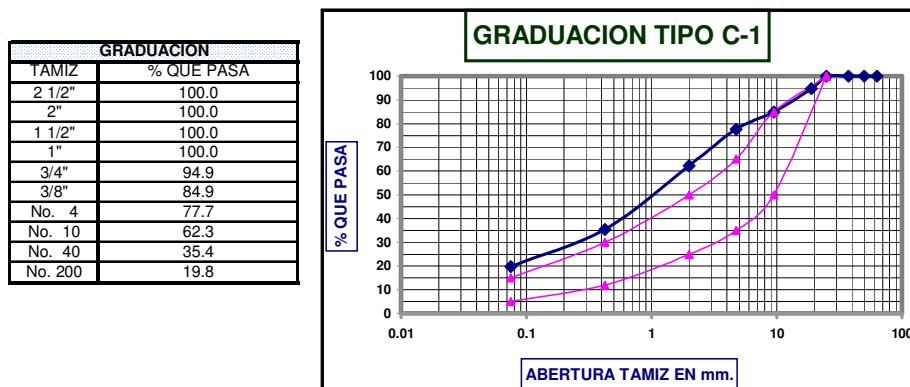
El análisis granulométrico consiste en determinar la distribución en tamaño de las partículas de una muestra representativa de material, expresado en porcentaje de peso de cada tamaño respecto a la muestra total analizada.

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo es una herramienta valiosa para el análisis de los mismos, ya que con ello se puede distinguir de los suelos finos, arenosos y granulares; así mismo al efectuar los ensayos, se puede elaborar las curvas granulométricas de los materiales y verificar que se encuentren dentro de las especificaciones establecidas.

El análisis granulométrico se puede realizar de dos formas; la primera mediante el tamizado, el cual puede ser por vía seca o húmeda, se utiliza para suelos con granos mayores a 0.0745 mm. (retienen Tamiz No. 200), “consiste en pasar el suelo por una serie de tamices dentro de una tamizadora, ubicando los tamices de mayor abertura en la parte superior y los de menor abertura abajo”; la segunda es por medio de sedimentación el cual se utiliza para suelos con partículas menores a 0.00745 mm. (pasan el tamiz No. 200), consiste en determinar la velocidad de sedimentación de partículas en un medio viscoso de acuerdo a la ley de Stokes.

Para el caso de las carreteras el más utilizado es el análisis granulométrico por tamizado, A continuación se presenta una curva granulométrica con la respectiva interpretación de resultados.

Figura 5. Representación gráfica de una granulometría



Como se puede observar en el grafico anterior el suelo presenta una granulometría dentro de especificaciones hasta el tamiz de 3/8" a partir de allí la curva se sale por arriba en los tamices restantes, como la curva de especificación de arriba representa los materiales finos se puede deducir que el suelo es muy fino.

1.3.2 Límites de consistencia

Se les conoce también como límites de Atterberg en honor al científico sueco A. Atterberg, éste científico propuso cinco límites de los cuales tres son los que más se utilizan en ingeniería vial, como son el límite líquido (L.L.), límite plástico (L.P.) y límite de contracción (L.C.), estos límites son contenidos de humedad típicos del suelo. Estas pruebas son muy simples de realizar y sirven para determinar las propiedades plásticas de los suelos arcillosos y limosos.

Como se sabe la plasticidad es la propiedad de los suelos de poder deformarse hasta cierto límite sin romperse, para determinar estos límites se debe utilizar suelo que pase el tamiz No. 40. Los límites líquido y plástico son muy importantes debido a que definen el intervalo de humedades dentro del cual el suelo puede ser amasado.

1.3.2.1 Límite líquido

El límite líquido es la capacidad del suelo de absorber agua, en otras palabras se define como la cantidad de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

Esto se puede explicar de otra manera así: Se tiene un suelo con un alto contenido de humedad (saturado) de manera tal que su resistencia al corte es nula, se dice que está en estado fluido; a ese suelo al quitarle agua, baja su contenido de humedad y llega un momento en que empieza a aparecer un poco de resistencia al corte, la cual según Atterberg determinó de 25 gr/cm^2 , cuando el contenido de humedad alcanza ese valor se dice que corresponde al límite líquido.

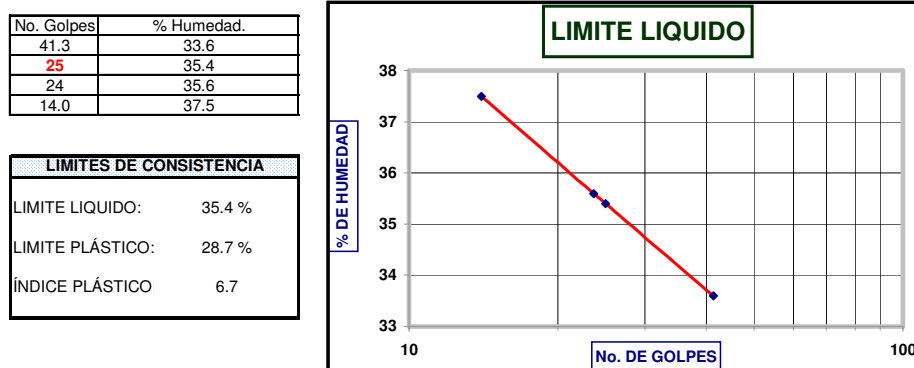
1.3.2.2 Límite plástico

Es el punto en el cual el suelo posee una cantidad de humedad tal que puede amasarse en cilindros de 3 mm. de diámetro sin llegar a resquebrajarse ni desmenuzarse. En otras palabras es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra de suelo que pasa el tamiz No. 40 secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Cuando un suelo cohesivo esta contaminado con materia orgánica su límite plástico se ve afectado por el contenido orgánico que tenga la muestra de suelo, debido a que eleva el valor del límite plástico sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por tal razón los suelos con contenido orgánico tienen un índice de plasticidad bajo y un límite líquido alto.

A la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se le conoce como índice de plasticidad del suelo (I.P.).

Figura 6. Gráfico de Límites de Atterberg



Un suelo con límite líquido alto tiene la característica de absorber gran cantidad de agua, estos suelos en época de verano no dan problema, pero cuando empieza el invierno absorben una gran cantidad de agua deformándose con el paso de los vehículos.

Por lo tanto cuando se esté evaluando un suelo se deberá prestar suma atención no sólo al límite plástico el cual nos indica de la presencia de arcilla en el mismo la cual es perjudicial debido al cambio volumétrico que experimenta al entrar en contacto con el agua; sino también al límite líquido el cual nos da un índice de la capacidad que tiene el suelo de absorber agua.

1.3.3 Humedad óptima y densidad seca máxima (Proctor)

Con el ensayo de Proctor lo que se pretende es determinar a que porcentaje de humedad se debe compactar un suelo para obtener la densidad seca máxima sin requerir de un sobreesfuerzo de la maquinaria o humano.

El comportamiento general de los suelos es que al incrementarse el contenido de humedad se obtienen densidades mayores. Esto en base a que el agua se comporta como un medio lubricante entre las partículas del suelo, permitiendo un acomodo de éstas cuando están bajo un esfuerzo de compactación. Si se aumenta demasiado la cantidad de agua se originan fuerzas hidrostáticas que no permitirán rellenar los vacíos tendiendo a separar las partículas, por lo tanto se deberá encontrar un contenido de humedad en el cual se logre una densidad seca máxima del suelo, a éste contenido de humedad se le llama humedad óptima.

Se debe prestar especial cuidado que no se va a obtener la misma densidad seca máxima con un suelo seco al cual se le agrega agua que con un suelo húmedo al cual se le quitará humedad. En base a lo anterior se tiene la experiencia que se obtienen densidades mayores con suelos secos a los cuales se les va agregando agua.

El contenido de humedad de una muestra de suelo, se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100$$

Donde:

w = Contenido de humedad del suelo

P_h = Peso del material húmedo compactado en el molde en gramos

P_s = Peso de la muestra seca en horno en gramos

La humedad óptima de compactación esta en función del tipo de suelo, aumentando ésta a medida que aumentan los límites líquido y plástico.

Un suelo en su estado natural presenta vacíos entre sus partículas los cuales muchas veces son rellenos por aire o por agua, el suelo presenta un mayor volumen cuando está suelto, al comprimirse éste su volumen disminuye, esto se puede lograr aplicando fuerzas externas a un suelo con el fin de reducir esos vacíos originando un incremento en la densidad.

El peso volumétrico seco se obtiene mediante el peso volumétrico húmedo y su correspondiente humedad de acuerdo a la siguiente fórmula:

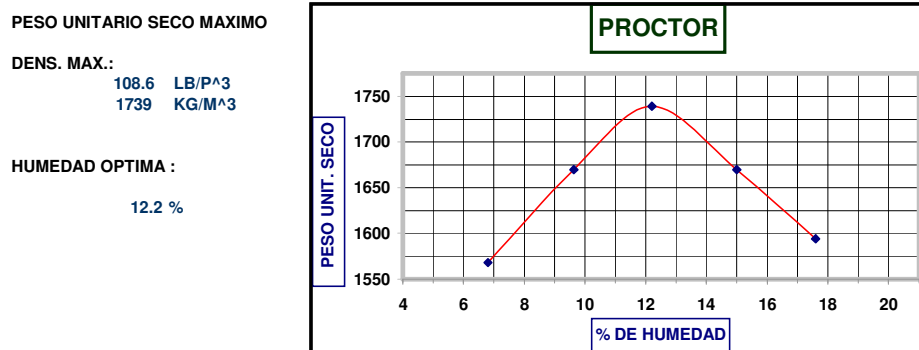
$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Se puede decir que al disminuir la cantidad de vacíos en un suelo se reduce su compresibilidad y aumenta la resistencia, a la vez se incrementa su densidad debido a que su volumen disminuye.

Para lograr lo mencionado en el párrafo anterior se debe realizar el ensayo de Proctor el cual se realiza a los suelos que pasan el tamiz No. 4, o que como máximo tengan un retenido de 10% en dicho tamiz siempre y cuando éste retenido pase totalmente por el tamiz de 3/8".

A continuación se da un ejemplo de resultados obtenidos en un ensayo de Proctor realizado a un suelo, en él se puede apreciar que la humedad óptima es de 12.2% y con ella se logra una densidad seca máxima de 1,739 Kg/m³.

Figura 7. Resultados de ensayo de Proctor



Más adelante se apreciará lo importante del ensayo de Proctor debido a que en base a los resultados de éste se originan otros análisis como lo son el C.B.R., densidades de campo para determinar el porcentaje de compactación.

1.3.4 Valor soporte California C.B.R. (*California Bearing Ratio*)

El valor soporte California o C.B.R. es un indicativo de la resistencia al esfuerzo cortante que posee un suelo bajo condiciones de densidad y humedad bien controladas.

El C.B.R. se expresa como un porcentaje del esfuerzo requerido para penetrar un pistón en el suelo a ensayar, relacionándolo con el esfuerzo que se requiere para penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón la cual es de una piedra triturada bien graduada. Ensayos de laboratorio realizados a una muestra de piedra triturada han determinado que posee una C.B.R. = 100%.

Con el fin de ensayar la muestra de suelo en su condición más crítica que pueda presentarse en el proyecto, las muestras que se utilizan para el ensayo de C.B.R. se sumergen en agua varios días hasta obtener su saturación.

Ésta saturación se puede medir en base al hinchamiento de la muestra, cuando ésta se encuentra saturada deja de cambiar su volumen por lo tanto deja de hinchar, el tiempo que va a requerir la muestra sumergida bajo agua depende de la plasticidad que contenga el suelo.

El valor relativo de soporte o C.B.R. puede calcularse de la siguiente manera:

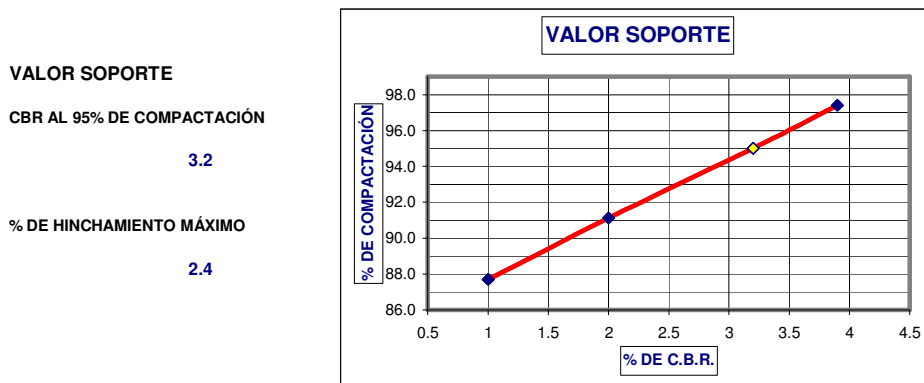
$$\text{C.B.R.} = \frac{P_2}{P_x} \times 100$$

Donde:

P_2 = Carga en Kg. que se requiere para penetrar 0.1” en suelo ensayado

P_x = Carga en Kg. que se requiere para penetrar 0.1” en piedra triturada

Figura 8. Resultados de ensayo de C.B.R.



