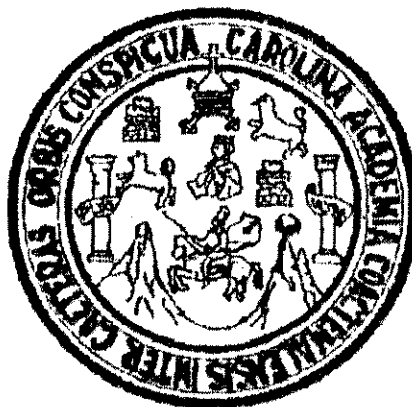


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACIÓN
DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO RETALHULEU-COATEPEQUE”

TESIS



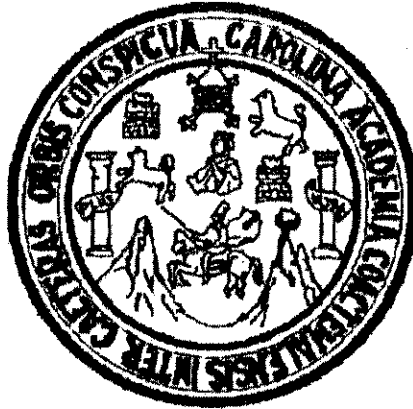
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

HÉCTOR VINICIO MARROQUÍN TORRES

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 1997.



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

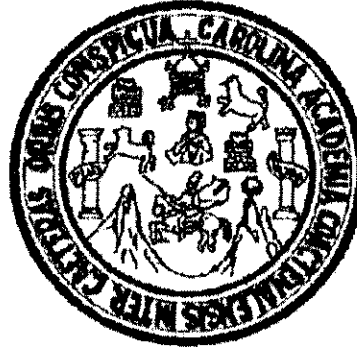
“PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACIÓN
DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO RETALHULEU-COATEPEQUE”

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería con fecha 10 de Febrero de 1997.

HÉCTOR VINICIO MARROQUÍN TORRES

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL CUARTO:	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana.
VOCAL QUINTO:	Br. Wagner Gustavo López Cáceres.
SECRETARIO:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO.

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
EXAMINADOR:	Ing. Oscar Rolando Majus Hernández.
EXAMINADOR:	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa.
EXAMINADOR:	Ing. Carlo Leonel Suárez Bendfeldt.
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 19 de Mayo de 1,997


Ingeniero
Edgar Daniel De León Maldonado,
Jefe del Área de Transportes
Escuela de Ingeniería Civil,
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Presente.

Ingeniero De León.

Atentamente me dirijo a usted, para manifestarle que de acuerdo con lo dispuesto por esa dirección, he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado: "PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACIÓN DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE TRAMO RETALHULEU - COATEPEQUE", desarrollado por el estudiante Héctor Vinicio Marroquín Torres, previo a optar el título de Ingeniero Civil.

Este trabajo de tesis ha llenado los requerimientos del programa dentro del cual se efectuó y por la importancia de su aplicación en la rama del diseño de pavimento, la doy por **APROBADA**, siendo ambos responsables del contenido, conclusiones y recomendaciones de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.


Alfredo Enrique Beber Aceituno
INGENIERO CIVIL
ASESOR DE TESIS



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de Mayo de 1,997

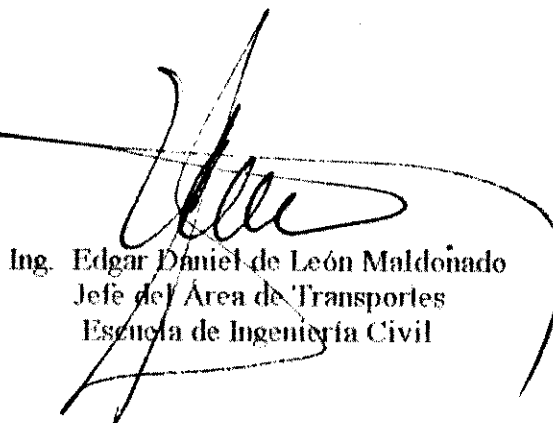
Ingeniero
Jack Douglas Ibarra,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil,
Facultad de Ingeniería,
USAC.

Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado "PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACIÓN DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE TRAMO RETALHULEU - COATEPEQUE", desarrollado por el estudiante Héctor Vinicio Marroquín Torres, quien contó con la asesoría del ingeniero Alfredo Enrique Beber Aceituno.

Considerando que el trabajo en mención fue realizado de acuerdo a los requisitos exigidos y es de utilidad para el ejercicio profesional, me permito recomendar la aprobación correspondiente.

Atentamente



Ing. Edgar Daniel de León Maldonado
Jefe del Área de Transportes
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno y del Jefe del Departamento de Transporte, Ing. Edgar Daniel de León Maldonado, del trabajo de tesis del estudiante Héctor Vinicio Marroquín Torres, titulado PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACION DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO RETALHULEU-COATEPEQUE, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, agosto de 1,997.

JDIS/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

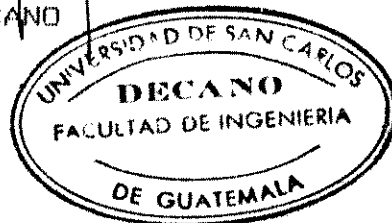
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LA REHABILITACION DEL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO RETALHULEU-COATEPEQUE**, del estudiante Héctor Vinicio Marroquín Torres, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, agosto de 1,997

/bbdeb.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

JOSÉ ROMEO MARROQUÍN MÉNDEZ
FLORIDALMA MARITZA TORRES DE MARROQUÍN

MIS ABUELOS

JOSE VICTORINO TORRES SANDOVAL (Q.E.P.D.)
JUANA ANTONIA RANDAL DE TORRES (Q.E.P.D.)
LUIS ANTONIO MARROQUÍN
RUMALDA MÉNDEZ (Q.E.P.D.)

MI HERMANA Y ESPOSO

CARLA YESENIA MARROQUÍN DE CATALÁN
GUSTAVO ADOLFO CATALÁN DÍAZ

MIS TIOS

CARLOS VICENTE NUFIO CLAVERÍA
MERCEDEZ DEL ROSARIO AGUILAR DE NUFIO

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

AGRADECIMIENTO A:

DIOS TODO PODEROSO, POR PERMITIRME FINALIZAR MIS ESTUDIOS.

ING. ALFREDO ENRIQUE BEBER ACEITUNO, POR SU GUÍA EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.

ING. MANUEL HERNANDEZ, JEFE DEL DEPARTAMENTO TÉCNICO DE INGENIERÍA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, POR SU VALIOSA COLABORACIÓN EN LA EJECUCIÓN DE ESTE TRABAJO.

TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE, DE UNA U OTRA FORMA, COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DEL MISMO, ESPECIALMENTE A LA FAMILIA NUFIO GRANADOS POR SU AYUDA.

ÍNDICE

	Página
Introducción	i
Objetivo	ii
Antecedentes	iii
CAPÍTULO 1. TEORÍA SOBRE PAVIMENTOS.	
1.1 Definición de pavimento	1
1.1.1 Pavimentos flexibles	1
1.1.1.1 Asfaltos	1
1.1.1.2 Diferentes fallas en los pavimentos	3
1.2 Elementos estructurales de los pavimentos	8
1.2.1 Subrasante	8
1.2.1.1 Fallas de subrasante	8
1.2.2 Sub-base	9
1.2.2.1 Sub-base estabilizada	10
1.2.2.2 Fallas de sub-base	11
1.2.3 Base	12
1.2.3.1 Base granular	10
1.2.3.2 Base de grava o piedra triturada	12
1.2.3.3 Base estabilizada con cemento o cal	13
1.2.3.4 Base negra	14
1.2.3.5 Fallas de base	14
1.2.4 Carpeta de rodadura	15
1.2.4.1 Mezclas en frío	16
1.2.4.2 Mezclas en caliente	16
1.2.4.3 Falla de carpeta de rodadura	17

	Página
1.3 Rehabilitación de pavimentos	18
1.3.1 Cambio total del pavimento	18
1.3.2 Cambio de algunas capas del pavimento	18
1.3.3 Aumentando el espesor de la capa de rodadura	19
 CAPÍTULO 2 ENSAYOS DE LABORATORIO.	
2.1 Generalidades	20
2.2 Ensayos para establecer la calidad del suelo del proyecto	21
2.2.1 Granulometría	22
2.2.2 Límites de consistencia o de Atterberg	22
2.2.2.1 Límite líquido	22
2.2.2.2 Límite plástico	23
2.2.2.3 Índice plástico	23
2.2.3 Determinación del peso unitario	23
2.2.3.1 Densidad máxima y humedad óptima (Proctor)	24
2.2.4 Índice de valor soporte de California (CBR)	25
2.3 Interpretación de resultados del pavimento existente	26
2.3.1 Interpretación de resultados de los bancos de materiales	32
 CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE TRÁNSITO EN LA CARRETERA.	
3.1 Estudio de volumen de vehículos	36
3.1.1 Métodos utilizados para el conteo de vehículos	36
3.1.1.1 Conteos mecánicos o automáticos	36
3.1.1.2 Conteos manuales	37
3.1.2 Importancia de los estudios de volúmenes de vehículos	37
3.2 Tránsito promedio diario (TPDA) del proyecto	37

	Página
3.2.1 Localización de estaciones	39
3.3 Análisis y proyección de tránsito	44
3.3.1 Estacionalidad del tránsito	45
3.3.2 Proyección del tránsito normal	47
3.4 Estudio de velocidad	48
3.4.1 Definición de velocidad	48
3.4.2 Clasificación de velocidad	48
3.4.2.1 Velocidad de operación	48
3.4.2.2 Velocidad de proyecto o diseño	48
3.4.3 Importancia de los estudios de velocidad	49
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTO.	
4.1 Teoría del diseño de pavimentos	51
4.1.1 Factores de diseño utilizados en el proyecto	51
4.1.1.1 Determinación de los factores de diseño utilizados en el proyecto	52
4.2 Tratamientos asfálticos superficiales	59
4.2.1 Funciones	60
4.2.2 Tipos de tratamientos superficiales	61
4.2.2.1 Tratamiento superficial simple	61
4.2.2.2 Tratamiento superficial múltiple	61
4.2.2.3 Capa de sello	62
4.2.2.4 Capa de imprimación	62
4.2.2.5 Capa de pega	62

	Página
4.2.2.6 Capa antipolvo	63
4.2.2.7 Carretera petrolizada	63
4.2.2.8 Tratamiento Superficial Mezclado en Sitio	63
4.2.2.9 Tratamiento Superficial Mezclado en Planta	63
4.3 Condiciones del pavimento existente	63
CAPÍTULO 5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE TRAMO RETALHULEU - COATEPEQUE.	
5.1 Espesor de sub-base	72
5.2 Espesor de base	72
5.2.1 Espesor de base estabilizada con cemento	72
5.2.2 Espesor de base negra	75
5.2.3 Espesor de base granular	75
5.3 Espesor de carpeta de rodadura	75
5.4 Sección típica	79
CONCLUSIONES	iv
RECOMENDACIONES	v
BIBLIOGRAFIA	vi

INTRODUCCIÓN

Los estudios de ingeniería de Detalle de la Ruta CA-2 Occidente en el tramo Retalhuleu-Coatepeque forman parte del programa de Caminos Secundarios y Regionales que el Gobierno de la República de Guatemala a través de la Dirección General de Caminos está realizando parcialmente con fondos del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, BIRF. El tramo en cuestión, según lo establecido por los levantamientos topográficos y recorridos realizados por el Consultor, tiene una longitud de 39.80 km., dicho tramo fue construido durante la década de los cincuenta, utilizando como superficie de rodadura un doble tratamiento superficial, con 3 centímetros de espesor y hombros de terracería. Durante los cuarenta años transcurridos desde su construcción, el tramo no ha sido rehabilitado, el pavimento presenta daños generalizados de diverso tipo.