Como se puede apreciar en el gráfico anterior el suelo analizado es en gran parte arcilloso debido a que en estado saturado tiene una baja resistencia a la penetración y un alto porcentaje de hinchamiento.

1.3.5 Densidad de campo (% compactación)

La compactación de un suelo se realiza con el objeto de mejorar las propiedades físico-mecánicas de éste, el proceso consiste en reducir los vacíos entre las partículas de un suelo comprimiéndolos por medios mecánicos o químicos con el fin de aumentar la densidad del suelo, incrementando la capacidad de soportar cargas y reduciendo la penetración del agua para evitar el esponjamiento del suelo.

Una buena compactación nos garantiza que el suelo tenga un comportamiento beneficioso para el pavimento, por lo tanto con el fin de evaluar el estado actual de una capa de base o sub-base de un pavimento se deben de realizar controles de calidad en el campo con el fin de determinar el grado de compactación que presentan en el lugar dichos materiales. Estos controles de calidad de la compactación hoy en día se pueden realizar de diferentes maneras unas más económicas que otras, uno de los ensayos de laboratorio más comunes y de bajo precio para determinar el porcentaje de compactación es mediante la toma de densidades de campo.

Las densidades de campo por medio de arena son ensayos de laboratorio que se efectúan en el lugar realizando una excavación de forma cilíndrica que se rellena con una arena calibrada en laboratorio central, en este ensayo tienen lugar varios parámetros como lo son: el peso unitario de la arena que se introduce dentro del cilindro excavado (arena calibrada), el porcentaje de humedad del material en el lugar, el volumen del agujero excavado, todos ellos con el objeto de determinar el peso unitario húmedo y el peso unitario seco de los materiales en el lugar.

$$\text{Volumen del agujero} = \frac{\text{Peso de la arena dentro del agujero}}{\text{Peso unitario de la arena calibrada}}$$

$$\text{Peso unitario Húmedo} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda}}{\text{Volumen del agujero}}$$

$$\text{Peso unitario Seco} = \frac{\text{Peso unitario Húmedo}}{100 + \% \text{ humedad}} \times 100$$

Al peso unitario seco del suelo obtenido se le conoce también como la densidad de campo.

Para determinar el porcentaje de compactación de un suelo se debe dividir el peso unitario seco obtenido sobre el peso unitario seco máximo obtenido del ensayo de proctor de esta forma:

$$\% \text{ de Compactación} = \frac{\text{P.U.S. de la muestra excavada}}{\text{P.U.S. máximo de la muestra excavada}}$$

1.3.6 Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena está relacionado con la distribución granulométrica del suelo, proporciona una idea del porcentaje relativo de materiales finos plásticos que contiene el suelo ensayado, el ensayo consiste en llenar una probeta con agua destilada y el suelo a ensayar, se agita en 90 ciclos de ida y vuelta luego se deja reposar por 20 minutos se toman lecturas de caídas de los finos a cada 2 minutos para las arcillas y de 1 minuto para las arenas; al llegar a los 20 minutos se determine el nivel de la superficie de arcilla, posteriormente se introduce una varilla con la cual se medirá la altura de pie

determinada por el punto donde se encuentra la superficie de arena con el objeto de medir el nivel de material granular.

El equivalente de arena se expresa en porcentaje y se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

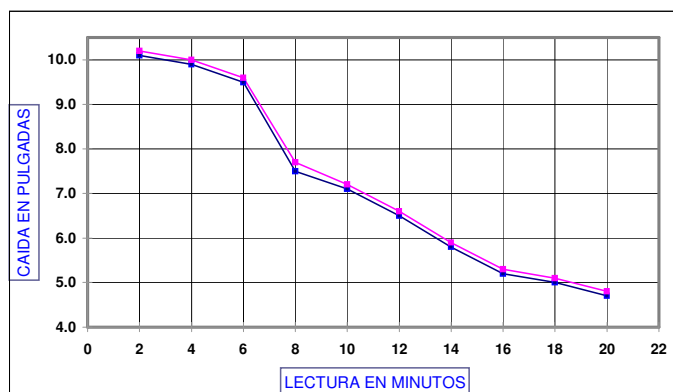
$$E.A. = \frac{\text{Lectura de superficie de arena}}{\text{Lectura de superficie de arcilla}} \times 100$$

La importancia del equivalente de arena es tal que las capas superiores de una estructura de pavimento deben tener un valor mayor que la capa inmediata inferior.

A continuación se presenta un ejemplo de resultados de laboratorio del ensayo de equivalente de arena.

Figura 9. Resultados de ensayo de Equivalente de Arena

EQUIVALENTE DE ARENA



PRUEBA	1	2	PROMEDIO % E.A.
ALTURA DE PIE	3.7	3.7	78.7
% EQUIVALENTE DE ARENA	78.7	78.7	

1.3.7 Abrasión

El ensayo de abrasión o desgaste es también conocido como ensayo de la máquina de los ángeles, básicamente consiste en colocar una muestra de una granulometría determinada del agregado a ensayar dentro del tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente en dicha máquina. Se añade un número determinado de esferas de acero y se aplica un número determinado de revoluciones que por lo regular es de 500 revoluciones.

El choque entre el agregado y las bolas de acero produce el desgaste por fricción e impacto el cual se mide mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Masa de la muestra seca antes del ensayo (grs)}}{\text{Masa de la muestra después del ensayo (grs)}} \times 100$$

A continuación se presenta una tabla con datos de utilidad a la hora de realizar ensayos de abrasión con muestras de 5,000 grs y a 500 revoluciones.

Tabla IV. Tipos de ensayos de abrasión

TIPO DE ABRASIÓN	TAMIZ No.	RETENIDO (GRS)	# DE ESFERAS
A	1"	1,250	12
	3/4"	1,250	
	1/2"	1,250	
	3/8"	1,250	
B	1/2"	2,500	11
	3/8"	2,500	
C	No. 4	2,500	8
	No. 8	2,500	
D	No. 16	5,000	6

1.3.8 Desintegración al sulfato

Por medio del ensayo de resistencia de los agregados a la acción de los sulfatos, se puede determinar la alteración que pueden sufrir los agregados cuando están expuestos al intemperismo.

Éste ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio, el sulfato de sodio es el más utilizado debido a que presenta resultados más rápidos con menor cantidad del químico.

Con el ensayo de desintegración al sulfato de sodio conocido también como (*soundnes*) se induce un desgaste acelerado, haciendo que el sulfato presente en los poros se cristalice al evaporar el agua por secado, con esto se crean presiones en el interior de las partículas y se tienen cambios de temperatura en el agregado.

La muestra a utilizar de agregado es de 5,000 gramos con partículas que su peso oscile entre 95 a 105 gramos. El porcentaje retenido individual de cada tamiz no debe ser menor del 5% para poder tomarlo como agregado representativo de la muestra.

Se prepara una solución de sulfato de sodio y agua y se mezcla con los agregados, se deja en reposo de 24 horas por cada ciclo luego se lava el agregado con agua caliente para eliminar la solución que quedo impregnada al agregado, se seca al sol o en horno a 105° C. y luego se le aplica nuevamente la solución del sulfato de sodio se repite éste procedimiento hasta completar 5 ó 6 ciclos.

Al terminar los ciclos se deberá pesar el agregado estando completamente seco para determinar el % de desgaste sufrido por el agregado.

1.3.9 Partículas Planas y Alargadas

La forma de las partículas incide de tal forma que afectan la resistencia y la respuesta de la mezcla asfáltica a los procesos de compactación. Si se consigue trabajar con un agregado de forma angular se puede llegar a tener un ángulo de fricción interna alto, por lo tanto se obtiene una alta resistencia al corte y por ende una alta resistencia al ahuellamiento. Al limitar las partículas alargadas se asegura que los agregados serán menos susceptibles a fractura durante el manipuleo y proceso constructivo.

1.4 Fallas en los pavimentos asfálticos

El comportamiento típico de todo pavimento ya sea de nueva construcción o después de una reparación, es que sus características iniciales se van degradando con el transcurso del tiempo. En muchos casos los pavimentos son dañados desde el mismo proceso constructivo por lo tanto se debe prestar atención tanto a los procesos mecánicos como térmicos que forman parte de la construcción del pavimento.

De lo anterior si un pavimento asfáltico es sometido al paso repetido de vehículos pesados, sufre una serie de deformaciones en la carpeta de rodadura los cuales se transforman en esfuerzos de tracción.

La acumulación de estos esfuerzos en dicha capa, dan origen a las microfisuras que con el tiempo fracturan todo el espesor de la carpeta de rodadura, debilitando la estructura del pavimento y permitiendo el paso del agua a las capas inferiores, todo esto viene a repercutir en la capacidad soporte y permite la aparición de deformaciones permanentes en dichas capas.

Son diversos los factores que inciden y determinan este proceso de deterioro, para una fácil comprensión se dividirán en dos tipos, por un lado tenemos los factores pasivos de deterioro los cuales están directamente ligados con las características propias del pavimento, como pueden ser los espesores, los materiales usados en la conformación de cada capa de la estructura de pavimento y hasta el mismo proceso de construcción.

Por otro lado se encuentran los factores activos los cuales son los principales responsables del deterioro en el pavimento, estos van desde el tránsito que circula en el pavimento, hasta los factores ambientales que reinan en el lugar.

Tanto los factores pasivos y activos de deterioro aceleran la aparición y posterior propagación de diversos tipos de fallas en los pavimentos.

Es de suma importancia reconocer las dos clases de fallas que pueden presentarse en un pavimento: La primera es la falla estructural en ella se produce un colapso de la estructura del pavimento o de uno o más de sus componentes lo que los hace incapaces de soportar las cargas impuestas por el tránsito. La segunda es la falla funcional este tipo de falla puede estar o no acompañada de la falla estructural, pero es tal, que causa grandes esfuerzos sobre los vehículos que transitan por el pavimento, ocasionando incomodidad al usuario debido a la alta rugosidad que presenta.

El deterioro en los pavimentos está relacionado con la insuficiente capacidad de los materiales que los conforman para soportar sin rotura las tensiones y deformaciones que originan las cargas del tránsito, cambios de temperatura y cambios de volumen de la sub-rasante como lo son asentamientos e hinchamientos.

El tipo de falla que se presentará en un pavimento asfáltico dependerá de cómo se conjuguen los factores siguientes: los efectos del tránsito, las características mecánicas de los materiales utilizados en la conformación de cada capa del pavimento, y el tipo de apoyo que la sub-rasante le proporcione a las capas superiores del pavimento asfáltico.

Entre las principales fallas que se originan en un pavimento asfáltico están las siguientes:

- 1. Agrietamientos o Fisuras**
- 2. Deformaciones**
- 3. Desintegración**
- 4. Exudación**

A continuación se da una breve explicación de los tipos de fallas más comunes en un pavimento asfáltico.

a) Grietas piel de cocodrilo

Son conjuntos de fisuras o grietas interconectadas formando pequeños polígonos irregulares, generalmente este tipo de falla es causado por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito.

Por lo general el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de soportar las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil, el ligante a envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de soportar las cargas repetidas del tránsito sin agrietarse.

b) Fisuras en bloque

Son fallas de forma similar a la piel de cocodrilo con la diferencia que son polígonos de mayor tamaño, las fisuras en bloque son serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm.

Entre las causas que originan este tipo de falla se encuentra la rigidez y contracción de la mezcla asfáltica debido a las variaciones diarias de temperatura, una sub rasante inestable, el despegue de la carpeta de rodadura debido a una deficiente aplicación del riego de liga esto hace que la carpeta trabaje en forma aislada al resto de capas del pavimento, otro motivo por el cual suele ocurrir este tipo de falla es en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento portland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento.

Por lo general el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tránsito; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

c) Fisuras transversales

Las fisuras transversales pueden originarse de dos maneras la primera por reflexión ésta se debe a la contracción del concreto asfáltico por bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto, al exceso de filler en la mezcla asfáltica, estas grietas no están asociadas a las cargas del tránsito, la segunda es por reflexión estas grietas se originan en los pavimentos asfálticos tendidos sobre

pavimentos hidráulicos, una de las causas es el movimiento de la losa de concreto hidráulico debido a cambios de temperatura y humedad. Otra posible causa es la mala ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas de mezcla asfáltica.

d) Fisuras longitudinales

Son fisuras que van en forma paralela al eje de la carretera entre las posibles causas que originan este tipo de falla se tiene: Junta defectuosa del pavimento entre un carril y otro, contracción del concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto, reflexión de fisuras causadas por movimiento excesivo de juntas o fisuras debajo del concreto asfáltico, deficiente confinamiento lateral por falta de hombros y bordillos que provocan un debilitamiento del pavimento, están relacionadas a las cargas del tránsito.

e) Fisuras en arco

Son fisuras en forma de media luna o cuarto creciente que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento.

Los factores que con frecuencia inducen a este tipo de falla están: la combinación de una mezcla asfáltica de baja estabilidad, una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa del pavimento, la falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, espesores de carpeta muy reducidos sobre superficies pulidas.

f) Fisuras de reflexión por junta entre losas de concreto hidráulico

Se presentan exclusivamente en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre una losa de concreto hidráulico con juntas, consiste en la propagación ascendente de las juntas del pavimento de concreto. Generalmente son causadas por el movimiento de las losas de concreto como resultados de cambios de temperatura o cambios en los contenidos de humedad.

g) Ahuellamiento

Hundimiento longitudinal continuo a lo largo de la superficie de rodadura, las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o sub-rasante.

Las deformaciones resultan de un acomodo de los materiales por efectos del tránsito, este tipo de falla indica una insuficiencia estructural del pavimento o una falta de estabilidad entre la sub-rasante y el pavimento.

Algunas de las causas que originan los ahuellamientos son: a) mala compactación de las capas del pavimento; b) contacto entre el agua y los materiales granulares de las distintas capas del pavimento debido a la acción de la presión del agua o saturación de la capa; c) mezcla asfáltica inestable; d) déficit estructural del pavimento mediante espesores menores a los que requiere; e) técnicas de construcción y control de calidad malos; f) utilización de materiales inadecuados.

h) Corrimiento

Distorsiones de la superficie de rodadura del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, algunas veces acompañados de levantamientos del material asfáltico formando cordones laterales.

Este tipo de falla es fácil de identificar en el campo debido a la observación de discontinuidad en la señalización horizontal de una carretera por efecto del corrimiento. Algunas de las causas del corrimiento son las siguientes: a) el uso de una mezcla asfáltica poco estable ya sea por un exceso de asfalto o por falta de vacíos; b) falta de confinamiento lateral; c) una inadecuada aplicación del riego de liga o de imprimación no permitiendo la adherencia entre la capa de rodadura y la base.

i) Corrugación

Son una serie de ondulaciones formadas por depresiones y crestas perpendiculares a la dirección del pavimento. Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales.

j) Hinchamiento

Abultamientos localizados en la superficie del pavimento generalmente presentan la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Su causa principalmente es por medio del hinchamiento de los suelos de subrasante al entrar en contacto con agua, en algunos casos se presenta acompañado por el fisuramiento de la superficie.

k) Hundimiento

Depresiones de la superficie del pavimento en un área localizada. Los hundimientos regularmente son causados por asentamientos de la sub-rasante, deficiencias durante la construcción o falta de mantenimiento a los drenajes.

l) Bache

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento. Los baches en una carretera son resultado de la conjunción de varios factores los cuales son: a) espesores insuficientes; b) defectos constructivos; c) filtración y retención de agua; d) acción abrasiva del tránsito en sectores débiles del pavimento; d) en áreas donde presentan falla piel de cocodrilo con alto grado de severidad, provocando la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento.

m) Peladura

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida del ligante asfáltico y posterior desprendimiento del agregado pétreo.

Alguna de las causas que originan las peladuras son: a) el asfalto ha perdido sus propiedades ligantes; b) la mezcla asfáltica tiene un porcentaje de asfalto muy bajo o el agregado esta sucio o tiene un alto grado de absorción; c) deficiencia en el proceso constructivo; d) la presencia en la superficie de rodadura de solventes derivados del petróleo como diesel o gasolina.

n) Desintegración de bordes

Ésta falla consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito, se hace presente en las carreteras donde no hay hombro o no está pavimentado. La causa principal es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el efecto destructivo de las cargas sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde.

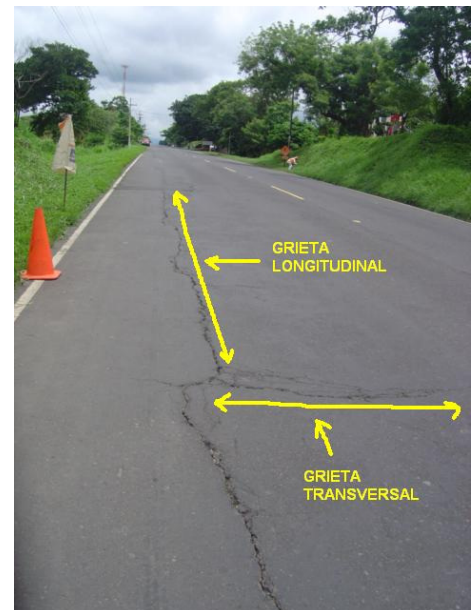
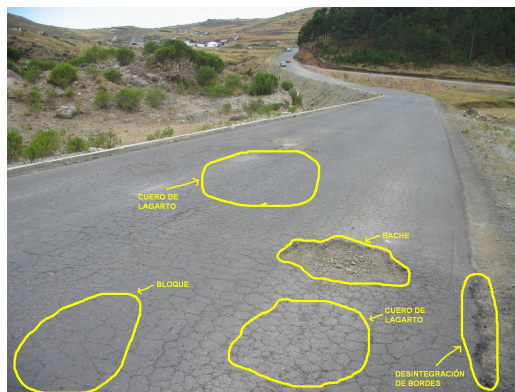
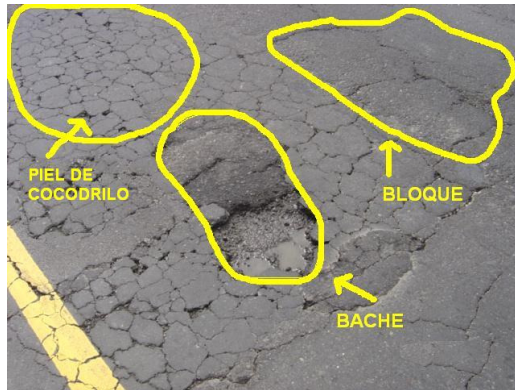
o) Exudación de asfalto

Consiste en el afloramiento del asfalto de la mezcla a la superficie de rodadura, formando una película continua de ligante la cual tiene como resultado una superficie brillante, reflectante, deslizante y pegajosa durante el tiempo calido.

La exudación es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas, además ocurre en mezclas con porcentajes de vacíos deficientes durante épocas calurosas, el ligante dilata llenando los vacíos y aflorando a la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo de frío el asfalto se acumula en la superficie.

A continuación se presenta una serie de fotos donde se muestran algunos tipos de fallas anteriormente descritas.

Figura 10. Algunos tipos de fallas en pavimentos asfálticos



2. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR EN LA EVALUACIÓN DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE

A la hora que se requiera evaluar el estado actual de un pavimento asfáltico existente, con el fin de establecer si en la actualidad cumple con los parámetros con el que fue diseñado, o para determinar el tiempo de vida del mismo con el objeto de definir el tipo de mantenimiento que necesita, hay varios procedimientos que se deben de realizar.

Estos procedimientos van desde la recolección de toda la información acerca de los parámetros de diseño del pavimento; visita de campo donde se hace un recorrido total del tramo para determinar el tipo y cantidad de fallas que se presentan en el pavimento; identificación de los aspectos negativos que influyen en la disminución de la capacidad soporte de cada capa del pavimento asfáltico como lo son: la presencia de humedad, falta de drenaje o en algunos casos sub drenajes, aumento del tránsito en mayor número que el proyectado en el diseño, etc; toma de muestras de los materiales de las distintas capas del pavimento existente para ser analizadas en laboratorio y determinar sus propiedades físico-mecánicas; y si el costo del proyecto lo permite realización de ensayos no destructivos (no obligado) para determinar las deflexiones y el número estructural que actualmente aporta el pavimento, esto puede realizarse mediante un deflectómetro por impacto (*Falling Weight Deflectometer, FWD*).

A continuación se detallan algunos procedimientos útiles a seguir en la evaluación de un pavimento asfáltico existente.

2.1 Recolección de información importante

Se deberá tener a disposición toda la información necesaria que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento, ésta información deberá contener lo siguiente:

- Numero de ejes equivalentes tipo 18 kips (ESAL)
- Proyección del crecimiento vehicular
- C.B.R. de diseño de la sub-rasante
- Parámetros de diseño utilizados
- Coeficientes de capa y drenaje utilizados en el diseño
- Numero estructural aportado por el pavimento

2.2 Inspección visual

Luego de haber conseguido la información de los parámetros de diseño del pavimento a evaluar, se procede a realizar las visitas de campo que sean necesarias con el fin de recopilar la mayor información posible del tramo, como lo es el tipo de falla que presenta si es que la tiene, el tipo de drenaje con el que cuenta, el clima que reina en la región, el tipo de vehículos que transitan por el tramo.

Se deberá recorrer en su totalidad el tramo a evaluar con el fin de tomar nota en que puntos se presentan las fallas así como del tipo de falla que aparece a lo largo del tramo, se deberán tomar fotografías en dichos puntos ya que ellas son de gran ayuda para deducir la causa del daño en el pavimento.

2.3 Muestreo de los materiales de las distintas capas del pavimento por medio de excavación de pozos a cielo abierto

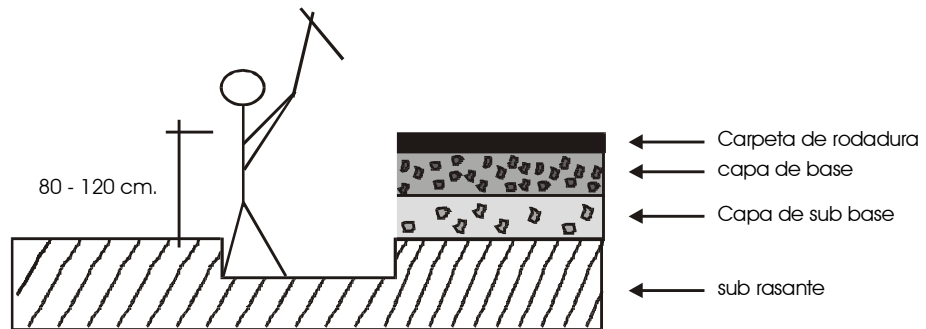
Luego de haber recopilado la mayor información posible por medio de la inspección visual realizada al tramo carretero, se procederá a obtener muestras de los materiales de las distintas capas de la estructura del pavimento así como de su espesor.

Esto se realiza en base a la excavación de pozos a cielo abierto con una profundidad entre 80 a 120 centímetros hay que hacer notar que esta profundidad varía cuando existen rellenos dentro del pavimento debido al diseño geométrico lo importante es realizar la excavación hasta encontrar el material de sub-rasante del lugar.

Se recomienda una distancia de 500 metros entre cada pozo con el fin de obtener la mayor cantidad de muestras de material que integra la estructura de pavimento existente a lo largo del tramo carretero, y construir un perfil estratigráfico que nos ayude visualmente a definir que partes del tramo poseen materiales con propiedades físico–mecánicas no favorables a la estructura del pavimento existente.

Las medidas del pozo a cielo abierto no están especificadas sin embargo lo que se debe tomar en cuenta es la libertad de espacio que tengan los excavadores para maniobrar las herramientas a utilizar conforme van profundizando en el pozo, un pozo con una sección de 80 por 120 centímetros da un área buena de maniobra para los excavadores.

Figura 11. Excavación de un pozo a cielo abierto en un pavimento



2.4 Toma de muestras de las distintas capas del pavimento

Se inicia el muestreo con la carpeta de rodadura se mide su espesor y se llevan fragmentos de la misma para ser analizada en laboratorio. Sin importar si la muestra de carpeta de rodadura fue una mezcla en caliente o mezcla en frío el procedimiento de muestreo es el mismo, se inicia con la limpieza de los fragmentos de carpeta de rodadura con el fin de que no valla contaminada con material de base.

Figura 12. Muestreo de carpeta de rodadura



Luego se excava una profundidad equivalente al espesor de la carpeta se retira ese material y se limpia correctamente los restos de la carpeta de rodadura que están sobre la capa de base esto con el fin de no contaminar el material de base, luego se sigue excavando aproximadamente 10 cm. hasta ese instante se toma muestra del material de la base y se mide el espesor de la misma este proceso se repite para la capa de sub-base, como se puede apreciar en las siguientes serie de fotografías.

Figura 13. Muestreo de capas de base y sub-base



En el momento de llegar a la profundidad donde se encuentra la sub-rasante se retira el material sobrante de las capas que estaban sobre la sub-rasante y se excava a una profundidad tal que sea suficiente el material muestreado para realizarle los ensayos de laboratorio respectivos.

Figura 14. Muestreo de la sub rasante



Figura 15. Ejemplo de un pozo a cielo abierto terminado



La cantidad de material muestreado que se necesita para realizar los ensayos de laboratorio es de 30 a 40 kilogramos, se debe recalcar que la muestra obtenida sea representativa del material que se encuentra en cada capa para que los resultados de los ensayos de laboratorio sean un reflejo de lo que sucede en las capas del pavimento.

Se debe hacer énfasis en que en el momento de realizar la excavación no se deben mezclar los materiales encontrados en las distintas capas de la estructura de pavimento, debiéndose apilar en distintos lugares para que a la hora de rellenar el pozo se coloque de la misma manera como se encontró inicialmente.