El presente trabajo de tesis consiste en plantear una propuesta de diseño de una nueva estructura de Pavimento para la rehabilitación del tramo en mención. El trabajo estará dividido en 5 capítulos: En el capítulo 1 se habla sobre la teoría de pavimento, en el que describiremos los diferentes elementos que lo conforman así como de las diferentes fallas que en ellos se pueden llegar a presentar, también se estudian los diferentes métodos para la rehabilitación de pavimentos; el capítulo 2 versará sobre la diversidad de ensayos que se deben realizar para establecer las propiedades físicas y mecánicas del suelo donde posteriormente se hará la rehabilitación; en el capítulo 3 se hará un análisis del tránsito actual y del tránsito proyectado de la carretera, como también los métodos utilizados para el conteo de vehículos; el capítulo 4 trata del diseño de pavimentos, todos los elementos a tomar en consideración para el diseño del pavimento del tramo en estudio, de los diferentes tipos de tratamientos superficiales que existen y por último se hará un comentario sobre las condiciones del pavimento existente; el diseño de la estructura el pavimento para el proyecto CA-2 occidente, tramo Retalhuleu-Coatepeque será el tema a tratar en el capítulo 5, se mostrarán todos los pasos seguidos para el diseño, al mismo tiempo se desarrollará un cuadro donde se mostrara los espesores de los elementos que conforman la estructura del pavimento y se mostrará una sección típica.

OBJETIVO

Diseñar una nueva estructura de pavimento: Sub-base, Base y Carpeta de Rodadura, y hacer una comparación de espesor de pavimento diseñándolo con una base estabilizada con cemento, base negra y una base granular, además se tomará en cuenta el uso de la base y carpeta de rodadura existentes, debidamente escarificadas, mezcladas y compactadas, para lograr de esta forma el mínimo de espesor de carpeta de rodadura.

Tratar de hacer un análisis del tránsito actual de la carretera para lograr proyectar el tránsito futuro durante el período de diseño (20 años); estableciendo tasas de crecimiento vehicular partiendo del historial de tránsito que posee la Dirección General de Caminos.

Describir y mostrar gráficamente las diferentes fallas que se dan en los pavimentos así como las causas que producen dichas fallas.

Explicar de una manera fácil y clara la metodología utilizada en el diseño de la nueva estructura del pavimento y mostrar todos los factores que intervienen en dicho método.

ANTECEDENTES

El tramo de la carretera en estudio se ubica en la región suroccidental del país y forma parte integral de su red vial. La CA-2 atraviesa el país de oriente a occidente, desde la frontera con El Salvador, hasta la frontera con México y se comunica con la ciudad de Guatemala y los puertos del Pacífico y el Atlántico a través de la ruta CA-9, con la cual se intersecta en la ciudad de Escuintla. Actualmente la carretera cuenta con dos pistas de 3.60 m de ancho cada una, sin contar con hombros definidos en el tramo Retalhuleu-Coatepeque; por no haberse realizado ninguna rehabilitación durante los cerca de cuarenta años que tiene desde su construcción, requiere ya de una reconstrucción del pavimento, adicionalmente, se tiene contemplado ampliar el ancho de la sección transversal pavimentada, para conformar una sección típica tipo "B" (7.20 m de ancho de calzada, con hombros pavimentados de 1.60 m).

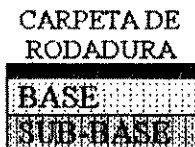
El estado actual de la carretera se debe en parte a que ya excedió su vida útil y a las deficiencias en el mantenimiento rutinario y periódico, pero también al alto volumen de tráfico que utiliza esta carretera, del cual entre un 40% y un 50% está constituido por vehículos pesados que transportan mercadería y productos de importación y exportación. La carretera C.A. 2 conecta o está muy próxima a 28 municipios, de los cuales 14 pertenecen al departamento de Suchitepéquez, y a Retalhuleu, 3 a Quetzaltenango y 4 a San Marcos, es por ello que en los últimos años se ha visto un gran incremento en el tránsito diario; conforme se incrementa el daño en la superficie de rodadura, se incrementan los tiempos de viaje y los costos de operación de los vehículos, tanto en combustible como en repuestos y reparaciones, lo que representa una mayor demanda de divisas para el país. En conclusión, la rehabilitación de la carretera, resulta importante para permitir una reducción en los tiempos de viaje, así como para reducir los costos de operación de los vehículos e incrementar la vida útil de una de las principales vías de comunicación del país.

CAPÍTULO 1

TEORÍA SOBRE PAVIMENTOS.

1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.

Se denominan pavimentos a las estructuras generalmente integradas por la sub-base, la base y la carpeta de rodadura, todo lo cual se construye sobre una terracería compactada.



Estructura de un pavimento.

1.1.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.

Es aquel pavimento en que la superficie de rodadura se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada y de alta calidad; los materiales bituminosos empleados en la construcción de pavimentos flexibles son el asfalto y el alquitrán. En estos pavimentos las cargas del tránsito se distribuyen a través de las diferentes capas, en tal forma que los esfuerzos en el suelo de la sub-rasante sean los mínimos aceptables.

Los distintos materiales bituminosos que se emplean en la construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles son:

1.1.1.1 ASFALTOS.

El asfalto es un constituyente natural del petróleo; el petróleo crudo es refinado para ser separado en varias fracciones y obtener el asfalto, la destilación puede hacerse por vapor y por aire. La destilación por vapor da excelentes asfaltos para pavimentos, mientras que los destilados por aire producen asfaltos oxidados.

El asfalto es de gran interés, para la construcción de pavimentos, debido a que es un material cementante bastante fuerte, altamente adhesivo, resistente al agua y durable. Es una sustancia de una controlable flexibilidad para mezclarse con agregados minerales, con los cuales son usualmente mezclados.

Los principales asfaltos empleados en la construcción o mantenimiento de carreteras son los siguientes:

ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUADO LENTO O ROAD OILS. (SC)

Estos asfaltos están compuestos por la mezcla de concreto asfáltico y aceites con poco o ningún elemento volátil; éstos deben llenar las especificaciones dadas por el Instituto de Asfalto de los Estados Unidos de Norte América, para utilizarlos en trabajos de carreteras.

ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUACIÓN MEDIA. (MC)

Asfalto líquido compuesto por concreto asfáltico mezclado con un producto medianamente volátil, en este caso kerosina. Estos asfaltos pueden ser fácilmente trabajables a bajas temperaturas, evaporándose el volátil al ser expuesto al aire o al calor.

ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUADO RÁPIDO. (RC)

Asfalto líquido compuesto por concreto asfáltico mezclado con un producto altamente volátil, como la nafta o la gasolina; también son trabajables a bajas temperaturas con la particularidad de que el producto volátil se evapora más rápido que en los de fraguado medio.

CONCRETOS ASFÁLTICOS. (A.C.)

Se obtienen por destilación del petróleo crudo, hasta obtener la penetración deseada. El grado de penetración se controla por la cantidad de aceites fluctuantes, que se les deja al final del proceso de destilación.

Para que sean trabajables se necesita calentarlos a mayores temperaturas que a los asfaltos líquidos, dependiendo del grado de viscosidad que posean.

EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Están compuestas por tres elementos: asfalto, agua y un agente emulsificante. Se pueden clasificar en aniónicas o alcalinas y catiónicas o ácidas; teniendo cada una, características bien definidas que dependen, básicamente, del agente emulsionador.

El manejo de las emulsiones es sencillo, pero se debe tener cuidado de evitar un rompimiento prematuro, el cual puede producirse por exceso de calor, frío o presión.

1.1.1.2 DIFERENTES FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

Los pavimentos flexibles presentan numerosos tipos de fallas. Probablemente el agua es la principal causa de falla en las estructuras de los pavimentos. Algunos de los síntomas superficiales de los diversos tipos de falla en los pavimentos flexibles son:

Piel de lagarto. Son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques que semejan una piel de lagarto o malla de gallinero. Este tipo de falla se da a consecuencia de excesivos movimientos de las capas inferiores del pavimento y/o fatiga de la superficie, y pueden o no ser progresivas. Ver fig. 1.1.

Baches. Son cavidades de distintos tamaños y formas, que se producen en el pavimento como resultado de una desintegración. Son causados por la consolidación de una o más capas de la estructura del pavimento y por el exceso de ejes pesados que pasen sobre un pavimento que fue mal diseñado, en lo que a espesores de capas se refiere. Ver fig. 1.2.

Grietas longitudinales a lo largo de los bordes. Una grieta longitudinal a lo largo del borde es realmente una hendidura; podría decirse también que es la separación de la junta entre el pavimento y el hombro. Sin embargo se trata como una grieta. Estas grietas pueden llegar a tener una profundidad de $\frac{1}{4}$ ", permitiendo filtración en la superficie. Ver fig. 1.3.

Ondulaciones y combaduras. La ondulación es una forma de movimiento plástico tipificada por crestas transversales en la superficie del pavimento asfáltico. La combadura es una forma de movimiento plástico consistente en un hundimiento y un levantamiento localizados en la superficie del pavimento. Ver fig. 1.4.

Exudación o afloramiento del asfalto. Es la salida hacia la superficie del asfalto de un pavimento con la consiguiente formación de una película de este material sobre la superficie. Este tipo de falla puede ser causado por varios factores, incluyendo un exceso de asfalto en la mezcla, consolidación de la superficie. En cualquier caso la falla está relacionada con el tránsito y ocurre sobre la rodada de los vehículos. Ver fig. 1.5.

Grietas de flexión. Son las que aparecen en la carpeta asfáltica y que reflejan la configuración de las grietas de la estructura del pavimento que se encuentra debajo. Ver fig. 1.6.