Es muy importante que en el momento de realizar las excavaciones se deberá evitar a toda costa que el agua pluvial entre en contacto con las capas de la estructura de pavimento, ya que esto ocasionará en un futuro próximo un bache dentro del pavimento, por lo tanto se deberá realizar un bacheo en cada pozo con la finalidad de dejar impermeable el área donde se realizó el pozo a cielo abierto, la serie de fotos que a continuación se presenta ilustra lo antes mencionado.

Figura 16. Ejemplo de un pozo a cielo abierto terminado y posteriormente impermeabilizado mediante un bacheo menor.

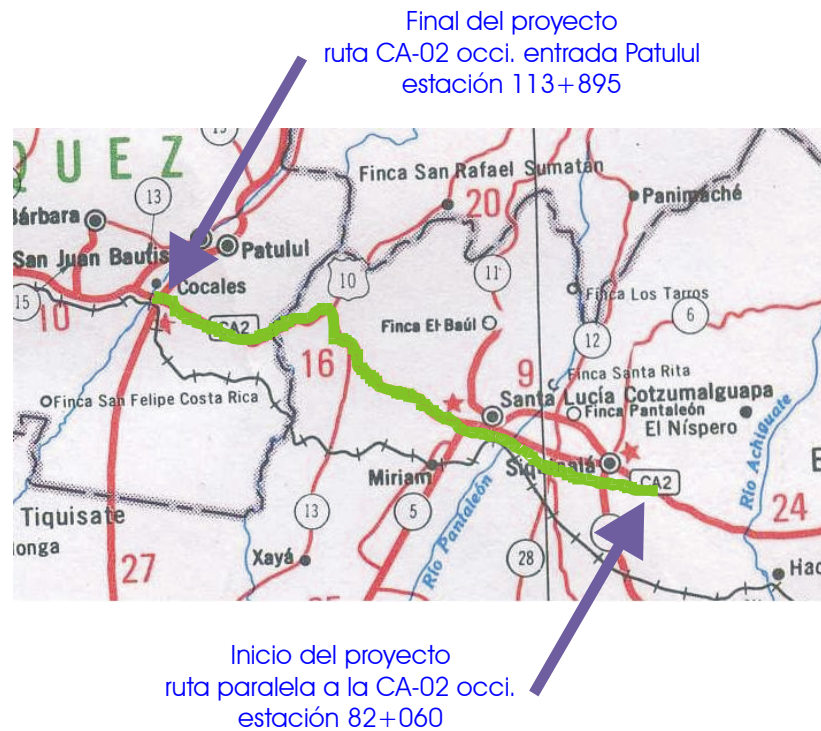


Toda muestra obtenida será enviada a un laboratorio de suelos y mezclas asfálticas con el fin de que se les realice los ensayos respectivos para poder determinar sus propiedades físico-mecánicas, por lo tanto cada muestra deberá ir bien identificada.

3. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE

Con el fin de poner en práctica lo antes mencionado se realizó la evaluación de la carretera CA-02 occidente tramo Siquinalá –Cocales, dicho tramo inicia en la estación 82+060 en la bifurcación hacia el periférico donde se bordea los municipios de Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla luego en la estación 93+500 cae sobre la CA-02 occidente hacia el municipio de Cocales del departamento de Suchitepequez finalizando en la estación 113+895 en la entrada hacia Patulul, dicho tramo carretero tiene una longitud de 31.8 kilómetros en 2 carriles, a continuación se presenta un croquis de la ubicación del proyecto el cual consistirá en la ampliación a 4 carriles del tramo.

Figura 17. Croquis de ubicación del tramo carretero a evaluar la estructura de pavimento asfáltico



Como primer paso se procedió a recopilar toda la información necesaria para dicha evaluación, esta información incluye los parámetros de diseño utilizados en el diseño original como son: el número de ejes equivalentes a 18,000 libras proyectados para el tiempo de diseño; el valor de C.B.R. de diseño de la subrasante a lo largo del tramo; espesores de capas del diseño; numero estructural aportado por la estructura de pavimento.

A continuación se presentan unas tablas resumen de la información recolectada del tramo.

Tabla V.: Parámetros de diseño original del tramo: Siquinalá – Cocales

CONFIABILIDAD	90%
SERVICIABILIDAD INICIAL	4.2
SERVICIABILIDAD FINAL	2.5
EJES EQUIVALENTES (ESAL) 20 AÑOS	58,166,946
FACTOR DE CARRIL	0.5
EJES EQUIVALENTES (ESAL) 20 AÑOS DISEÑO	29,083,473
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.45
CAPA DE CONCRETO ASFALTICO	10 cm.
COEFICIENTE DE CAPA DE CONCRETO ASFALTICO	0.40
COEFICIENTE DE DRENAJE DE CONCRETO ASFALTICO	1.00
CAPA DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO	10 cm.
COEFICIENTE DE CAPA ESTABILIZADA CON CEMENTO	0.15
COEFICIENTE DE DRENAJE DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO	1.00
CAPA DE BASE GRANULAR	20 cm.
COEFICIENTE DE CAPA DE BASE GRANULAR	0.12
COEFICIENTE DE DRENAJE DE CAPA DE BASE GRANULAR	0.90
CAPA DE SUB BASE GRANULAR	20 cm.
COEFICIENTE DE CAPA DE SUB BASE GRANULAR	0.11
COEFICIENTE DE DRENAJE DE CAPA DE SUB BASE GRANULAR	0.90

Debido a que en el tiempo en que se realizó el diseño del tramo carretero de la CA-02 occidente no se conocía la metodología de AASHTO el cual entró en vigencia en 1986 se estimaron los parámetros necesarios en base al tipo de carretera de acuerdo a dicha metodología.

A continuación se presentan las dos estructuras de pavimento que se pretenden colocar en el tramo existente como para la ampliación a 4 carriles.

Tabla VI. Estructura de pavimento del diseño original para el tramo

TRAMO EXISTENTE	
C.B.R. DE DISEÑO	5.50%
MODULO DE RESILENCIA SUB RASANTE	8,250
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ($SN_{REQ.}$)	5.58
CARPETA DE RODADURA CONCRETO ASFALTICO	13.00 cm.
BASE NEGRA RECICLADA	12.00 cm.
BASE EST. CON CEMENTO EXISTENTE	25.00 cm.
SUB BASE GRANULAR EXISTENTE	25.00 cm.
NUMERO ESTRUCTURAL APORTADO ($SN_{APORT.}$)	5.66

Tabla VII. Estructura de pavimento para el tramo de ampliación a 4 carriles

TRAMO EXISTENTE	
C.B.R. DE DISEÑO	5.50%
MODULO DE RESILENCIA SUB RASANTE	8,250
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ($SN_{REQ.}$)	5.58
CARPETA DE RODADURA CONCRETO ASFALTICO	15.00 cm.
BASE NEGRA EN CALIENTE	15.00 cm.
SUB BASE GRANULAR NUEVA	25.00 cm.
NUMERO ESTRUCTURAL APORTADO ($SN_{APORT.}$)	5.63

Luego de recopilar toda la información posible del tramo carretero se procedió a realizar una visita de campo con el fin de determinar el estado actual de la estructura de pavimento e identificar el tipo de falla encontrada y los posibles factores que influyen en el surgimiento de las fallas.

De acuerdo a la visita de campo realizada al proyecto a lo largo del tramo se pudo apreciar que un alto porcentaje del mismo presenta deficiencias tales como baches, grietas transversales, longitudinales, cuero de lagarto, etc. lo cual puede ser atribuido a diferentes factores dentro de los cuales se pueden destacar la insuficiencia de soportar las cargas impuestas por el incremento en el tránsito, falta de drenajes, etc.

A continuación se presenta una serie de fotografías de algunas fallas encontradas en el proyecto.

Figura 18. Fallas identificadas mediante la visita de campo al proyecto



Figura 19. Fallas identificadas mediante la visita de campo al proyecto



Terminada la visita de campo para identificar los tipos de fallas y los aspectos negativos que influyen en el apareamiento de las mismas se procedió a tomar muestras de los materiales de las distintas capas del pavimento existente mediante la excavación de pozos a cielo abierto.

Para determinar el estado actual de la estructura de pavimento existente se realizaron un total de 32 pozos a cielo abierto aleatoriamente a lo largo del trazo geométrico de la carretera actual, esto con el fin de tomar los espesores de capas que conforman la estructura de pavimento, así como el muestreo de los distintos materiales encontrados en el pavimento que actualmente existe en el proyecto.

A la vez se realizaron 28 pozos a cielo abierto aleatoriamente a los lados de la carretera con el objeto de determinar el tipo de material que se encuentra en la parte donde se colocará la sección ampliada donde Irán los nuevos carriles, las muestras obtenidas se trasladaron al laboratorio de suelos y mezclas asfálticas para realizarle los ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor, C.B.R y a las que les corresponda equivalente de arena, a demás se obtuvieron muestras de la superficie de rodadura retirada con el fin de remoldear briquetas para analizar la mezcla asfáltica utilizada en el tramo.

A continuación se presentan algunas fotografías de la excavación de los pozos a cielo abierto.

Figura 20. Fotografías de excavación de pozos a cielo abierto para muestrear los materiales del pavimento



Mediante las excavaciones se pudo determinar los espesores y las capas que actualmente integran la estructura de pavimento del tramo, a continuación se presentan los espesores de cada capa encontradas.

Tabla VIII. Espesores de cada capa encontrados en las excavaciones

ESTACIÓN	LADO	CAPA	ESPESOR (cm.)	ESTACIÓN	LADO	CAPA	ESPESOR (cm.)
82+060	L.D.	CARPETA	15.0	90+500	L.D.	CARPETA	13.0
		BASE	30.0			BASE	22.0
		RELLENO	120.0			SUB BASE	20.0
82+500	L.D.	CARPETA	12.0	91+000	L.D.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			BASE	30.0
		RELLENO	66.0			RELLENO	110.0
83+000	L.I.	CARPETA	12.0	91+500	L.I.	CARPETA	12.0
		BASE	30.0			BASE	28.0
		SUB BASE	15.0			RELLENO	94.0
83+500	L.I.	CARPETA	13.0	92+000	L.I.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	20.0
		RELLENO	60.0			RELLENO	135.0
84+000	L.I.	CARPETA	13.0	92+500	L.D.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	22.0
		RELLENO	40.0			RELLENO	56.0
84+500	L.I.	CARPETA	13.0	93+890	L.D.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	10.0
		RELLENO	50.0			BASE	30.0
85+000	L.I.	CARPETA	14.0	94+390	L.I.	CARPETA	10.0
		BASE	37.0			SUELO CEMENTO	15.0
		RELLENO	60.0			BASE	20.0
85+500	L.I.	CARPETA	14.0	94+890	L.D.	RELLENO	20.0
		BASE	30.0			CARPETA	10.0
		RELLENO	30.0			SUELO CEMENTO	18.0
86+000	L.I.	CARPETA	15.0	95+390	L.I.	RELLENO O BASE	15.0
		BASE	30.0			RELLENO	23.0
		SUB BASE	30.0			CARPETA	10.0
86+500	L.I.	CARPETA	15.0	95+890	L.D.	SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	30.0			BASE	15.0
		RELLENO	50.0			CARPETA	8.0
87+000	L.I.	CARPETA	14.0	96+390	L.I.	SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	30.0			BASE	30.0
		RELLENO	90.0			SUB BASE	10.0
87+500	L.D.	CARPETA	14.0	96+890	L.I.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	12.0
		RELLENO	42.0			BASE	20.0
88+000	L.I.	CARPETA	15.0	97+390	L.D.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			BASE	15.0
		RELLENO	40.0			SUB BASE	42.0
88+500	L.D.	CARPETA	15.0	97+890	L.D.	CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	20.0
		RELLENO	40.0			BASE	30.0
89+000	L.I.	CARPETA	15.0	98+390	L.I.	SUB BASE	40.0
		BASE	30.0			CARPETA	10.0
		SUB BASE	30.0			SUELO CEMENTO	10.0
89+500	L.D.	CARPETA	12.0	98+890	L.I.	BASE	40.0
		BASE	20.0			CARPETA	8.0
		SUB BASE	23.0			SUELO CEMENTO	10.0
90+000	L.I.	CARPETA	12.0	98+890	L.I.	BASE	30.0
		BASE	20.0			CARPETA	10.0
		SUB BASE	23.0			SUELO CEMENTO	10.0

Tabla IX. Espesores de cada capa encontrados en las excavaciones

ESTACIÓN	LADO	CAPA	ESPESOR (cm.)	ESTACIÓN	LADO	CAPA	ESPESOR (cm.)
99+390	L.D.	CARPETA	10.0	107+390	L.D.	CARPETA	10.0
		SUELO CEMENTO	15.0			SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	30.0			BASE	30.0
99+890	L.D.	CARPETA	10.0	107+890	L.D.	SUB BASE	20.0
		SUELO CEMENTO	20.0			CARPETA	11.0
		RELLENO	30.0			SUELO CEMENTO	10.0
100+390	L.I.	CARPETA	10.0	108+390	L.I.	BASE	20.0
		SUELO CEMENTO	10.0			RELLENO	55.0
		RELLENO O BASE	30.0			CARPETA	10.0
100+890	L.I.	CARPETA	15.0	108+890	L.I.	SUELO CEMENTO	10.0
		SUELO CEMENTO	20.0			BASE	20.0
		BASE	25.0			RELLENO	45.0
101+390	L.D.	CARPETA	8.0	108+890	L.I.	CARPETA	10.0
		SUELO CEMENTO	12.0			SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	30.0			BASE	30.0
		RELLENO	20.0			SUB BASE	20.0
101+890	L.D.	CARPETA	10.0	109+390	L.D.	RELLENO	12.0
		SUELO CEMENTO	20.0			CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	10.0
		SUB BASE	25.0			BASE	20.0
102+390	L.I.	RELLENO	20.0	109+890	L.D.	CARPETA	10.0
		CARPETA	9.0			SUELO CEMENTO	10.0
		SUELO CEMENTO	15.0			BASE	20.0
		BASE	30.0			SUB BASE	20.0
102+890	L.I.	CARPETA	8.0	110+390	L.I.	CARPETA	10.0
		SUELO CEMENTO	20.0			SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	45.0			BASE	20.0
		RELLENO	10.0			SUB BASE	20.0
103+390	L.D.	CARPETA	11.0	110+890	L.I.	CARPETA	10.0
		SUELO CEMENTO	20.0			SUELO CEMENTO	10.0
		BASE	30.0			BASE	30.0
103+890	L.D.	CARPETA	12.0	111+390	L.D.	RELLENO	20.0
		SUELO CEMENTO	10.0			CARPETA	10.0
		BASE	30.0			BASE	40.0
104+390	L.I.	CARPETA	12.0	111+890	L.D.	SUB BASE	20.0
		SUELO CEMENTO	10.0			CARPETA	10.0
		BASE	20.0			SUELO CEMENTO	10.0
104+890	L.I.	CARPETA	10.0	112+390	L.I.	BASE	30.0
		SUELO CEMENTO	10.0			RELLENO	15.0
		BASE	20.0			CARPETA	10.0
		SUB BASE	40.0			SUELO CEMENTO	10.0
105+390	L.D.	CARPETA	10.0	112+890	L.I.	BASE	30.0
		SUELO CEMENTO	10.0			CARPETA	10.0
		BASE	30.0			SUELO CEMENTO	10.0
105+890	L.D.	CARPETA	10.0	113+390	L.D.	BASE	30.0
		SUELO CEMENTO	15.0			CARPETA	10.0
		BASE	20.0			SUELO CEMENTO	10.0
106+390	L.I.	CARPETA	12.0	113+895	L.D.	BASE	30.0
		SUELO CEMENTO	20.0			CARPETA	15.0
		BASE	25.0			SUELO CEMENTO	10.0
106+890	L.I.	CARPETA	10.0			BASE	30.0
		SUELO CEMENTO	15.0			RELLENO	20.0
		RELLENO	130.0				

Posteriormente las muestras obtenidas fueron trasladadas al laboratorio de suelos y mezclas asfálticas para realizarlos los ensayos respectivos. A continuación se presentan 3 tablas resumen de los resultados de laboratorio.

Tabla X. Tabla resumen de resultados de laboratorio de la sub-rasante

estación	% Pasa Malla No.4	% Pasa Malla No.40	% Pasa Malla No.200	Límite Líquido	Índice Plástico	Densidad Máxima Lbs./pie3	Humedad Optima	C.B.R al 95 %	% Hincha	Equivalente Arena	Clasificación AASHTO
82+060	72.2	45.6	34.8	17.8	N.P.	104.1	18.8	50.2	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
82+500	75.4	42.8	34.2	17.7	N.P.	103.8	18.7	51.1	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
83+000	73.4	42.0	35.0	17.9	N.P.	103.6	19.0	55.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (2)
83+500	96.7	64.5	28.7	21.3	N.P.	98.8	23.3	35.5	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
84+000	96.8	62.3	30.5	21.4	N.P.	98.9	23.2	35.7	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
84+500	95.3	64.7	29.7	21.2	N.P.	98.8	23.3	32.3	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
85+000	92.3	71.1	45.2	42.5	4.3	85.4	30.3	16.7	0.7	-----	A - 5 (0)
85+500	91.5	70.5	46.4	42.7	4.6	85.0	30.2	17.8	0.8	-----	A - 5 (1)
86+000	97.1	63.4	28.6	21.3	N.P.	85.6	30.1	17.2	0.8	-----	A - 5 (1)
86+500	97.0	62.0	30.0	21.2	N.P.	99.0	23.5	37.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
87+000	81.1	52.8	17.8	N.L.	N.P.	112.7	10.6	19.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
87+500	81.0	53.4	16.6	N.L.	N.P.	112.5	10.5	19.9	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
88+000	82.3	54.7	18.9	N.L.	N.P.	112.4	10.4	20.3	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
88+500	78.2	52.8	17.2	N.L.	N.P.	112.5	10.6	20.2	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
89+000	82.2	56.6	18.9	N.L.	N.P.	113.0	10.6	19.7	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
89+500	79.3	51.8	16.0	N.L.	N.P.	111.8	10.5	20.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
90+000	88.6	41.2	14.4	N.L.	N.P.	117.6	11.4	51.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
90+500	89.0	42.0	15.7	N.L.	N.P.	117.5	11.5	53.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
91+000	87.0	40.2	13.4	N.L.	N.P.	116.7	11.3	52.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
91+500	87.3	41.0	14.3	N.L.	N.P.	117.9	11.4	53.2	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
92+000	83.4	57.8	40.1	28.4	5.7	107.1	18.3	12.1	0.1	-----	A - 4 (0)
93+000	82.5	53.4	42.8	28.2	5.6	106.7	18.2	11.7	0.1	-----	A - 4 (0)
94+390	82.3	56.9	39.2	28.8	5.8	105.3	18.3	13.0	0.1	-----	A - 4 (0)
94+890	67.1	50.8	33.5	29.9	2.9	106.9	15.5	36.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
95+390	81.1	57.3	38.8	28.6	5.9	105.9	18.3	13.1	0.1	-----	A - 4 (0)
95+890	80.7	58.9	39.9	28.7	6.2	106.7	18.4	12.6	0.1	-----	A - 4 (0)
96+390	98.7	93.2	82.2	40.5	3.4	93.5	27.3	6.7	0.1	-----	A - 4 (5)
96+890	99.3	92.1	80.7	40.2	3.5	93.3	27.4	6.5	0.1	-----	A - 4 (5)
97+390	99.0	94.4	84.4	40.3	3.3	93.4	27.2	6.9	0.1	-----	A - 4 (5)
97+890	98.8	92.3	82.2	40.2	2.9	93.3	27.1	6.8	0.1	-----	A - 4 (5)
98+390	98.9	91.1	81.3	40.4	3.2	92.9	27.2	6.8	0.1	-----	A - 4 (5)

Tabla XI. Tabla resumen de resultados de laboratorio de la sub-rasante

estación	% Pasa Malla No.4	% Pasa Malla No.40	% Pasa Malla No.200	Límite Líquido	Índice Plástico	Densidad Máxima Lbs./pie3	Humedad Óptima	C.B.R al 95 %	% Hinch	Equivalente Arena	Clasificación AASHTO
98+890	98.2	91.6	82.7	40.3	3.0	92.8	27.3	6.6	0.1	-----	A - 4 (5)
99+390	98.4	92.7	83.1	40.2	3.1	92.8	27.1	6.2	0.1	-----	A - 4 (5)
99+890	98.6	91.3	75.2	43.4	14.6	86.1	33.4	4.2	3.1	-----	A - 7 - 6 (11)
100+390	98.5	91.8	76.2	43.8	14.7	86.0	33.4	4.5	3.0	-----	A - 7 - 6 (12)
100+890	98.4	90.0	77.4	43.5	14.5	85.7	33.5	4.4	3.0	-----	A - 7 - 6 (12)
101+390	89.5	79.3	61.5	39.1	7.7	90.9	27.5	6.7	0.4	-----	A - 4 (4)
101+890	87.1	78.3	65.4	46.4	11.3	83.5	34.3	12.8	0.3	-----	A - 7 - 5 (8)
102+390	85.2	74.2	68.7	46.8	11.8	83.1	34.4	13.4	0.3	-----	A - 7 - 5 (8)
102+890	86.5	77.2	66.9	46.6	11.5	83.4	34.3	15.0	0.2	-----	A - 7 - 5 (8)
103+390	88.2	76.6	63.6	46.8	11.6	83.0	34.1	13.5	0.3	-----	A - 7 - 5 (8)
103+890	85.5	75.6	66.9	46.9	11.8	83.5	34.3	12.4	0.3	-----	A - 7 - 5 (8)
104+390	90.7	61.5	35.7	N.L.	N.P.	93.5	14.5	23.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
104+890	86.3	63.7	34.2	N.L.	N.P.	94.8	14.2	26.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
105+390	89.6	62.3	35.9	N.L.	N.P.	94.4	14.2	24.5	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
105+890	92.3	63.4	35.0	N.L.	N.P.	94.8	14.3	24.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
106+390	92.1	64.5	35.4	N.L.	N.P.	95.0	14.2	24.9	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
106+890	92.8	65.9	34.6	N.L.	N.P.	95.6	14.1	23.4	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
107+390	97.6	85.8	62.0	36.2	12.8	99.1	23.8	5.6	2.6	-----	A - 6 (6)
107+890	53.0	28.7	16.1	35.6	8.3	124.6	10.9	30.2	0.2	-----	A - 1 - b (0)
108+390	68.3	49.3	28.4	N.L.	N.P.	90.7	15.8	43.2	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
108+890	97.8	86.3	64.7	36.1	12.9	98.9	23.7	5.4	2.5	-----	A - 6 (7)
109+390	63.4	49.8	28.3	N.L.	N.P.	90.4	15.6	37.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
109+890	67.7	48.5	27.5	N.L.	N.P.	90.1	15.8	40.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
110+390	65.3	48.7	24.6	N.L.	N.P.	90.6	15.9	42.2	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
110+890	86.5	56.4	28.7	N.L.	N.P.	95.2	23.2	26.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
111+390	66.5	46.5	29.3	N.L.	N.P.	90.9	15.8	36.3	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
111+890	68.9	48.2	26.2	N.L.	N.P.	91.0	15.9	32.8	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
112+390	78.4	51.0	20.8	N.L.	N.P.	100.8	20.2	60.0	0.0	-----	A - 2 - 4 (0)
112+890	99.2	93.1	83.2	48.5	15.0	81.5	39.1	2.6	2.4	-----	A - 7 - 5 (15)
113+390	99.0	92.2	82.8	48.6	15.0	80.8	39.0	2.3	2.5	-----	A - 7 - 5 (15)
113+895	99.3	92.5	81.1	48.6	14.4	81.6	39.1	3.2	2.4	-----	A - 7 - 5 (14)

Tabla XII. Tabla resumen de resultados de laboratorio de las capas de sub-base y base

CAPA DE BASE											
estación	% Pasa Malla No.4	% Pasa Malla No.40	% Pasa Malla No.200	Límite Líquido	Índice Plástico	Densidad Máxima Lbs./pie3	Humedad Óptima	C.B.R al 95 %	% Hinch	Equivalente Arena	Clasificación AASHTO
82+060 - 93+000	68.6	27.3	4.0	N.L.	N.P.	123.0	8.4	56.0	0.0	81.0	A - 1 - b (0)
93+500 - 98+000	68.4	28.3	4.7	N.L.	N.P.	124.1	8.6	54.0	0.0	76.4	A - 1 - b (0)
98+000 - 105+390	54.8	26.9	7.2	N.L.	N.P.	115.7	9.4	73.0	0.0	66.8	A - 1 - a (0)
105+890 - 108+090	56.4	28.7	6.8	N.L.	N.P.	117.3	9.0	72.0	0.0	64.7	A - 1 - a (0)
108+590 - 113+895	64.1	32.5	3.2	N.L.	N.P.	124.5	9.1	74.0	0.0	41.7	A - 1 - a (0)
CAPA DE SUB-BASE											
estación	% Pasa Malla No.4	% Pasa Malla No.40	% Pasa Malla No.200	Límite Líquido	Índice Plástico	Densidad Máxima Lbs./pie3	Humedad Óptima	C.B.R al 95 %	% Hinch	Equivalente Arena	Clasificación AASHTO
82+060 - 89+395	73.7	32.3	17.0	22.3	4.4	127.4	9.4	74.0	0.0	41.1	A - 2 - 4 (0)
89+895 - 95+395	72.4	33.4	18.4	22.8	4.6	126.3	9.8	72.4	0.0	42.1	A - 2 - 4 (0)
95+895 - 103+395	72.1	33.5	19.7	23.7	5.2	126.4	9.6	72.1	0.0	42.8	A - 2 - 4 (0)
103+895 - 110+395	74.8	33.6	15.2	24.7	4.8	128.9	9.8	70.5	0.0	40.7	A - 2 - 4 (0)
110+895 - 113+895	73.8	33.6	19.2	23.5	4.2	126.8	9.1	70.5	0.0	45.8	A - 2 - 4 (0)

Ya que se tienen los resultados de los ensayos de laboratorio se procede a determinar el C.B.R. de diseño de la sub-rasante por medio de la metodología propuesta en el Apéndice J por la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 93', en la cual se definen tramos homogéneos de acuerdo al valor respuesta del material de sub-rasante de donde se utiliza el promedio aritmético de los resultados; sin embargo debido a que el coeficiente de varianza obtenido de cada uno de los tramos homogéneos seleccionados presentan valores muy altos, se decidió utilizar el criterio del percentil 85 por cada tramo.