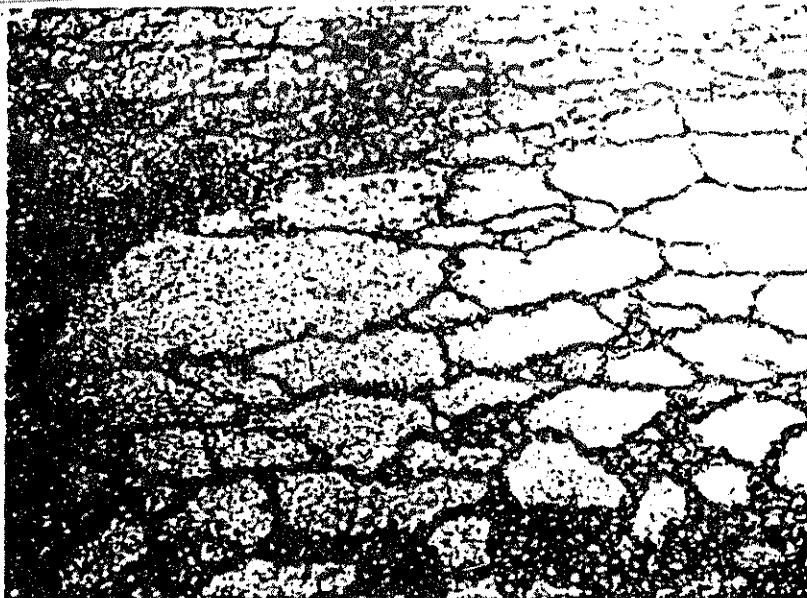


Fig. 1.1 Piel de lagarto.



Fig. 1.2 Baches.

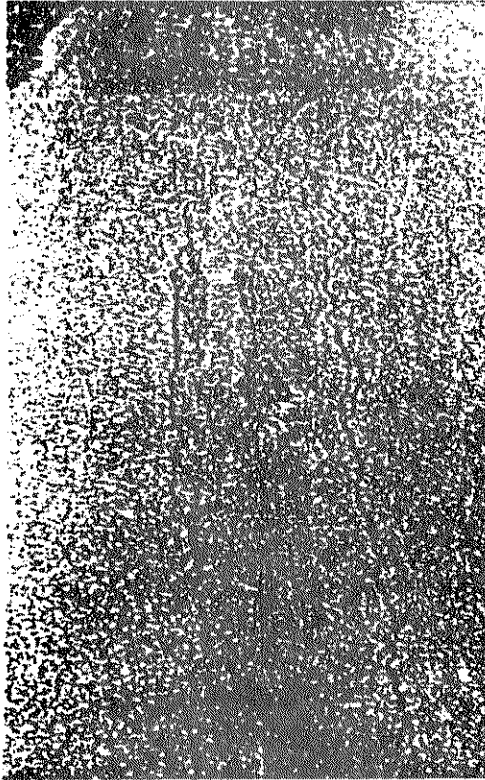


Fig. 1.3 Grieta Longitudinal.

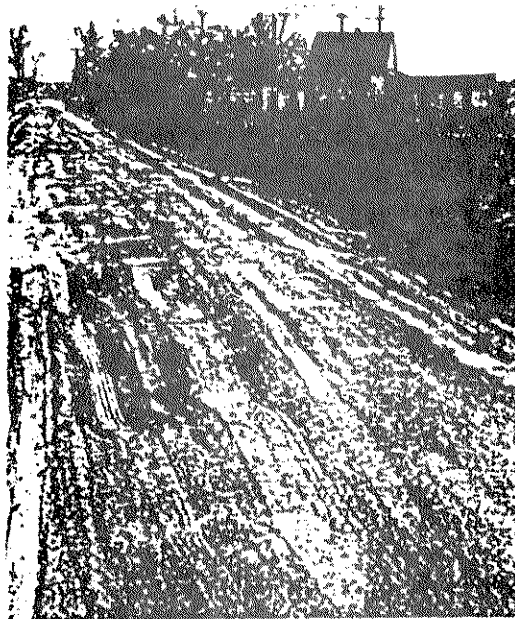


Fig. 1.4 Ondulaciones y Combaduras.

Grietas en los bordes. Son grietas longitudinales que aparecen a unos 30 cm., o más del borde del pavimento, acompañados o no de grietas transversales que se extienden hacia el hombro. Esta falla existe cuando la cohesión y la fricción interna son deficientes en la base de la estructura del pavimento.

Grietas a lo largo de la junta de los carriles. Son separaciones longitudinales a lo largo de la junta entre ellos.

Grieta por encogimiento. Son grietas interconectadas que forman parte de bloques, generalmente con vértices agudos.

Grieta por desplazamiento. Son grietas en forma de luna creciente, que se orientan en dirección del empuje de las ruedas sobre la superficie del pavimento.

Grietas de ampliación. Son grietas longitudinales de reflexión que aparecen en los recubrimientos asfálticos colocados sobre las juntas de una sección nueva y otra vieja de un pavimento ensanchado.

Distorsión (deformaciones). La distorsión o deformación de un pavimento es cualquier cambio en la forma original de su superficie.

Ahuellamientos (rodadas). Son depresiones canalizadas que se forman en los pavimentos asfálticos bajo las huellas de las ruedas.

Hundimientos de la rasante. Los hundimientos son áreas localizadas en partes bajas, de tamaño reducido, que pueden estar ó no acompañadas de agrietamientos. Los hundimientos generalmente se penetran varios centímetros por debajo de la rasante, provocando estancamiento del agua.

Levantamientos o hinchamientos. Estos consisten en desplazamientos de un pavimento hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrasante o de alguna parte del pavimento. Los levantamientos son causados, principalmente, por el hinchamiento de los suelos expandidos debido a la humedad.

Hundimiento sobre zanjas. Son hundimientos del pavimento que se encuentran sobre zanjas que han sido excavadas para la colocación, o para la reparación de drenajes e instalaciones de servicios públicos.

Desintegración. Es la rotura del pavimento en fragmento pequeños y sueltos, o también la desintegración de las partículas del agregado.

Desmoronamiento de los bordes. Es la desintegración progresiva de las partículas de agregado de un pavimento desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia adentro. Generalmente, el agregado fino se desprende primero y deja algunas marcas de viruela en la superficie del pavimento. A medida que la erosión continúa las partículas mayores se van rompiendo y el pavimento pronto adquiere un aspecto áspero y rugoso, típico de una superficie erosionada.

Agregados pulidos. Son partículas de agregados existentes en la superficie del pavimento, cuyas caras han sido pulidas. Incluye tanto a las gravas sin triturar, lisas por naturaleza, como a las rocas trituradas que se desgastan rápidamente bajo la acción del tránsito.

1.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS.

1.2.1 SUB-RASANTE.

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

Los materiales inapropiados para sub-rasante son: suelos clasificados como A-8 según la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO M 145, que son altamente orgánicos, constituidos por materias vegetales; rocas aisladas mayores de 10 cm., que se encuentran incorporadas en los 30 cm. superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

Los materiales apropiados para sub-rasante son los suelos de preferencia granulares con menos de 3% de hinchamiento en ensayo AASTHO T193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se está reacondicionando.

1.2.1.1 FALLAS EN SUB-RASANTE.

En los pavimentos de tipo flexible cabe mencionar que una de las fallas de sub-rasante es producida por el agua. Por la falta de juntas en este tipo de pavimentos esta acción sólo se produce por las grietas del pavimento ocasionadas por orígenes diversos. Los pavimentos de tipo flexible no permiten la expulsión del agua junto con el material de la infraestructura cuando no existen todavía grietas en la superficie y entonces el agua viene a llenar los vacíos

dejados en la infraestructura, reduciendo ese volumen total de masa, la que al verse limitada en su expansión por la carpeta de rodadura, produce un hinchamiento y por último una rotura de la misma. En ese momento sí principia la acción de bombeo, ya descrita, produciéndose asentamientos de la estructura total del pavimento debido a la acción producida por la carga ejercida por los ejes de los vehículos.

Las fallas por esta causa son las siguientes:

- Grietas por encogimiento.
- Grietas por desplazamiento.
- Ahuellamientos.
- Ondulaciones y combaduras.
- Levantamientos o hinchamientos.
- Hundimientos sobre zanjas.
- Baches.

1.2.2 SUB-BASE.

Está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de espesor determinado de acuerdo al diseño de la carretera y colocada directamente sobre una terracería previamente preparada. En casos especiales hay terracerías que se pueden usar como sub-bases. Las principales funciones de la sub-base son: transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base; servir de material de transición entre la terracería y la base, así como de elemento aislador entre ellas; romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base, hacia las cunetas.

Es condición de la sub-base evitar la contaminación de la base cuando la terracería contenga material muy plástico, también es importante evitar que las mismas sub-bases sean contaminadas con esta clase de materiales, pues la humedad provoca en ellas cambios de volumen, disminuyendo su resistencia al cambiar sus características.

La sub-base puede tener un espesor compactado variable por tramos, según las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 10 cm. ni mayor de 70 cm.

La carpeta de sub-base, debe estar constituida por suelos de tipo granular en estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los requisitos siguientes:

- a.- Un valor soporte, CBR, mínimo de 30, efectuado sobre una muestra saturada, a 95% de compactación.

b.- El tamaño máximo de las piedras no debe exceder de 7 cm. El material de sub-base no debe tener más del 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 40, ni menos del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 200.

c.- La porción que pasa el tamiz No. 40, no debe tener un índice de plasticidad mayor de 6 y en casos especiales, cuando las Disposiciones Especiales lo indiquen, no debe pasar de 8, ni un límite líquido, mayor de 25.

d.- El material de sub-base debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que puedan causar fallas en el pavimento.

1.2.2.1 SUB-BASE ESTABILIZADA.

Es la capa de sub-base, preparada y construida aplicando la técnica de estabilización de suelos, para mejorar sus características de fricción interna y cohesión, por medio del uso de materiales o productos estabilizadores.

De acuerdo con lo estipulado en los planos y/o disposiciones especiales, los materiales estabilizadores pueden ser: cal, cemento portland, materiales bituminosos y otros productos que llenen los requisitos siguientes:

a.- Cal hidratada. De preferencia debe utilizarse cal hidratada que llene los requisitos de AASHTO M 216, tipo I.

b.- Lechada de cal. Debe llenar los requisitos siguientes:

1.- Composición química. El contenido de sólidos debe consistir de un mínimo de 70 en peso, de óxido de calcio y magnesio.

2.- Residuo. El porcentaje por peso de residuo retenido en los tamices indicados, para el contenido de sólidos de la lechada, no debe ser mayor de los límites siguientes:

Tamiz No.	Máximo Residuo Retenido
6	0.00%
10	1.0%
30	2.5%

3.- Grados de la lechada. Para el grado 1, el contenido de sólidos secos no debe ser mayor de 31% del peso total de la lechada; para el grado 2, el contenido de sólidos secos no debe ser mayor de 35% del peso total de la lechada.

c.- Granza de cal. Si se usa granza de cal, que consiste en una mezcla de cal hidratada no refinada con partículas de arena y polvillo, debe llenar los requisitos siguientes: por lo menos el 50% en peso, debe ser cal hidratada de conformidad con AASHTO M 216 tipo T; y la graduación de la granza determinada por el método AASHTO T 27.

d.- Cal viva. Si las disposiciones especiales así lo establecen expresamente y en casos especiales, puede utilizarse cal viva, debiéndose efectuar previamente la preparación correspondiente de la misma, pulverizándola e hidratándola adecuadamente. El tamaño máximo de los grumos no debe ser mayor de 1/4".

El proceso de hidratación no debe durar menos de 24hrs.

e.- Cemento portland. Debe utilizarse cemento portland que llene los requisitos de la norma AASHTO M 85-63 para el tipo especificado.

El tipo de cemento que debe utilizarse, a menos que lo indiquen de otra forma las disposiciones especiales, debe corresponder a los tipos I y II.

1.2.2.2 FALLAS DE SUB-BASE.

Los pavimentos de tipo flexible cuando carecen del apoyo que el suelo ofrece a la estructura, indudablemente se produce una falla debido a que cuando esto sucede y se aplica una carga sobre el pavimento se exige una resistencia que no es capaz de ofrecer en esas condiciones.

A la provocación del asentamiento referido contribuye, además, la deficiente compactación; también el agua, el zanjeo permanente de otras infraestructuras, específicamente las de electricidad y teléfonos, como causa de falla, se referirá en forma particular a la deficiente compactación del material de relleno de las zonas excavadas.

Las fallas por estas causas son las siguientes:

- Grietas en los bordes.
- Grietas longitudinales a lo largo de los bordes.
- Grietas a lo largo de la junta de los carriles.
- Grietas por desplazamiento.
- Ahuellamientos.
- Ondulaciones y combaduras.
- Hundimientos de la rasante.
- Hundimiento sobre zanjas.
- Baches.

Los materiales de la base de grava triturada deben tener las siguientes características:

a.- El material de base de grava o piedra trituradas, debe estar razonablemente exento de materiales vegetales, basura terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base, pueden causar a criterio profesional, fallas en el pavimento.

b.- El material de base de grava o piedra trituradas, en el momento de ser colocado en la carretera, debe tener en la fracción que pasa el tamiz No.4, incluyendo el material de relleno, las siguientes características:

1.- No debe tener un índice de plasticidad mayor de 3, ni un límite líquido mayor de 25.

2.- El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

3.- El Equivalente de Arena no debe ser menor de 40.

c.- Cuando sea necesario agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de roca, u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen el tamiz No. 10.

1.2.3.3 BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO O CAL.

Las mezclas de determinados suelos con cemento portland y agua forman las bases de suelo-cemento. Cuando han sido compactadas con su humedad óptima a su máxima densidad, estas bases son altamente resistentes a la desintegración, llegando a tener un valor soporte CBR arriba del 80%; pero para mantener dicho valor soporte tienen que ser imprimadas antes que pierdan su humedad. Posteriormente se le puede colocar la carpeta de rodadura.

Estas bases no deben usarse como superficie de rodadura, porque no son capaces de resistir la acción directa del tránsito, aunque su aparente textura así lo represente.

A continuación se describen algunas características y propiedades importantes que las bases de suelo-cemento deben tener:

a.- Los suelos son susceptibles de usarse como elemento integrante de esta clase de bases, siempre que puedan pulverizarse económicamente y no contengan más del 2% de materia orgánica; se pueden usar suelos procedentes de los cortes en las carreteras, de los bancos de préstamo y de la propia subrasante o de una mezcla de todos ellos.

b.- En cuanto a los cementos portland, pueden usarse todos los fabricados en Centroamérica. La cantidad de cemento deberá ser determinada después de efectuar las pruebas de laboratorio para cada clase de suelo.

c.- La cantidad de agua en la mezcla será la necesaria para lograr la compactación óptima.

d.- Es recomendable que las bases suelo-cemento tengan un valor soporte, CBR, de más del 80%, un límite líquido (L.L.) menor de 40 y un índice plástico menor de 9.

e.- Este tipo de bases son recomendables en pavimentos de concreto hidráulico porque evitan la formación de lodos que al ser bombeados destruyen este tipo de pavimentos. También son recomendables en lugares donde es antieconómico la adquisición de rocas, gravas y arenas.

1.2.3.4 BASE NEGRA.

Es la capa de base, constituida de materiales granulares pétreos, recubiertos con material bituminoso, con el objeto de mejorar sus condiciones de resistencia a la humedad y estabilidad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura del pavimento.

Entre las características más importantes de los materiales que conforman la base negra están:

a.- Debe consistir en piedra o grava de buena calidad, solamente clasificadas o trituradas total o parcialmente; combinadas con arena, polvo de roca, naturales o de trituración y material de relleno para formar un material pétreo.

1.2.3.5 FALLAS DE BASE.

Este tipo de falla es propia de los pavimentos de tipo flexible, ya que, en Guatemala no se construyen las losas de concreto hidráulico sobre otras capas como base y sub-base como sucede en algunos países donde se han denominado "INFRACAPAS", y que son recomendables únicamente para los casos donde se duda de la buena calidad del material de la infraestructura, por lo oneroso de su uso.

La falla de base consiste en una normalidad en la distribución de esfuerzos hacia la infraestructura y un desplazamiento vertical que provoca la destrucción del pavimento.

a.- Mezclas en planta estacionaria. La planta de mezcla en tambor, de hecho está reemplazando la planta tradicional de tubo vertical como el método principal para la producción de asfalto. Las plantas de mezcla en tambor de la actualidad han reducido la producción de asfalto a sus aspectos básicos. Se alimentan los agregados al tambor, que da vueltas, en donde simultáneamente se secan y calientan y se tratan con una cantidad de diseño de asfalto líquido. Se introducen los rellenos minerales y otros aditivos si es necesario.

b.- Plantas móviles. Debido a que la planta de mezcla en tambor es más simple, puede ser desmontada, transportada y montada fácil rápida y económicamente. Las plantas de mezcla en tambor también pueden ser montadas en terrenos pequeños, abriendo el camino para operar en áreas urbanas en donde el espacio es limitado y en áreas remotas sin tener que despejar grandes sitios para la planta.

1.2.4.3 FALLA DE CARPETA DE RODADURA.

En los pavimentos de tipo flexible la acción de los factores como deficiencias constructivas, antigüedad y la acción de otros agentes nocivos al contacto con el pavimento no dejan de tener la importancia señalada.

Sin embargo hay que apuntar que la acción de los agentes como los combustibles, en contacto con pavimentos flexibles tienen efectos fluctuantes sobre ellos.

Cabe mencionar también que en este tipo de pavimentos la aplicación de sobreesfuerzos a la carpeta, es también causa importante de la falla.

Las fallas por estas causas son:

- Grietas por encogimiento.
- Grietas por reflexión.
- Ahuellamientos.
- Ondulaciones y combaduras.
- Hundimientos de la Rasante.
- Desintegración.
- Baches.
- Exudación.
- Agregados pulidos.
- Pérdida del agregado de cubierta.
- Estrías longitudinales y transversales.

1.3 REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.

La rehabilitación y el mantenimiento de los pavimentos asfálticos, es aplicable a todos los elementos de los mismos, incluyendo los hombros y áreas de estacionamiento.

La función básica del personal que realiza estas actividades, con su correspondiente maquinaria, equipo y materiales, es procurar, con el mayor empeño y dedicación, conservar las carreteras asfaltadas en las mismas condiciones en que fueron construidas, tomando en cuenta el deterioro debido al tránsito normal de vehículos y de los agentes atmosféricos. Por esta razón, es muy importante contar con personal experimentado que determine el momento oportuno para realizar los trabajos necesarios para la conservación de las carreteras, tales como:

- a.- Aplicar nuevos riegos asfálticos para reavivar calzadas envejecidas por el tiempo o agentes atmosféricos.
- b.- Construir nuevos tratamientos para reponer el desgaste por el tránsito.
- c.- Efectuar las reparaciones en los sitios donde por razones de construcción o tránsito, muestran afloramiento de material asfáltico, volviendo la superficie lisa y peligrosa, o donde la superficie se está desintegrando.
- d.- Reparar los baches, hundimientos, deslizamientos, etc., para evitar en el futuro daños mayores.

1.3.1 CAMBIO TOTAL DEL PAVIMENTO.

Es necesaria la remoción del pavimento asfáltico cuando éste se encuentra deteriorado por completo, esto se debe a un total abandono por falta de mantenimiento al cabo de años de servicio a pesar de estar construidas sobre bases buenas. Sin embargo, al lado de estos pavimentos existen otros que son un verdadero fracaso, pues, al poco tiempo de estar construidos se han deshecho prácticamente.

En muchos de estos casos no ha habido deficiencia por parte del pavimento, sino falta de control de la clase de vehículos que circulan por las carreteras, las cuales producen cargas que sobrepasan las de diseño del pavimento haciéndolo fallar.

1.3.2 CAMBIO DE ALGUNAS CAPAS DEL PAVIMENTO.

Se hace imprescindible el cambio de algunas capas del pavimento, cuando las capas superficiales, es decir, la carpeta de rodadura y la base se han deteriorado debido a los constantes esfuerzo, a que son sometidos con el paso de los vehículos y de los agentes atmosféricos.

CAPÍTULO 2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

2.1 GENERALIDADES.

La formación de los suelos tiene como origen la desintegración y/o transformación de la roca madre. Por su origen ésta puede ser ígnea, metamórfica o sedimentaria, y en su transformación nunca llega a alcanzar un estado de equilibrio total, pues los suelos continuamente se transforman y cambian su composición química y sus características físicas, debido a la intervención de agentes o factores de formación; en consecuencia, la composición de los suelos varía de conformidad a su origen, a los elementos naturales, como el agua, el clima, la topografía y a los elementos orgánicos, tales como los microbios, las plantas, la vida animal y fundamentalmente, el hombre.

Por simplicidad en el estudio, los suelos pueden dividirse en: granulares y cohesivos.

Al estudiar los suelos es muy importante conocer sus características físicas, pues en ellas los suelos basan su comportamiento y, en consecuencia, determinan su uso; entre las más importantes características físicas se encuentran las siguientes:

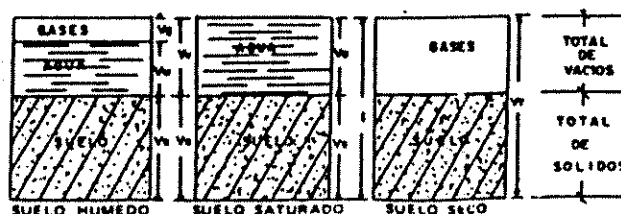
a.- Tamaño de las partículas. Lo determinan la clase de minerales que entran en su composición. Por lo general la clasificación de los suelos se basa en el tamaño de sus partículas.

b.- Peso específico. El peso específico es la relación entre el peso al aire libre de una determinada cantidad de suelo a una temperatura dada y del volumen de agua que dichos sólidos desalojan.

c.- Estructura. Es la distribución y orden de las partes de un suelo. Se deben distinguir tres tipos de estructuras: granular, apanalada y floculenta. Los suelos de estructura apanalada como los de estructura floculenta presentan una capacidad relativamente alta de carga. La estructura granular es propia de los suelos integrados por recios granos, aunque presente diferente magnitud, sin ningún otro enlace más que el que les proporciona la gravedad para que cada partícula individualdescanse en los puntos de contacto con las partículas vecinas. La estructura granular es típica de las gravas y arenas. La estructura apanalada es típica de los suelos limosos, los cuales fueron depositados en agua, arreglándose las partículas unas con otras para formar arcos con grandes espacios vacíos, como los dejados por los panales de abejas. La estructura floculenta es un arreglo complejo de partículas muy finas de arcilla depositadas en agua. En esta estructura las partículas ultrafinas se agrupan en flóculos antes de sedimentarse, este agrupamiento se debe a la atracción de las partículas de carga eléctrica de signos opuestos.

d.- Distribución de las diferentes partículas. La clasificación de los suelos por el tamaño de sus partículas es la más simple de todas, pero tiene el inconveniente de que su relación con las principales características físicas del suelo es indirecta. El tamaño de los suelos es uno de varios factores de los cuales depende la permeabilidad y la cohesión.

e.- Contenido de humedad. Es la relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca.



f.- porosidad y contenido de vacíos. La porosidad es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total, generalmente se expresa en porcentaje:

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

el contenido de vacíos es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

g.- Dureza o porcentaje de desgaste. Es muy importante conocer la forma cómo se comportarán los agregados bajo la acción del tránsito, por lo que las rocas trituradas, las gravas naturales y las gravas trituradas, deben someterse a una prueba de resistencia al desgaste, dicha prueba se realiza con un equipo denominado: Máquina de los Angeles.

h.- Permeabilidad. Es la propiedad que tiene un suelo de permitir el paso del agua por sus poros.

i.- Capilaridad. La capilaridad de los suelos se basa en el principio de ascensión capilar, que se caracteriza porque dicha ascensión es inversamente proporcional al diámetro de los tubos formados por los vacíos de los suelos, es decir, a mayor altura de ascensión, menor diámetro del tubo.