Tabla XIII. Metodología propuesta en el Apéndice J

Estación	Valor respuesta del pavimento (ri)	Intervalo Número (n)	Inter. de dist. (Δxi)	Interv. dist. acum. ($\Sigma \Delta xi$)	Prom. valor respuesta pavimento (ri)	Area del Intervalo (ai)	Areas Acum. Σai	Valor Zx , $Zx = \frac{\Sigma ai - F * \Sigma \Delta xi}{\dots}$
82+060	55.0	1	0.00	0.00	55.00	0.00	0.00	0.000
82+800	35.5	2	0.74	0.74	35.50	26.27	26.27	10.180
83+500	35.7	3	0.70	1.44	35.70	24.99	51.26	19.950
84+300	32.3	4	0.80	2.24	32.30	25.84	77.10	28.396
85+000	16.7	5	0.70	2.94	16.70	11.69	88.79	24.866
85+500	17.8	6	0.50	3.44	17.80	8.90	97.69	22.895
86+000	17.2	7	0.50	3.94	17.20	8.60	106.29	20.623
86+500	37.0	8	0.50	4.44	37.00	18.50	124.79	28.252
87+000	19.8	9	0.50	4.94	19.80	9.90	134.69	27.281
87+500	19.9	10	0.50	5.44	19.90	9.95	144.64	26.359
88+000	20.3	11	0.50	5.94	20.30	10.15	154.79	25.638
88+500	20.2	12	0.50	6.44	20.20	10.10	164.89	24.866
89+000	19.7	13	0.50	6.94	19.70	9.85	174.74	23.845
89+500	20.0	14	0.50	7.44	20.00	10.00	184.74	22.974
90+000	51.0	15	0.50	7.94	51.00	25.50	210.24	37.602
90+500	53.0	16	0.50	8.44	53.00	26.50	236.74	53.231
91+000	52.0	17	0.50	8.94	52.00	26.00	262.74	68.359
91+500	53.2	18	0.50	9.44	53.20	26.60	289.34	84.088
92+000	12.1	19	0.50	9.94	12.10	6.05	295.39	79.267
93+380	11.7	20	1.38	11.32	11.70	16.15	311.54	65.408
93+890	13.0	21	0.51	11.83	13.00	6.63	318.17	60.949
94+390	36.8	22	0.50	12.33	36.80	18.40	336.57	68.477
94+890	13.1	23	0.50	12.83	13.10	6.55	343.12	64.156
95+390	12.6	24	0.50	13.33	12.60	6.30	349.42	59.584
95+890	6.7	25	0.50	13.83	6.70	3.35	352.77	52.063
96+390	6.5	26	0.50	14.33	6.50	3.25	356.02	44.442
96+890	6.9	27	0.50	14.83	6.90	3.45	359.47	37.020
97+390	6.8	28	0.50	15.33	6.80	3.40	362.87	29.549
97+890	6.8	29	0.50	15.83	6.80	3.40	366.27	22.077
98+390	6.6	30	0.50	16.33	6.60	3.30	369.57	14.506
98+890	6.2	31	0.50	16.83	6.20	3.10	372.67	6.735
99+390	4.2	32	0.50	17.33	4.20	2.10	374.77	-2.037
99+890	4.5	33	0.50	17.83	4.50	2.25	377.02	-10.658
100+390	4.4	34	0.50	18.33	4.40	2.20	379.22	-19.330
100+890	6.7	35	0.50	18.83	6.70	3.35	382.57	-26.851
101+390	12.8	36	0.50	19.33	12.80	6.40	388.97	-31.322
101+890	13.4	37	0.50	19.83	13.40	6.70	395.67	-35.494
102+390	15.0	38	0.50	20.33	15.00	7.50	403.17	-38.865
102+890	13.5	39	0.50	20.83	13.50	6.75	409.92	-42.986
103+390	12.4	40	0.50	21.33	12.40	6.20	416.12	-47.658
103+890	23.0	41	0.50	21.83	23.00	11.50	427.62	-47.029
104+390	26.8	42	0.50	22.33	26.80	13.40	441.02	-44.501

Tabla XIV. Metodología propuesta en el Apéndice J

104+890	24.5	43	0.50	22.83	24.50	12.25	453.27	-43.122
105+390	24.8	44	0.50	23.33	24.80	12.40	465.67	-41.593
105+890	24.9	45	0.50	23.83	24.90	12.45	478.12	-40.015
106+390	23.4	46	0.50	24.33	23.40	11.70	489.82	-39.186
106+890	5.6	47	0.50	24.83	5.60	2.80	492.62	-47.258
107+390	30.2	48	0.50	25.33	30.20	15.10	507.72	-43.029
107+890	43.2	49	0.50	25.83	43.20	21.60	529.32	-32.300
108+390	5.4	50	0.50	26.33	5.40	2.70	532.02	-40.472
108+890	37.8	51	0.50	26.83	37.80	18.90	550.92	-32.443
109+390	40.0	52	0.50	27.33	40.00	20.00	570.92	-23.315
109+890	42.2	53	0.50	27.83	42.20	21.10	592.02	-13.086
110+390	26.8	54	0.50	28.33	26.80	13.40	605.42	-10.557
111+390	36.3	55	1.00	29.33	36.30	36.30	641.72	4.000
111+890	32.8	56	0.50	29.83	32.80	16.40	658.12	9.528
112+390	60.0	57	0.50	30.33	60.00	30.00	688.12	28.657
112+890	2.6	58	0.50	30.83	2.60	1.30	689.42	19.086
113+390	2.3	59	0.50	31.33	2.30	1.15	690.57	9.364
113+895	3.2	60	0.51	31.84	3.20	1.62	692.18	0.000

31.8 Longitud del proyecto

$$F = At/Lp \quad 21.7428$$

Area Total 692.18200

Figura 21. Gráfico de áreas vrs estaciones

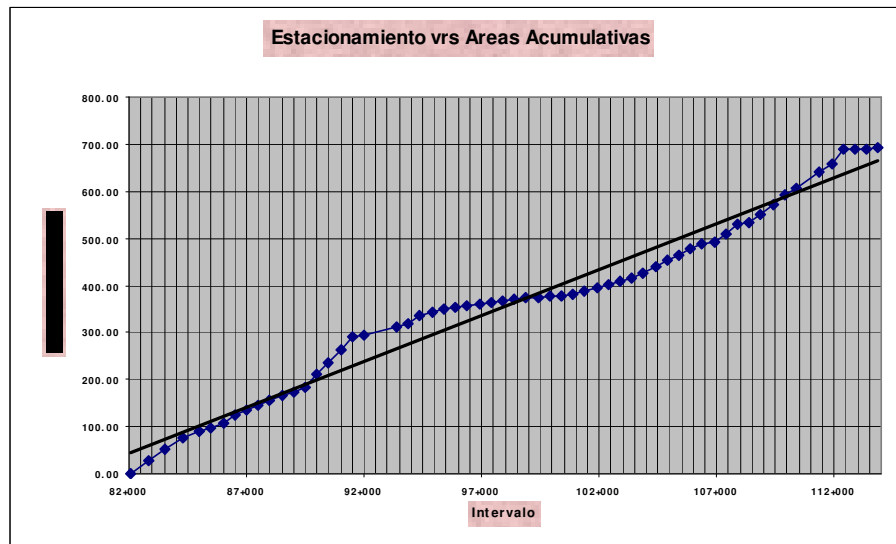


Figura 22. Gráfico de valor z vrs estaciones

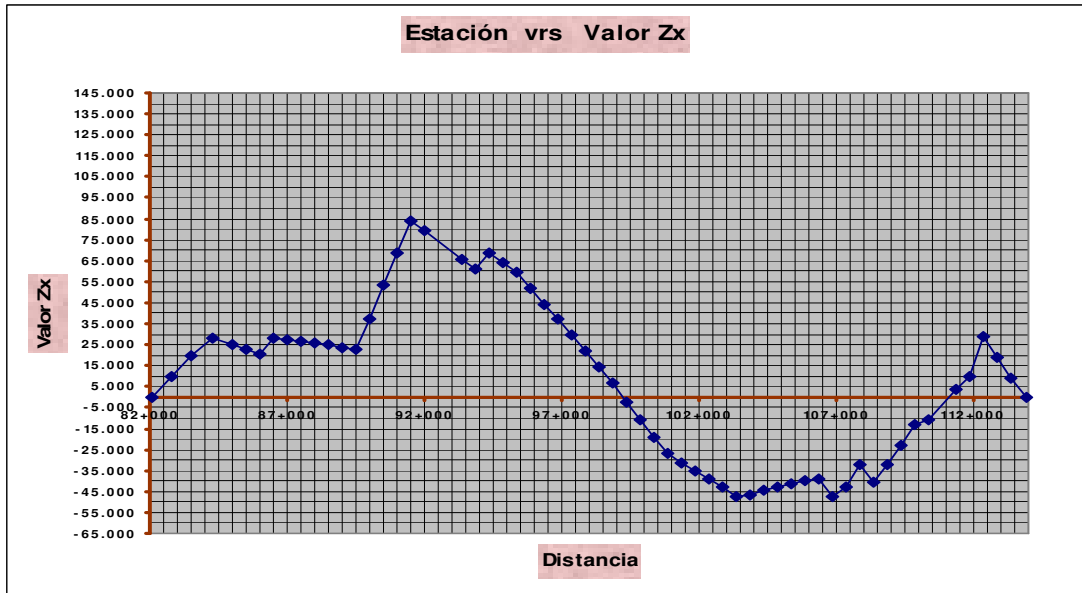
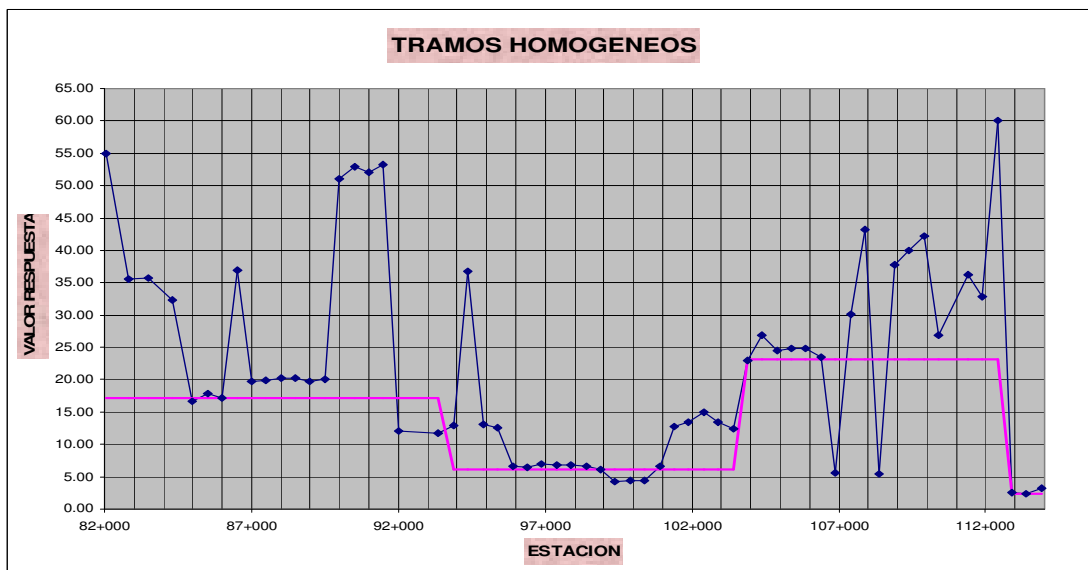


Figura 23. Gráfico tramos homogéneos



Para el cálculo del Módulo de Resiliencia, la fórmula que correlaciona el CBR con el módulo de resiliencia es la siguiente:

$$MR = B \times CBR$$

Donde B = 1,500 psi si el CBR es menor de 10, pero este valor puede variar entre 700 y 3,000 para MR en psi

De lo anterior se puede deducir que el C.B.R. de diseño y el módulo resiliente de la sub rasante de cada tramo homogéneo es de:

Tramo homogéneo No. 1 EST. 82+060 A EST. 93+500
CBR_{DISEÑO} = 17.2% MR = 13,760 psi

Tramo homogéneo No. 2 EST. 93+500 A EST. 103+890
CBR_{DISEÑO} = 6.2% MR = 9,300 psi

Tramo homogéneo No. 3 EST. 103+890 A EST. 112+390
CBR_{DISEÑO} = 23.22% MR = 16,254 psi

Tramo homogéneo No. 4 EST. 112+390 A EST. 113+895
CBR_{DISEÑO} = 2.44% MR = 3,660 psi

Determinado el C.B.R. de diseño de cada tramo homogéneo definido se procedió a realizar dos conteos vehiculares en puntos estratégicos con el fin de determinar el número de ejes equivalentes a 18,000 libras que transitan por el tramo. A continuación se presentan las tablas resumen que intervienen para el cálculo de los ejes equivalentes a 18,000 libras que transitan por la carretera, dichas tablas van desde los conteos vehiculares, la proyección vehicular con un porcentaje de crecimiento de 3% y el cálculo de ESAL para el periodo de 20 años.