En la construcción o mantenimiento de pavimentos, esta condición se debe tomar en cuenta, ya que, un gran porcentaje de suelos, están formados por arcillas o limos arcillosos.

2.2 ENSAYOS PARA ESTABLECER LA CALIDAD DEL SUELO DEL PROYECTO.

La utilidad de la identificación de los suelos es muy importante en la ingeniería, ya que de esa manera se pueden conocer, cualitativamente, las propiedades mecánicas e hidráulicas de los mismos. Hay que tener presente que la experiencia que se tenga en el manejo de los suelos y de su comportamiento juega un papel muy importante en la utilidad que pueda prestar cualquier clasificación.

Los ensayos generales, se usan para identificar suelos de modo que puedan ser descritos y clasificados, adecuadamente. Estos ensayos son: ensayo del peso específico, análisis granu-lométrico y ensayos de consistencia.

Los ensayos para inspección o control, se usan para asegurar que los suelos se compacten, adecuadamente, durante la construcción, de modo que se cumplen las condiciones impuestas en el proyecto, éstos son: ensayo del contenido de humedad, determinación del peso unitario o densidad y ensayo de compactación para el contenido óptimo de humedad.

Los ensayos de resistencia se usan para determinar la capacidad de carga de los suelos y son adecuados para usarlos en la construcción; el más importante es el California Bearin Ratio, C.B.R. (Índice de valor soporte de California).

A continuación se describen los diferentes ensayos utilizados para estimar la calidad del suelo, éstos son:

2.2.1 GRANULOMETRÍA.

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más sencillo es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir al procedimientos por sedimentación. Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo.

2.2.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG.

Se llama consistencia de un suelo al grado de cohesión de sus partículas y a la resistencia que oponen a las fuerzas externas que tienden a deformar o destruir su estructura. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los mencionados límites son: límite líquido, límite plástico. La diferencia entre los valores de los límites líquido y plástico, da el llamado índice plástico del suelo. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla.

2.2.2.1 LÍMITE LÍQUIDO.

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

De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25 g/cm². La

cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

El ensayo es poco significativo en arenas y aquellos suelos que tienen límite líquido bajo, generalmente, de 20 aproximadamente. El límite líquido de arcillas y limos puede aproximarse a 80 o 100 lo que indica una baja capacidad soporte de cargas.

2.2.2.2 LÍMITE PLÁSTICO.

Por plasticidad se reconoce la propiedad que tienen los suelos de deformarse sin romperse. El límite plástico (L.P.) de un suelo es el contenido de agua que tiene en el límite inferior de su estado plástico, o bien el máximo contenido de humedad que tiene un suelo en el límite de su estado semisólido.

El límite plástico de un suelo se ha convenido que sea el contenido de la humedad que permite cilindrarlo haciendo bastoncitos de 3 mm. de diámetro sin romperse.

Un cambio muy importante en la capacidad para soportar cargas tiene lugar en el límite plástico. La capacidad para soportar cargas, aumenta rápidamente cuando el contenido de humedad disminuye por debajo del límite plástico y disminuye rápidamente, cuando el contenido de humedad sobrepasa el límite plástico.

2.2.2.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que es no plástico, y en este caso el índice plástico se dice que es igual a cero. El índice de plasticidad indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

Según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico igual a cero es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que es medianamente plástico, y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

2.2.3 DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO.

Peso unitario húmedo a densidad húmeda es el peso por metro cúbico o bien por centímetro cúbico del material "in-situ" incluyendo el agua que contiene. Este ensayo se usa para controlar la compactación de terraplenes y capas de base.

Para controlar la compactación de suelos gravosos, en el campo, se debe obtener la densidad seca del material que pasa el tamiz 1/4", a fin de que se pueda comparar con la densidad hallada en la compactación de laboratorio.

2.2.3.1 DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA (PROCTOR).

Es básico para todo el personal encargado del mantenimiento de carreteras conocer en forma clara la importancia que la compactación de los suelos tiene en la construcción y mantenimiento de las carreteras, particularmente en las pavimentadas. Así mismo, es preciso tener presente que las fallas más comunes y corrientes en las carreteras se deben en su mayoría a exceso de humedad, a humedad no controlada o a la falta de compactación de los suelos y de los otros materiales de construcción.

Como se indicó anteriormente, la masa de los suelos está formada por partículas sólidas y vacíos o poros, que pueden estar llenos de agua, de aire o de ambos a la vez. Es natural que si la masa de un suelo se encuentra suelta como sucede al ser removida en las operaciones de construcción o mantenimiento de carreteras, tiene mayor número de vacíos, los cuales conforme la masa del material va siendo compactada van reduciéndose hasta llegar a un mínimo, que es precisamente cuando la masa del suelo alcanza su menor volumen y su mayor peso, lo cual se conoce como "DENSIDAD MÁXIMA", por otra parte, también se ha llegado a comprobar que para alcanzar la "Densidad Máxima" es necesario que la masa del suelo tenga humedad determinada, que se conoce como "HUMEDAD ÓPTIMA". La humedad en un suelo, cuando está en su contenido óptimo, sirve como lubricante entre sus partículas, permitiendo un fácil acomodo entre ellas durante el proceso de compactación; pero si esa humedad es menor que la óptima, la lubricación requerida no se llega a alcanzar y, como consecuencia, tampoco la compactación llegará a su máximo. Por otro lado si la humedad es mayor que la óptima tampoco se logrará alcanzar la máxima densidad, por que llegará un momento en que las partículas de agua ejerzan presión sobre las partículas sólidas del suelo, sirviendo de colchón e imposibilitando un buen reajuste entre ellas.

Como cada suelo tiene sus propias densidad máxima y humedad óptima, tiene también su curva de compactación característica, diferente a la de los otros suelos. Para determinar la densidad máxima y la humedad óptima de los suelos hay varios procedimientos, pero los más usados en trabajos de mantenimiento y construcción de carreteras, son:

a.- PROCTOR STANDARD. R.R. Proctor encontró que aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la cual se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación.

La prueba de Proctor consiste en colocar tres capas iguales de suelo humedecido en un cilindro con volumen de 1/30 de pie cúbico y darle 25 golpes a cada capa con un pisón de 2.5 kg (5.5lb) de peso cayendo de una altura de 30 cm.

b.- PROCTOR MODIFICADO. En síntesis, el Proctor Modificado, es igual al Standard con la variante que se utiliza un pisón de 4 kg. (10 lbs) cayendo de una altura de 45 cm. La muestra en el molde es similar al Proctor Standard, con la diferencia de que el material se coloca en el molde en cinco capas aproximadamente iguales, compactada cada una con 55 golpes.

La densidad máxima obtenida por el método Standard es menor que por el Modificado, y la humedad óptima es mayor; en consecuencia, el procedimiento modificado tiene las siguientes ventajas relativas:

- a.- Mejor acomodamiento de todas las partículas que forman la masa de un suelo lo que reduce su volumen y aumenta su peso unitario o densidad.
- b.- Al tener una humedad óptima más baja, las operaciones de riego son más económicas, lo que facilita la compactación y permite un mayor control en los trabajos de campo.

2.2.4 ÍNDICE DE VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

El valor relativo de soporte de un suelo (CBR) es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo de piedra triturada.

El ensayo ha sido muy utilizado en el diseño de pavimentos y por medio de él se obtiene el "Valor Soporte" de los suelos y agregados (subrasantes, materiales para base y sub-base).

Si P_o es la carga en kg necesaria para hacer penetrar el pistón en el suelo en estudio, y $P_x = 1,360$ kg, la precisa para penetrar la misma cantidad en la muestra tipo de piedra triturada, el Valor de Soporte del suelo vale:

$$CBR = \frac{P_o}{P_x} \cdot 100 = \frac{P_o}{1,360} \cdot 100$$

La carga registrada para la penetración 2.54 mm (0.10") se debe expresar como un porcentaje de la carga estándar de 1,360 kg, y si la prueba estuvo bien ejecutada, por el porcentaje así obtenido es el Valor de Soporte Normal (CBR) correspondiente a la muestra ensayada.

Con el resultado del CBR obtenido de esta prueba se puede clasificar el suelo usando la tabla 2.1, que indica el empleo que puede dársele al material en lo que al CBR se refiere.

Tabla 2.1: Clasificación del suelo según su CBR.

CBR	Clasificación
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala
10 - 20	Subrasante regular a buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 - 50	Sub- base buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

fuelle: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, ing. Carlos Crespo.

2.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

Geología y Suelos.

Las condiciones geológicas de la zona por donde atraviesa el proyecto consiste en la ancha planicie costera del Pacífico que corre a lo largo de la zona sur de Guatemala, la cual está delimitada al norte por rocas volcánicas (coladas de lava y tobas (piedra de origen volcánico muy porosa y ligera)) y una cadena de volcanes cuaternarios que han tenido una gran influencia en la formación geológica del área del proyecto.

De acuerdo al mapa geológico de la zona del proyecto, aproximadamente dos tercios de la carretera atraviesan la región de la planicie del Pacífico que está profundamente cubierta por aluviones cuaternarios que varían desde arenas volcánicas, finas y bien estratificadas, limos y arcillas, hasta acumulaciones sueltas de gruesos pedruscos causadas por inundaciones torrenciales. Los pedruscos son en su mayor parte de basalto o andesita que predominan al norte de la región.

El tercio resultante de la carretera, especialmente entre Retalhuleu-Coatepeque, cruza por zonas donde existen rocas volcánicas de origen cuaternario, aunque en los taludes de la carretera no se aprecian afloramientos significativos de dichos materiales. En muchos casos estas rocas se encuentran cubiertas por materiales aluviales, es decir, la roca madre base en general no aflora y por lo tanto es de poca consecuencia para el proyecto.

Perforaciones, Muestreo y Ensayos.

Esta actividad se desarrolló en tres etapas, las cuales consistieron en:

- Ejecución de perforaciones a base de rotación, con extracción de testigos.