Tabla XV. Conteos vehiculares realizados en el tramo Siquinalá - Cocales

PROYECTO: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CENTROAMERICANA – 02 OCCIDENTE, (CA– 02 OCCIDENTE),TRAMO: SIQUINALÁ (KM. 82+060) – COCALES (KM. 113+895).**

ESTACION DE CONTEO: **ESTACIÓN 88+500**








FECHA: **8 DE JUNIO DEL 2,006**

**** Para el volumen a las 24 horas se tomó cómo factor 1.4**

Clasif.	HORA	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	Conteo Vehicular		TPDA	Vehículos Pesados	
								12 Horas	24 Horas		cantidad	%
1		301	296	255	312	308	274	1746	2444	8833	3034	34.35%
2		270	545	374	316	378	329	2212	3097			
3		123	179	158	127	129	148	864	1210			
4		54	174	161	122	143	29	683	956			
5		32	29	26	34	34	29	184	258			
6		54	124	131	125	97	58	589	825			
7		6	5	2	2	8	8	31	43			

ESTACION DE CONTEO: **ESTACIÓN 105+000**

FECHA: **7 DE JUNIO DEL 2,006**

Clasif.	HORA	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	Conteo Vehicular		TPDA	Vehículos Pesados	
								12 Horas	24 Horas		cantidad	%
1		296	278	234	278	286	287	1659	2323	8102	2724	33.62%
2		255	475	338	296	303	356	2023	2832			
3		98	134	135	154	167	152	840	1176			
4		67	137	148	134	121	54	661	925			
5		27	22	23	31	30	26	159	223			
6		49	65	87	79	88	54	422	591			
7		4	4	1	3	6	5	23	32			

Clasificación:

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---------------------------|
| 1 | Automoviles, paneles y jeep | 5 | Microbuses |
| 2 | Pick-ups | 6 | Buses |
| 3 | Camiones medianos (2 ejes) | 7 | Vehículos de 4 ejes o más |
| 4 | Vehículos de 3 ejes | | |

Tabla

XVI. Proyección vehicular con un 3% de crecimiento anual

TPDA DE DISEÑO

AÑO	T.P.D.A.	TIPO DE VEHÍCULO							VEHÍCULOS PESADOS	
	T.P.D.A.	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
2006	6,309	1746	2212	864	683	184	589	31	3,032	34.34
2006	8,833	2444	3097	1210	956	258	825	43	3,034	34.35

PROYECCION VEHÍCULAR 2,006 - 2,029

AÑO	T.P.D.A.	TIPO DE VEHÍCULO							VEHÍCULOS PESADOS	
	T.P.D.A.	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
2006	8,833	2444	3097	1210	956	258	825	43	3,034	34.3
2007	9,098	2,518	3,190	1,246	985	265	849	45	3,125	34.3
2008	9,371	2,593	3,285	1,283	1,014	273	875	46	3,219	34.3
2009	9,652	2,671	3,384	1,322	1,045	281	901	47	3,315	34.3
2010	9,941	2,751	3,485	1,361	1,076	290	928	49	3,415	34.3
2011	10,239	2,834	3,590	1,402	1,108	299	956	50	3,517	34.3
2012	10,547	2,919	3,698	1,444	1,142	308	985	52	3,623	34.3
2013	10,863	3,006	3,809	1,488	1,176	317	1,014	53	3,731	34.3
2014	11,189	3,096	3,923	1,532	1,211	326	1,045	55	3,843	34.3
2015	11,525	3,189	4,041	1,578	1,248	336	1,076	57	3,958	34.3
2016	11,870	3,285	4,162	1,626	1,285	346	1,108	58	4,077	34.3
2017	12,226	3,384	4,287	1,674	1,324	357	1,141	60	4,199	34.3
2018	12,593	3,485	4,415	1,725	1,363	367	1,176	62	4,325	34.3
2019	12,971	3,590	4,548	1,776	1,404	378	1,211	64	4,455	34.3
2020	13,360	3,697	4,684	1,830	1,446	390	1,247	66	4,589	34.3
2021	13,761	3,808	4,825	1,885	1,490	401	1,285	68	4,727	34.3
2022	14,174	3,923	4,969	1,941	1,534	413	1,323	70	4,868	34.3
2023	14,599	4,040	5,119	1,999	1,580	426	1,363	72	5,014	34.3
2024	15,037	4,161	5,272	2,059	1,628	439	1,404	74	5,165	34.3
2025	15,488	4,286	5,430	2,121	1,677	452	1,446	76	5,320	34.3
2026	15,953	4,415	5,593	2,185	1,727	465	1,489	78	5,479	34.3
2027	16,431	4,547	5,761	2,250	1,779	479	1,534	81	5,644	34.3
2028	16,924	4,684	5,934	2,318	1,832	494	1,580	83	5,813	34.3
2029	17,432	4,824	6,112	2,387	1,887	508	1,627	86	5,987	34.3

Crecimiento Vehicular = 3.0%

FUENTE: CONTEO VEHICULAR REALIZADO EL 7 Y 8 DE JUNIO DEL 2,006
 ESTACIÓN DE CONTEO: ESTACIÓN 88+500 Y 105+000
 CONTEOS DE 12 HORAS
 FACTOR DE CONVERSIÓN DE 1.4 PARA 24 HORAS

Tabla XVII. Cálculo de ejes equivalentes a 18,000 libras (ESAL)

NÚMERO ESTRUCTURAL ESTIMADO: 3

AÑO	TIPO DE VEHÍCULO							ESAL POR TIPO DE VEHÍCULO							
	T.P.D.A. 1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
2006	8,833	2,444	3,097	1,210	956	258	825	43	535.69	9,388.18	1,417,314.93	467,648.49	780.93	403,286.92	31,465.92
2007	9,098	2,518	3,190	1,246	985	265	849	45	551.76	9,669.83	1,459,834.38	481,677.95	804.36	415,385.52	32,409.90
2008	9,371	2,593	3,285	1,283	1,014	273	875	46	568.31	9,959.92	1,503,629.41	496,128.29	828.49	427,847.09	33,382.20
2009	9,652	2,671	3,384	1,322	1,045	281	901	47	585.36	10,258.72	1,548,738.29	511,012.14	853.35	440,682.50	34,383.66
2010	9,941	2,751	3,485	1,361	1,076	290	928	49	602.92	10,566.48	1,595,200.44	526,342.50	878.95	453,902.98	35,415.17
2011	10,239	2,834	3,590	1,402	1,108	299	956	50	621.01	10,883.48	1,643,056.45	542,132.78	905.32	467,520.07	36,477.63
2012	10,547	2,919	3,698	1,444	1,142	308	985	52	639.64	11,209.98	1,692,348.15	558,396.76	932.48	481,545.67	37,571.96
2013	10,863	3,006	3,809	1,488	1,176	317	1,014	53	658.83	11,546.28	1,743,118.59	575,148.66	960.45	495,992.04	38,689.12
2014	11,189	3,096	3,923	1,532	1,211	326	1,045	55	678.60	11,892.67	1,795,412.15	592,403.12	989.26	510,871.80	39,860.09
2015	11,525	3,189	4,041	1,578	1,248	336	1,076	57	698.95	12,249.45	1,849,274.52	610,175.22	1,018.94	526,197.95	41,055.89
2016	11,870	3,285	4,162	1,626	1,285	346	1,108	58	719.92	12,616.93	1,904,752.75	628,480.47	1,049.51	541,983.89	42,287.57
2017	12,226	3,384	4,287	1,674	1,324	357	1,141	60	741.52	12,995.44	1,961,895.33	647,334.89	1,080.99	558,243.41	43,556.20
2018	12,583	3,485	4,415	1,725	1,363	367	1,176	62	763.77	13,385.30	2,020,752.19	666,754.93	1,113.42	574,990.71	44,862.88
2019	12,971	3,590	4,548	1,776	1,404	378	1,211	64	786.68	13,786.86	2,081,374.76	686,757.58	1,146.83	592,240.43	46,208.77
2020	13,360	3,697	4,684	1,830	1,446	390	1,247	66	810.28	14,200.47	2,143,816.00	707,360.31	1,181.23	610,007.65	47,595.03
2021	13,761	3,808	4,825	1,885	1,490	401	1,285	68	834.59	14,626.48	2,208,130.48	728,581.12	1,216.67	628,307.87	49,022.88
2022	14,174	3,923	4,969	1,941	1,534	413	1,323	70	859.63	15,065.28	2,274,374.40	750,438.55	1,253.17	647,157.11	50,493.57
2023	14,599	4,040	5,119	1,999	1,580	426	1,363	72	885.41	15,517.23	2,342,605.63	772,951.71	1,290.76	666,571.82	52,008.38
2024	15,037	4,161	5,272	2,059	1,628	439	1,404	74	911.98	15,982.75	2,412,883.80	796,140.26	1,329.49	686,568.98	53,568.63
2025	15,488	4,286	5,430	2,121	1,677	452	1,446	76	939.34	16,462.23	2,485,270.31	820,024.47	1,369.37	707,166.05	55,175.69
2026	15,953	4,415	5,593	2,185	1,727	465	1,489	78	967.52	16,956.10	2,559,828.42	844,625.20	1,410.45	728,381.03	56,830.96
2027	16,431	4,547	5,761	2,250	1,779	479	1,534	81	996.54	17,464.78	2,636,623.27	869,963.96	1,452.77	750,232.46	58,535.88
2028	16,924	4,684	5,934	2,318	1,832	494	1,580	83	1,026.44	17,988.73	2,715,721.97	896,062.88	1,496.35	772,739.43	60,291.96
2029	17,432	4,824	6,112	2,387	1,887	508	1,627	86	1,057.23	18,528.39	2,797,193.63	922,944.76	1,541.24	795,921.62	62,100.72
SUMATORIA	79,328	100,500	39,255	31,031	8,360	26,761	1,408	17,388	304,674	45,995,957	15,176,542	25,344	13,087,823	1,021,160	

ESAL TOTAL PARA 10 AÑOS: 27,517,135.86

FACTOR DIRECCIONAL 0.5

ESAL DE DISEÑO PARA 10 AÑOS: 13,758,567.93

ESAL TOTAL PARA 20 AÑOS: 64,497,865.47

FACTOR DIRECCIONAL 0.5

ESAL DE DISEÑO PARA 20 AÑOS: 32,248,932.73

Ya que se tiene los parámetros necesarios para verificar el estado actual de la estructura de pavimento existente en el tramo Siquinalá – Cocales, se procederá a evaluar si estructuralmente el pavimento está capacitado para soportar el tránsito que circula por el mismo y si es así cuanto tiempo más podrá soportarlo.

En el recorrido del proyecto se observó que el tramo presenta una gran cantidad de tipos de fallas a lo largo del mismo, las cuales se concentran en la parte que se ubica dentro de la CA-02 occidente, la mayoría de fallas que se presentan en éste sector son causa de la fatiga debido a que este tramo es muy antiguo, la otra parte fue rehabilitada recientemente con la creación del periférico entre Siquinalá y Santa Lucia Cotzumalguapa en este tramo se presentan por lo regular grietas longitudinales transversales, ésta diferencia de tiempo en la creación de los tramos carreteros dio lugar a encontrar en el tramo dos tipos de estructuras de pavimento una de la estación 82+060 a la est, 93+500 y la otra de la est. 93+500 a la est. 113+895.

En general los materiales que se encontraron en las capas de base y sub-base tienen en la actualidad buenas propiedades físico-mecánicas esto se puede apreciar en la tabla 12.

Ahora se determinará el número estructural requerido por cada tramo homogéneo para un periodo de 20 años con la ayuda del programa ACAL de AASHTO, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

TRAMO HOMOGENEO No. 1
(EST. 82+060 – EST. 93+500)

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's 32,248,932
[2] Reliability 90.00
[3] Overall Deviation 0.45
[4] Soil Resilient Mod. 13,760.0
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.50

Flexible Structural Number 4.79

TRAMO HOMOGENEO No. 2
(EST. 93+500 – EST. 103+890)

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's 32,248,932
[2] Reliability 90.00
[3] Overall Deviation 0.45
[4] Soil Resilient Mod. 9,300.0
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.50

Flexible Structural Number 5.45

TRAMO HOMOGENEO No. 3
(EST. 103+890 – EST. 112+390)

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's 32,248,932
[2] Reliability 90.00
[3] Overall Deviation 0.45

[4] Soil Resilient Mod. 16,254.0

[5] Initial Serviceability 4.20

[6] Terminal Serviceability 2.50

Flexible Structural Number 4.53

TRAMO HOMOGENEO No. 4
(EST. 112+390 – EST. 113+895)

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's 32,248,932
[2] Reliability 90.00
[3] Overall Deviation 0.45
[4] Soil Resilient Mod. 3,660.0
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.50

Flexible Structural Number 7.23

Ya que se ha determinado el número estructural requerido por cada tramo homogéneo del pavimento existente, se procede a determinar el número estructural aportado por cada estructura de pavimento encontrada en el tramo, mediante el programa ACAL, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Debido a que en la actualidad el tramo presenta dos estructuras de pavimentos las cuales presentaban distintos espesores como se puede observar en las tablas 8 y 9 se utilizaron espesores promedios de cada capa y se estimó la estructura de pavimento de la siguiente manera:

De la est. 82+060 a Est. 93+500

Carpeta de rodadura de	10.00 cm.
Capa de base	20.00 cm.
Capa de sub-base de	25.00 cm.