-Excavación de calicatas (exploración que sirve para determinar los materiales que contiene un terreno.), incluyendo ensayos para determinar el peso unitario seco de los materiales que componen la estructura del pavimento y el muestreo detallado de éstos.

-Ensayos de laboratorio tales como: humedad-densidad (Proctor); valor soporte de California (CBR); granulometría y límites de Atterberg.

Perforaciones y muestreo.

Las perforaciones se realizaron tentativamente con un espaciamiento de aproximadamente un kilómetro entre cada una y el muestreo fue realizado para determinar el tipo de material que compone la estructura del pavimento a lo largo del tramo.

El tramo en estudio se perforó hasta alcanzar el material de base el cual fue ensayado para determinar su densidad y contenido de humedad in-situ, posteriormente se procedió a efectuar el muestreo correspondiente. De igual forma se continuó con la perforación, ensaye y muestreo de las capas de sub-base y subrasante; y al finalizar el proceso de perforación se midió los espesores. No se programó tomar muestras de la carpeta de rodadura, ya que ésta se encuentra en un avanzado estado de deterioro.

Espesores y Materiales de la Estructura del Pavimento Existente.

El tramo Retalhuleu-Coatepeque, fue dividido en subtramos en función de los análisis de espesores encontrados en las perforaciones. A continuación se presenta los espesores promedio por subtramo:

Tramo Retalhuleu-Coatepeque

Subtramo	Est. Inicial	Est. Final	Carpeta	Base	Sub-base	
Sn. Sebastián Reu. - Sibaná	178+722	191+467	3.0	18.0	25.0	
Sibaná - El Xab	191+467	196+600	3.0	15.0	29.0	
El Xab - Flores Costa Cuca	196+600	209+000	3.0	15.0	25.0	
Flores Costa Cuca - Coatepeque	209+000	217+500	3.0	14.0	17.0	

Nota: las dimensionales de carpeta, base y sub-base están expresados en centímetros.

En la tabla 2.2 se muestran los resultados completos: estación donde se realizó la perforación, tipo de perforación que se utilizó para extraer la muestra, espesores encontrado en la estructura del pavimento existente y la clasificación del material encontrado.

Análisis de resultados y recomendaciones.

El análisis de los valores de CBR fue realizado por los mismos subtramos que en el inciso anterior. En la tabla 2.3, se muestra el procedimiento de análisis seguido y los criterios utilizados. A continuación se presentan los valores seleccionados para el diseño estructural del pavimento:

Tramo Retalhuleu-Coatepeque

Subtramo No.	Est. Inicial	Est. Final	Base	Sub-base	Subrasante
San Sebastián Reu. - Sibaná	178+722	191+467	77.2	67.4	10.4
Sibaná - El Xab	191+467	196+600	38.5	23.0	8.1
El Xab - Flores Costa Cuca	196+600	209+000	103.8	61.0	12.5
Flores Costa Cuca - Coatepeque	209+000	217+500	117.1	47.7	14.8

Nota: las dimensionales de base, sub-base y subrasante, están expresados en centímetros.

La subrasante existente, en general presenta características de plasticidad similares en todo el tramo, habiéndose obtenido los valores siguientes:

Tramo Retalhuleu-Coatepeque

L.L. máx.	L.L. mín.	L.L. prom.	I.P. máx.	I.P. mín.	I.P. prom.
82.7	20.2	53.3	27.1	2.6	15.3

En la tabla 2.4, se muestran los resultados obtenidos de los límites de consistencia, la humedad y densidad óptimas y el sistema de clasificación del material que compone la subrasante.

Para los materiales de base no se efectuó ningún ensayo de límites de Atterberg, ya que éstos son gravas de piedra triturada y basta una simple inspección ocular para determinar que no poseen características de plasticidad. De igual forma se procedió para los materiales de sub-base.

En cuanto a las características de los materiales que componen la base y sub-base del tramo Retalhuleu-Coatepeque, se considera que éstos pueden mezclarse para posteriormente ser utilizados en la construcción de una nueva base estabilizada, ya que poseen propiedades adecuadas en cuanto a CBR, granulometría y plasticidad.

Tabla 2.2: espesores de las capas de la estructura del pavimento existente.

kilómetro	perf	pista	Espesor (cm)			Material de la estructura		
	R ó N	I ó D	Carpeta	Base	Sub-base	Carpeta	Base	Sub-base
178+833	N	D	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-1-a
179+000	R	I	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-1-a
179+662	R	D	0.03	0.10	0.20	DT	A-1-a	A-2.4
180+031	N	I	0.03	0.15	0.20	DT	A-1-a	A-2.4
181+000	R	I	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-1-a
181+245	N	D	0.03	0.15	0.40	DT	A-1-a	A-1-b
181+560	R	D	0.02	0.20	0.18	DT	A-1-a	A-2.4
182+939	N	I	0.03	0.18	0.17	DT	A-1-a	A-1-b
183+019	R	I	0.03	0.15	0.22	DT	A-1-a	A-1-b
183+639	R	D	0.03	0.15	0.22	DT	A-1-a	A-1-b
184+270	N	D	0.03	0.15	0.40	DT	A-1-a	A-1-b
185+019	R	I	0.03	0.45	0.10	DT	A-1-a	A-1-b
185+719	N	D	0.03	0.20	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
186+200	R	D	0.05	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-1-b
187+180	R	I	0.03	0.16	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
187+600	N	I	0.03	0.18	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
188+464	R	D	0.05	0.15	0.15	DT	A-1-a	A-1-b
188+574	N	D	0.03	0.20	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
189+368	R	I	0.03	0.15	0.40	T	A-1-a	A-3
190+490	N	I	0.03	0.18	0.30	DT	A-1-a	A-3
190+670	R	D	0.02	0.18	0.20	DT	A-1-a	A-3
191+452	N	D	0.03	0.20	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
Subtramo 1			0.03	0.18	0.25			
191+592	R	I	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
192+630	R	D	0.03	0.16	0.15	DT	A-1-a	A-3
193+455	N	I	0.04	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-3
193+750	R	I	0.03	0.15	0.40	DT	A-1-a	A-3
194+512	R	D	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-3
194+594	N	D	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-3
195+495	R	D	0.03	0.20	0.30	DT	A-1-a	A-3
195+600	R	I	0.03	0.13	0.30	DT	A-1-a	A-3
195+890	N	I	0.03	0.15	0.35	DT	A-1-a	A-3
Subtramo 2			0.03	0.15	0.29			
197+056	N	D	0.03	0.20	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
197+556	R	I	0.03	0.13	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
198+605	R	D	0.03	0.15	0.35	DT	A-1-a	A-1-b
199+251	N	I	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-1-a
199+476	R	I	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-1-b
200+321	R	D	0.03	0.15	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
201+490	R	I	0.03	0.13	0.22	DT	A-1-a	A-1-b
202+506	N	D	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-3
202+582	R	D	0.04	0.15	0.26	DT	A-1-a	A-3
203+665	R	I	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-3
204+735	R	D	0.03	0.13	0.23	DT	A-1-a	A-3
205+151	N	I	0.03	0.15	0.25	DT	A-1-a	A-3
205+751	R	I	0.03	0.15	0.20	DT	A-1-a	A-3
206+599	R	D	0.03	0.15	0.17	DT	A-1-a	A-3
207+756	R	I	0.03	0.14	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
208+707	R	D	0.03	0.15	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
208+892	N	D	0.03	0.15	0.30	DT	A-1-a	A-1-b
Subtramo 3			0.03	0.15	0.25			
209+693	R	I	0.03	0.12	0.15	DT	A-1-a	A-1-b
210+615	R	D	0.03	0.10	0.10	DT	A-1-a	A-1-b
211+320	N	I	0.03	0.14	0.00	DT	A-1-a	...
211+780	R	I	0.03	0.14	0.15	DT	A-1-a	A-1-b
212+735	R	D	0.03	0.12	0.30	DT	A-1-a	A-2.4
213+649	R	I	0.03	0.16	0.20	DT	A-1-a	A-2.4

Tabla 2.2: ... (continuación).

kilómetro	perf.	pista	Espesor (cm)			Material de la estructura		
	R ó N	I ó D	Carpeta	Base	Sub-base	Carpeta	Base	Sub-base
4214+282	R	D	0.03	0.13	0.21	DT	A-1-a	A-2.4
214+992	N	D	0.03	0.15	0.20	DT	A-1-a	A-2.4
215+160	R	I	0.03	0.20	0.10	DT	A-1-a	A-2.4
216+070	N	I	0.03	0.13	0.10	DT	A-1-a	A-1-a
216+330	R	D	0.03	0.10	0.30	DT	A-1-a	A-1-a
217+403	R	I	0.03	0.14	0.20	DT	A-1-a	A-1-b
Subtramo 4			0.03	0.14	0.17			

Fuente: Dirección General de Caminos.

Descripción de materiales: CA: concreto asfáltico DT: doble tratamiento superficial A-1-a: AASHTO M-145 A-2.4: AASHTO M-145

SC: suelo cemento DT-PV: DT pavimento viejo A-1-b: AASHTO M-145 A-3: AASHTO M-145

Tabla 2.3: análisis de resultados, valor soporte de California, al porcentaje de compactación de campo.

Subtramo No.	Estacionamientos comprendidos dentro del subtramo	Mojón de kilometraje	Valor soporte de California al % de compactación de campo		
			Subrasante	Subbase	Base
1	178+722 191+467	178+835	8.7	69.4	71.5
		180+031	10.0	67.0	77.5
		181+245	0.4	72.7	26.7
		182+939	25.4	70.5	126.7
		184+270	2.3		
		185+719	55.5		52.1
		187+600	10.6		
		188+574	1.7	57.4	107.7
		190+490	14.0		
		191+452	54.2		
PROMEDIO			18.3	67.4	77.0
ELIMINANDO EXTREMOS			10.4		77.2
2	191+467 196+600	193+455	7.8	23.0	38.5
		194+594	6.4		
		195+890	10.2		
PROMEDIO			8.1	23.0	38.5
3	196+000 209+000	197+056	3.7	72.3	97.3
		199+251	4.6	71.5	122.2
		202+506	3.5		
		205+151	17.5	60.0	111.0
		208+892	33.0	40.0	84.5
PROMEDIO			12.5	61.0	103.8
4		211+320	26.0		116.7
		214+992	7.6	47.7	117.4
		216+070	10.8		
PROMEDIO			14.8	47.7	117.1

Fuente: Dirección General de Caminos.

Subtramo 1: San Sebastián Retalhuleu - Sibaná.
Subtramo 3: El Xab - Flores Costa Cuca.

Subtramo 2: Sibaná - El Xab.
Subtramo 4: Flores Costa Cuca - Coatepeque.

Tabla 2.4: resumen de resultados de los ensayos de laboratorio, muestras de base, subbase y subrasante.

Mojón kilometraje	Estructura	P.U.S campo lb/p3	W campo %	P.U.S. máx. lb/p3	W óptimo %	Límites de Atterberg			Índice de Liquidez
						L.L.	L.P.	I.P.	
178+835	Base	134.6	3.9	137.5	7.7	NL	NP	-	-
	Sub-base	84.9	19.6	85.8	19.5	NL	NP	-	-
	subrasante	74.5	51.1	85.0	34.0	61.4	42.2	19.2	0.5
180+031	Base	130.9	3.0	134.2	7.2	NL	NP	-	-
	Sub-base	83.8	17.3	84.8	17.2	NL	NP	-	-
	subrasante	99.3	18.3	115.1	13.8	35.3	28.5	6.8	-1.5
181+245	Base	125.4	3.9	138.7	7.5	NL	NP	-	-
	Sub-base	87.7	15.8	85.3	16.7	NL	NP	-	-
	subrasante	82.4	38.3	104.6	21.6	45.2	31.1	14.1	0.5
182+939	Base	143.3	3.8	140.7	7.8	NL	NP	-	-
	Sub-base	86.0	20.6	81.6	21.0	NL	NP	-	-
	subrasante	123.1	13.2	123.9	11.0	20.2	17.6	2.6	-1.7
184+270	Base	127.2	4.8			NL	NP	-	-
	Sub-base	90.6	21.9			NL	NP	-	-
	subrasante	90.5	35.9	105.3	20.5	46.2	30.7	15.5	0.3
185+719	Base	119.4	4.3	137.4	7.8	NL	NP	-	-
	Sub-base	97.3	21.4			NL	NP	-	-
	subrasante	100.7	26.0	104.5	17.0	57.6	38.6	19.0	0.1
188+574	Base	141.9	4.2	139.4	7.3	NL	NP	-	-
	Sub-base	95.7	20.6	100.5	15.2	NL	NP	-	-
	subrasante	90.4	29.3	106.3	18.7	42.1	27.9	14.2	0.1
191+452	Base	130.3	3.8			NL	NP	-	-
	Sub-base	95.4	21.4			NL	NP	-	-
	subrasante	119.0	10.1	118.6	13.2	NL	NP	-	-
193+455	Base	132.4	4.1	139.7	6.2	NL	NP	-	-
	Sub-base	93.3	26.4	119.9	15.5	NL	NP	-	-
	subrasante	84.1	33.0	95.5	25.7	56.7	39.1	17.6	-0.3
195+890	Base	138.9	4.3			NL	NP	-	-
	Sub-base	89.6	19.3			NL	NP	-	-
	subrasante	91.7	36.3	89.6	31.0	59.8	36.3	23.5	0.0
197+056	Base	140.0	4.2	140.3	8.5	NL	NP	-	-
	Sub-base	96.3	19.5	101.0	16.5	NL	NP	-	-
	subrasante	88.2	38.8	88.5	31.5	59.4	38.9	20.5	0.0
202+506	Base	136.2	3.8			NL	NP	-	-
	Sub-base	78.4	17.4			NL	NP	-	-
	subrasante	73.5	47.2	80.8	30.0	61.7	48.5	13.2	0.4
208+892	Base	130.8	3.8	137.7	7.6	NL	NP	-	-
	Sub-base	80.8	19.0	88.2	18.6	NL	NP	-	-
	subrasante	81.7	45.5	78.6	42.4	64.6	53.0	11.6	-0.6
211+320	Base	141.7	3.9	140.4	8.0	NL	NP	-	-
	Sub-base								
	subrasante	84.5	33.0	89.6	30.5	45.2	33.8	11.4	-0.4

fuentes: Dirección General de Caminos.

P.U.S. campo: peso unitario seco en el campo.

W campo: humedad de campo.

L.L.: límite líquido.

L.P.: límite plástico.

P.U.S. máx.: peso unitario seco máximo.

W óptimo: humedad óptima.

I.P.: índice plástico.

2.3.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS PARA BANCOS DE MATERIALES.

Debido a que la disponibilidad de fuentes cercanas para abastecimiento de materiales tiene un profundo efecto en los costos de un proyecto carretero, los posibles bancos de materiales fueron evaluados para determinar su aceptabilidad previo a efectuar la selección final.

Localización de Bancos de Materiales.

La localización de las posibles fuentes de materiales fue realizada en base a planos de ubicación por donde atraviesa el proyecto. Posteriormente se realizó una inspección de todos los puntos seleccionados para confirmar su existencia y estimar los volúmenes y clase de material disponible.

En la siguiente página se presenta un mapa con la localización de cuarenta bancos de materiales que fueron elegidos para su evaluación. Los bancos comprendidos entre el No. 21 y No.33 son los que se encuentran localizados dentro del tramo Retalhuleu - Coatepeque.

Muestreo y Ensayos de Laboratorio.

Todas las operaciones de muestreo, así como los ensayos de laboratorio fueron realizados de acuerdo a los estándares establecidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la American Society for testing and Materials (ASTM).

Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio de acuerdo al tipo de material disponible y el uso que tendrá cada banco para los trabajos a ser realizados en el proyecto. Considerando lo anterior, los ensayos ejecutados fueron:

- Humedad - Densidad (Proctor)
- Valor soporte de California (CBR a tres grados de compactación diferentes).
- Granulometría
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

En la, tabla 2.5, se presenta un resumen de los resultados de laboratorio, se incluyen los ensayos efectuados de humedad-densidad, CBR, límites de Atterberg.

Análisis de Resultados.

Hubo bancos que no fue posible muestrear por no haber conseguido el permiso respectivo, se considera factible que el contratista que sea seleccionado para llevar a cabo la construcción pueda llegar a algún arreglo con los propietarios de éstos.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, todos los bancos podrán ser utilizados de acuerdo al uso recomendado que se indica a continuación:

Tramo Retalhuleu - Coatepeque

Banco No. Volumen Estimado Uso Recomendado*

21	30,000 m3	SB, BC
22	15,000 m3	BC
23	50,000 m3	SB
24	30,000 m3	SB
25	50,000 m3	SB, BC
26	70,000 m3	BC, CA
27	75,000 m3	SB, BC
28	40,000 m3	SB, BC
29	60,000 m3	SB, BC
30	60,000 m3	SB, BC
31	30,000 m3	SB, BC
32	20,000 m3	SB
33	20,000 m3	SB

- * SB: Subbase
 BC: Base estabilizada con cemento
 CA: Concreto asfáltico

Tabla 2.4: resumen de resultados de los ensayos de laboratorio, muestras de base, subbase y subrasante.

Mojón kilometraje	Estructura	P.U.S campo lb/p3	W campo %	P.U.S. máx. lb/p3	W óptimo %	Límites de Atterberg			Índice de Liquidez
						L.L.	L.P.	I.P.	
178+835	Base	1346	39	1375	7.7	NL	NP	-	-
	Sub-base	84.9	19.6	85.8	19.5	NL	NP	-	-
	subrasante	74.5	51.1	85.0	34.0	61.4	42.2	19.2	0.5
180+031	Base	1309	3.0	1342	7.2	NL	NP	-	-
	Sub-base	83.8	17.3	84.8	17.2	NL	NP	-	-
	subrasante	99.3	18.3	115.1	13.8	35.3	28.5	6.8	-1.5
181+245	Base	125.4	3.9	138.7	7.5	NL	NP	-	-
	Sub-base	87.7	15.8	85.3	16.7	NL	NP	-	-
	subrasante	82.4	38.3	104.6	21.6	45.2	31.1	14.1	0.5
182+939	Base	143.3	3.8	140.7	7.8	NL	NP	-	-
	Sub-base	86.0	20.6	81.6	21.0	NL	NP	-	-
	subrasante	123.1	13.2	123.9	11.0	20.2	17.6	2.6	-1.7
184+270	Base	127.2	4.8			NL	NP	-	-
	Sub-base	90.6	21.9			NL	NP	-	-
	subrasante	90.5	35.9	105.3	20.5	46.2	30.7	15.5	0.3
185+719	Base	119.4	4.3	137.4	7.8	NL	NP	-	-
	Sub-base	97.3	21.4			NL	NP	-	-
	subrasante	100.7	26.0	104.5	17.0	57.6	38.6	19.0	0.1
188+574	Base	141.9	4.2	139.4	7.3	NL	NP	-	-
	Sub-base	95.7	20.6	100.5	15.2	NL	NP	-	-
	subrasante	90.4	29.3	106.3	18.7	42.1	27.9	14.2	0.1
191+452	Base	130.3	3.8			NL	NP	-	-
	Sub-base	95.4	21.4			NL	NP	-	-
	subrasante	119.0	10.1	118.6	13.2	NL	NP	-	-
193+455	Base	132.4	4.1	139.7	6.2	NL	NP	-	-
	Sub-base	93.3	26.4	119.9	15.5	NL	NP	-	-
	subrasante	84.1	33.0	95.5	25.7	56.7	39.1	17.6	-0.3

Tabla 2.4... (continuación)

Mojón kilometraje	Estructura	P.U.S campo lb/p3	W campo %	P.U.S. máx. lb/p3	W óptimo %	Límites de Atterberg			Índice de Liquidez
						L.L.	L.P.	I.P.	
197+056	Base	140.0	42	140.3	8.5	NL	NP	-	
	Sub-base	96.3	19.5	101.0	16.5	NL	NP	-	
	subrasante	88.2	38.8	88.5	31.5	59.4	38.9	20.5	0.0
202+506	Base	136.2	3.8			NL	NP	-	
	Sub-base	78.4	17.4			NL	NP	-	
	subrasante	73.5	47.2	80.8	30.0	61.7	48.5	13.2	0.4
208+892	Base	130.8	3.8	137.7	7.6	NL	NP	-	
	Sub-base	80.8	19.0	88.2	18.6	NL	NP	-	
	subrasante	81.7	45.5	78.6	42.4	64.6	53.0	11.6	-0.6
211+320	Base	141.7	3.9	140.4	8.0	NL	NP		
	Sub-base								
	subrasante	84.5	33.0	89.6	30.5	45.2	33.8	11.4	-0.4

fuentes: Dirección General de Caminos.

P.U.S. campo: peso unitario seco en el campo.

W campo: humedad de campo.

L.L.: límite líquido.

L.P.: límite plástico.

P.U.S. máx.: peso unitario seco máximo.

W óptimo: humedad óptima.

I.P.: índice plástico.

Tabla 2.5: resumen de resultados de ensayos de laboratorios de bancos de materiales.

No. de banco	P.U.S. máximo lb/p3	W óptimo %	CBR a 95% comp.	Límites de Atterberg			Equivalente arena prom.	clasificación AASHTO
				L.L.	L.P.	I.P.		
21	115.4	12.6	56.3	NL	NP	-	32	A-1-b
23	79.1	25.0	38.7	NL	NP	-	36	A-2-4
26	-	-	-	NL	NP	-	73	A-1-a
29	88.2	25.0	64.3	NL	NP	-	32	A-1-a
31	101.8	19.6	56.3	NL	NP	-	20	A-1-a
32	105.8	15.8	31.8	NL	NP	-	35	A-2-4

fuentes: Dirección General de Caminos.

Clasificación de materiales según AASHTO.

A-1-a: este material está formado principalmente por fragmentos de piedra o grava, mezclados con un buen ligante o material fino.

A-1-b: en estos materiales predominan las arenas gruesas con o sin un suelo ligante.