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

Layer umber	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Thickness a(i)*Cd*t	Thickness Needed
=====	== a (i) ==	==== Cd ===	=== t ===	=====	=====
Upper	0.40	1.00	3.94	1.58	
2	0.12	0.90	7.87	0.85	
3	0.11	0.90	9.84	0.78	
				=====	
				SNaport.	3.40
				SN Required =	5.58 (No Good)

El número estructural aportado por el pavimento existente en estación 82+060 a la estación 93+500 es $SN_{\text{aportado}} = 3.40$

De la est. 93+500 a Est. 113+895

Carpeta de rodadura de	10.00 cm.
Suelo cemento de	10.00 cm.
Capa de base	20.00 cm.
Capa de sub-base de	20.00 cm.

Dando un número estructural aportado de: 3.80

AASHTO '86 y '93 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

Layer umber	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Thickness $a(i)*Cd*t$	Needed
=====	== a (i) ==	==== Cd ====	=== t ===	=====	=====
Upper	0.40	1.00	3.94	1.58	
2	0.15	1.00	3.94	0.59	
3	0.12	0.90	7.87	0.85	
4	0.11	0.90	7.87	0.78	
				=====	
				SNaport.	3.80
				SN Required =	5.58 (No Good)

El número estructural aportado por el pavimento existente en estación 93+500 a la estación 113+895 es $SN_{\text{aportado}} = 3.80$.

A continuación se realizó un análisis para determinar el tiempo en el cual la estructura de pavimento existente podrá soportar el tránsito proyectado con un 3% de crecimiento, en la figura 24 se muestra la proyección del ESAL a 5 años, en la figuras 25,26,27,28 se muestra el número estructural requerido por cada tramo homogéneo en un lapso de 5 años y el número estructural aportado por el pavimento.

Tabla XVIII. ESAL Proyectado a 5 años con un crecimiento de 3% y el número estructural requerido por cada tramo homogéneo

				Tramo No.1	Tramo No.2	Tramo No.3	Tramo No.4
1 AÑO	ESAL =	1,200,166.85	$SN_{\text{REQUERIDO}}$	2.84	3.3	2.66	4.64
2 AÑO	ESAL =	2,436,338.71	$SN_{\text{REQUERIDO}}$	3.19	3.7	2.99	5.14
3 AÑO	ESAL =	3,709,595.72	$SN_{\text{REQUERIDO}}$	3.42	3.96	3.21	5.45
4 AÑO	ESAL =	5,021,050.44	$SN_{\text{REQUERIDO}}$	3.59	4.15	3.37	5.68
5 AÑO	ESAL =	6,371,848.81	$SN_{\text{REQUERIDO}}$	3.73	4.31	3.51	5.86

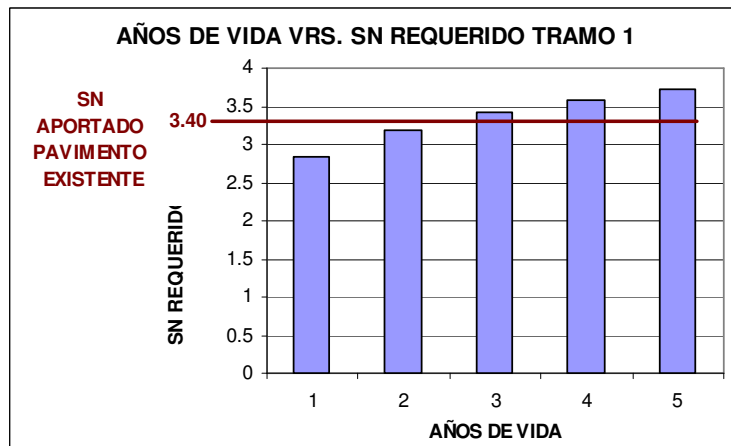
En la tabla anterior se muestra el número de ejes equivalentes a 18,000 libras (*ESAL*) proyectados para los próximos 5 años, a la vez se muestra los números estructurales requeridos por cada tramo homogéneo de acuerdo su *ESAL*.

Figura 24. ESAL Proyectado a 5 años con un crecimiento de 3%



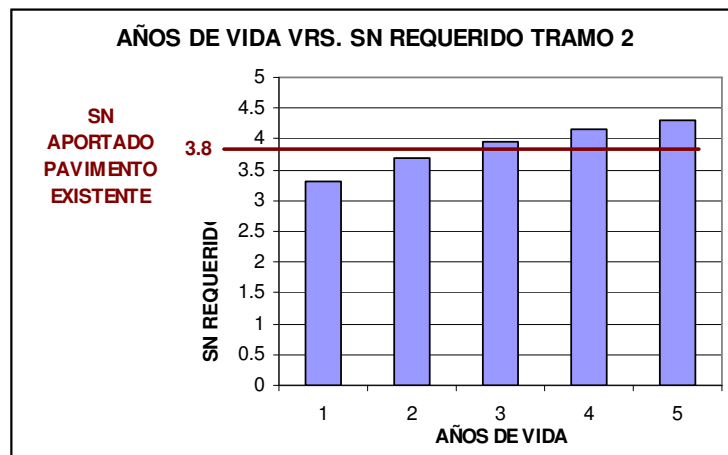
El gráfico anterior, presenta el número de ejes equivalentes a 18,000 libras (ESAL) de cada año durante los próximos 5 años.

Figura 25. Comportamiento estructural del pavimento en tramo homogéneo 1 de est. 82+060 a est. 93+500



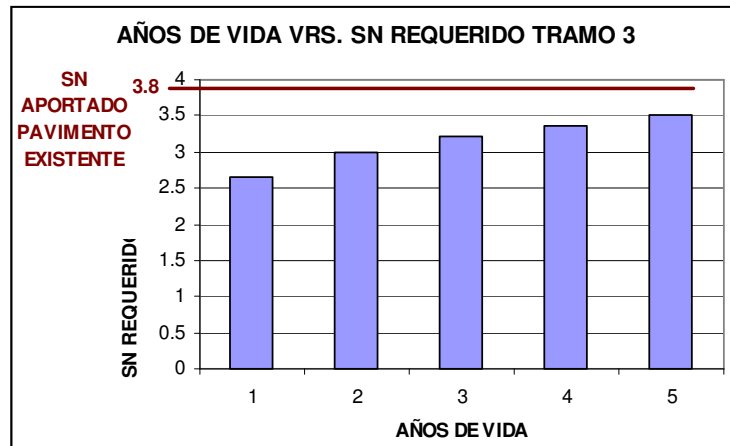
Como se puede apreciar en el grafico anterior el pavimento existente en tramo homogéneo 1 de est. 82+060 a est. 93+500 sólo podrá soportar el ESAL de los próximos 2 años de vida.

Figura 26. Comportamiento estructural del pavimento en tramo homogéneo 2 de est. 93+500 a est. 103+890



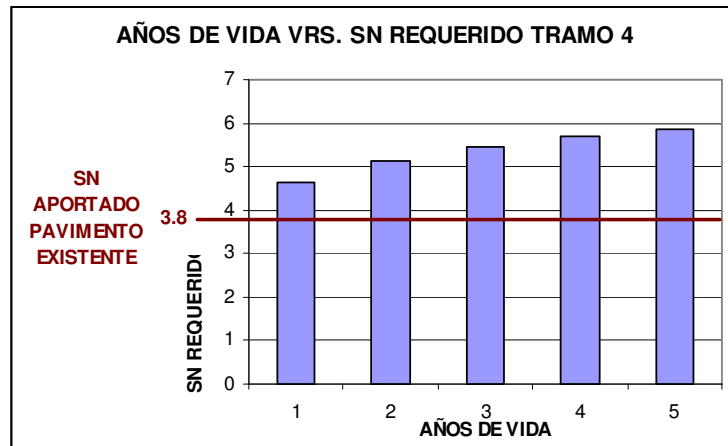
Como se puede apreciar en el grafico anterior el pavimento existente en tramo homogéneo 2 de est. 93+500 a est. 103+890 sólo podrá soportar el ESAL de los próximos 2 años de vida.

Figura 27. Comportamiento estructural del pavimento en tramo homogéneo 3 de est. 103+890 a est. 112+390



Como se puede apreciar en el gráfico anterior el pavimento existente en tramo homogéneo 3 de est. 103+890 a est. 112+390 estructuralmente es capaz de soportar el ESAL de los próximos 5 años de vida, aunque hay que hacer notar que se le deberá realizar un mantenimiento preventivo para evitar que aparezcan fallas que con el tiempo serán perjudiciales para los materiales de la estructura de pavimento bajando su capacidad portante.

Figura 28. Comportamiento estructural del pavimento en tramo homogéneo 4 de est. 112+390 a est. 113+895



Como se puede apreciar en el grafico anterior el pavimento existente en el tramo homogéneo 4 de est. 112+390 a est. 113+895 presenta un déficit estructural, esto se refleja en el estado actual de la superficie de rodadura la cual presenta el mayor número de fallas dentro del tramo, se debe pensar en darle un mantenimiento con el cual se eleve su capacidad de soporte del pavimento ya sea aumentando espesores del pavimento, mejorando los materiales de cada capa existente o mejorando la subrasante del lugar.

Como se puede apreciar con el número estructural aportado por el pavimento y el número estructural que requiere la carretera se llega a la conclusión de que este tramo carretera si requiere lo más pronto posible de un incremento de soporte estructural en un término de 2 años máximo para evitar mayores daños innecesarios a la estructura del pavimento existente.

CONCLUSIONES

1. Conocer las capas que integran la estructura de un pavimento asfáltico, los materiales que las forman, los parámetros que se utilizaron al diseñar el pavimento y las cargas que actualmente afectan al mismo, son factores esenciales que se deben conocer al evaluar el comportamiento de un pavimento bajo ciertas circunstancias.
2. La determinación del número estructural requerido y del número estructural aportado por un pavimento proporcionan un índice confiable para determinar el estado en que se encuentra un pavimento, aunque su cálculo es puramente matemático brinda los parámetros necesarios para determinar el comportamiento actual del pavimento.
3. La identificación de los distintos tipos de fallas que pueden aparecer en un pavimento asfáltico proporcionan información importante de cómo se está comportando un pavimento.
4. El control de calidad mediante los ensayos de laboratorio a los materiales utilizados en cada capa del pavimento, el uso adecuado de las especificaciones, la eliminación de los factores que inducen el deterioro del pavimento, aunque no evitará el apareamiento de las fallas si lo retardará dando oportunidad a realizarle un mantenimiento preventivo.

RECOMENDACIONES

1. Poner en práctica las técnicas de evaluar el estado actual de los pavimentos asfálticos, con el fin de conocer el comportamiento de los mismos bajo los efectos de carga y clima, ésta técnica permite detectar cuáles estructuras de pavimento necesitan con urgencia mantenimiento, el cual puede ir desde un simple bacheo hasta una rehabilitación del mismo.
2. Prestar atención a los tramos carreteros que presentan fallas por fatiga, ya que el apareamiento de éstas nos dan un aviso sobre el estado del pavimento, pues ya no es capaz de soportar las cargas del tránsito que actúan en él.
3. Realizar mantenimientos correctivos a los tramos carreteros que presenten dichas fallas, con el objeto de que los materiales que integran la estructura de pavimento asfáltico no presenten deterioro en sus propiedades físico-mecánicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dirección General de caminos (CIV) Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes (libro azul de caminos). Guatemala: Ingenieros consultores de Centroamérica edición septiembre 2001.
2. AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993, American Association of state Highway and transportation officials, edition 1993.
3. Guía de contenido del curso Diseño de Vías II, sección Suelos y Materiales Viales, edición 2,003, Carrera de especialización en ingeniería de caminos de montana. Universidad Nacional de San Juan.
4. Crespo Villalaz, Carlos. **Vías de comunicación**. 3ª edición. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 2005. 717pp.
5. Coronado Iturbide, Jorge. **Manual centroamericano para diseño de pavimentos**. Secretaría de integración económica centroamericana. (SIECA). 2002.
6. Coronado Iturbide, Jorge. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras TOMO III. Catalogo centroamericano de daños a pavimentos viales**. Secretaría de integración económica centroamericana. (SIECA). 2000.
7. **Manual Básico de Emulsiones Asfálticas**, Instituto de Asfalto Manual Series No. 19.