A-2-4: incluyen materiales granulares los cuales el 35% o menos pasan el tamiz No. 200. Este grupo incluye materiales tales como grava y arena gruesa con sedimento e índices altos de plasticidad

A-3: los materiales típicos de este grupo son arenas finas de playa o desierto con sedimentos o arcillas finas o con pequeñas cantidades de sedimentos no plásticos.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO EN LA CARRETERA

GENERALIDADES.

El impresionante crecimiento anual manifestado durante los últimos años en el número de vehículos para transporte de bienes y personas sobre las carreteras de Guatemala, se proyecta con una diversidad de consecuencias en los diferentes planos de la actividad nacional. Una de ellas, notable por el esfuerzo financiero que implica para un país en proceso de desarrollo, es la necesidad de construir más y mejores vías para acomodar el tránsito que se intensifica y expande por todos los ámbitos del país. La intensificación del tránsito plantea la exigencia de mejoras en las vías existentes; la expansión, a su vez, requiere la construcción de nuevas vías en todas direcciones; en ambas situaciones, no conviene de manera alguna establecer limitaciones a la movilidad porque ésta es un signo positivo de progreso.

En el caso específico de las carreteras debe mantenerse una actitud vigilante frente a ese fenómeno expansivo con instrumentos estadísticos adecuados. La investigación sistemática de todos los antecedentes que se interpongan en una decisión futura, debe establecerse como algo indispensable a la vez que impostergable.

Uno de estos elementos de juicio se obtiene de los recuentos volumétricos de tránsito, que miden el nivel de la demanda de los usuarios de una vía, profundizan en su estructura y reflejan las tendencias más significativas, sean éstas, referidas a períodos cortos de una hora o prolongados a años.

La Dirección General de Caminos de Guatemala, interesada en mejorar su horizonte de conocimientos de tránsito a través de su sección de Estadística de la unidad de Planeamiento, efectúa mediciones del tránsito por medio de una serie de estaciones de conteo, distribuidas en toda la red vial del país.

3.1 ESTUDIOS DE VOLUMEN DE VEHÍCULOS.

Los estudios de volúmenes de vehículos sirven para determinar la composición y volumen del tránsito en un sistema de carreteras, algunos requieren detalles tales como la composición del tránsito en una corriente mientras otros requieren datos específicos sobre el movimiento de ida y vuelta. Estos estudios se pueden hacer de dos maneras.

3.1.1 MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CONTEO DE VEHÍCULOS.

3.1.1.1 Conteos mecánicos o automáticos.

Este tipo de conteos de vehículos se realiza en estaciones semipermanentes, una vez al año con duración de una semana.

3.1.1.2 Conteos manuales.

Los conteos manuales son hechos cuando los datos deseados no se pueden obtener con equipo contable mecánico o automático. Una ventaja de los conteos manuales es, la clasificación de vehículos según su tipo.

La distribución del tránsito por carreteras, ha seguido un ordenamiento tal, que permite separar el tránsito liviano del tránsito pesado, a la vez que se puede conocer la proporción de vehículos de pasajeros contra los de carga, dentro del flujo total.

La clasificación discriminatoria usada para el tránsito en Guatemala, es el siguiente:

- 1.- Automóviles, Paneles y Jeeps.
- 2.- Pick-ups.
- 3.- Camiones de 2 ejes.
- 4.- Camiones de 3 ejes.
- 5.- Microbuses.
- 6.- Autobuses.
- 7.- Camiones de 4 ejes o más.

La suma de las categorías 3, 4, 6 y 7 componen el tránsito pesado, cuya importancia es definitiva en los criterios de capacidad y diseño. Las categorías 1, 2, y 5 integran el tránsito liviano.

3.1.2 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE VEHÍCULOS.

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. Los aforos se realizan para determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras; para determinar el número de vehículos que viajan en cierta zona o a través de ella; para evaluar índices de accidentes; para servir como base en la clasificación de caminos; como datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos; para proyectar sistemas de control de tránsito; para elaborar programas de mantenimiento; para establecer prioridades y técnicas de construcción; para determinar el tránsito futuro y muchas otras aplicaciones.

3.2 TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPDA) DEL PROYECTO.

A continuación se presenta una descripción sobre la información disponible en relación al tránsito en la carretera y los trabajos realizados para complementar esa información, a fin de establecer las condiciones actuales del tránsito y efectuar las proyecciones del mismo durante los veinte años que se han considerado constituyan el período de diseño del proyecto.

El tránsito que actualmente hace uso de la carretera, así como su desenvolvimiento histórico y su variación estacional, constituyen la base de cálculo de las proyecciones del tránsito futuro. Para establecer el tránsito normal, se estudiaron los datos históricos disponibles en la Dirección General de Caminos (DGC), tanto para estaciones ubicadas sobre la carretera, como para otros caminos que entroncan con ella.

3.2.1 LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES.

La sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la DGC, es la responsable de llevar a cabo los conteos de tránsito en la red vial clasificada del país. Para la CA-2 Occidente, en el tramo bajo estudio, se cuenta con dos estaciones de conteo. Estas estaciones son las siguientes:

Estación	Tipo*	Localización	Tramo
214	A	km. 197.30	Santa Cruz Muluá - Sibaná
215	Sumaria	km. 219.99	Sibaná - Coatepeque

- * Tipo A: los conteos se efectúan durante 4 días (2 laborales y 2 no laborales).
Tipo B: los conteos se realizan durante 2 días laborales
Tipo Sumaria: los conteos se realizan durante 1 día laborable.

A continuación se presentan 2 tablas, 3.1 y 3.2, con los resultados del análisis de conteos realizados por la DGC entre 1967 y 1994 en las dos estaciones indicadas. No obstante, que éstos presentan períodos de hasta dos años sin información, esto no dificulta su interpretación y análisis.

Tabla 3.1: historial de tránsito de 1,967 a 1,994 estación 214.

Estación 214 Año	TPDA	Tipo de vehículo						
		1	2	3	4	5	6	7
1967	512	512	79	133	5	24	39	48
1968								
1969	779	302	129	214	16	15	84	19
1970								
1971	996	349	162	273	34	33	120	25
1972	988	351	177	246	27	25	125	37
1973	1,137	372	222	310	32	26	142	33
1974	1,231	329	241	383	44	27	160	47
1975	1,499	432	321	376	66	46	186	72
1976	1,618	463	355	443	76	34	189	58
1977	1,399	369	353	347	84	43	150	53
1978	2,146	544	544	490	103	67	296	102
1979	1,848	447	578	418	64	51	199	91
1980	1,985	474	574	446	96	59	244	92
1981	1,757	409	482	401	84	40	264	77
1982	2,038	461	514	588	59	43	281	92
1983	1,505	382	451	281	45	44	230	72
1984	1,604	395	513	289	43	42	261	61
1985	1,801	501	525	358	56	49	245	67
1986	1,640	505	453	277	64	38	231	72
1987	1,865	442	556	328	106	52	308	73
1988	1,932	383	678	357	112	54	290	58
1989	2,072	470	668	398	126	41	307	62
1990								
1991	2,209	550	658	446	199	53	239	64
1992	2,766	669	968	467	241	80	277	64
1993	2,316	549	783	389	213	49	273	60
1994								

Fuente: Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps.

Categoría II: pick-ups.

Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes.

Categoría V: microbuses.

Categoría VI: buces.

Categoría VII: camiones de 4 ejes o más.

Tabla 3.2: historial de tránsito de 1,967 a 1,994, estación 215.

Estación 215 Año	TPDA	Tipo de vehículo						
		1	2	3	4	5	6	7
1967	660	259	100	159	1	55	67	19
1968	806	369	124	176	23	25	79	10
1969	1,130	480	200	255	26	26	115	28
1970	1,156	478	261	223	30	30	117	17
1971	990	344	220	241	31	20	109	25
1970	1,528	554	332	358	15	75	159	35
1973	1,208	367	296	342	21	39	115	28
1974	1,429	499	303	337	31	41	139	79
1975	1,615	567	333	333	65	78	163	76
1976	2,499	735	515	692	70	127	220	140
1977	2,143	574	627	469	64	94	221	94
1978	2,340	627	644	503	159	77	215	115
1979	2,366	662	758	433	47	62	248	156
1980	2,105	488	691	442	53	46	288	97
1981								
1982	2,370	590	725	391	69	76	360	159
1983	1,962	555	628	296	65	51	261	106
1984	2,399	629	752	410	72	106	324	106
1985	2,299	589	659	400	39	108	359	145
1986	1,930	477	592	313	77	77	301	93
1987	2,704	735	909	395	100	92	357	116
1988	2,619	592	972	375	107	73	369	131
1989								
1990								
1991	2,990	673	984	541	212	84	344	152
1992	3,344	839	1174	622	197	64	318	130
1993								
1994								

Fuente: Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces.

Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

Un estudio detallado de la información anterior, permite establecer las siguientes conclusiones:

- No obstante que se presentan incrementos y reducciones anuales en las cantidades de vehículos, se puede establecer claramente una tendencia creciente en las estaciones bajo estudio. Esto permite, a través de un **análisis de regresión**, plantear una correlación razonable y obtener tasas de crecimiento, tanto para el TPDA, como para cada uno de los distintos tipos de vehículos.

El análisis de regresión consiste en agrupar los diferentes datos, de cada una de las estaciones, y ajustarlos a una línea recta; es por eso que para el análisis de regresión se utilizara el método de la línea recta, que a continuación se describe:

Método de la línea recta:

$$Y_i = a + bX_i$$

$$a = \frac{Sy[S(x^2)] - S(x)[S(xy)]}{N[S(x^2)] - [S(x)]^2}$$

$$b = \frac{N[S(xy)] - S(x)[S(y)]}{N[S(x^2)] - [S(x)]^2}$$

donde:

X_i = períodos comprendidos desde 1,967 a 1,994, (28)

Y_i = TPDA proyectado en el periodo i

a = constante.

b = pendiente de la recta.

N = número de observaciones, depende de la cantidad de datos conocidos.

Tasa de crecimiento = $b/TPDA$ 1,994

A continuación se presentan las tablas 3.3 y 3.4, en las cuales se muestran los resultados del análisis de regresión realizado en con los datos de las tablas 3.1 y 3.2.

De las tablas 3.3 y 3.4 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Las estaciones de conteo ubicadas en las carreteras que entroncan con la CA-2 Occidente, presentan tránsitos, que son en todos los casos, congruentes con los observados sobre la CA-2, de manera que no se requiere de un análisis detallado para las mismas. Así mismo, estos valores permiten asumir que no existe tránsito desviado.

- Se observa, un incremento en los vehículos pesados de tres ejes o más (categoría IV), que en los vehículos pesados de dos ejes (categoría III). Sin embargo, el número de vehículos pesados de dos ejes actualmente aún es mayor al de tres ejes. Esto permite suponer que existe la tendencia a utilizar los vehículos más grandes, realizando un menor número de viajes, para transportar el mismo volumen de carga.

- Se observan una reducción (tasa de crecimiento negativa), en los microbuses (categoría V).

Tabla 3.3: resultados del análisis de regresión, estación 214.

Variable de regresión	TPDA	Tipo de vehículo						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Constante (a)	720.5	275.4	60.5	249.5	-9.7	22.5	82.7	39.7
No. de observaciones (N)	27	27	27	27	27	27	27	27
Pendiente de la recta (b)	63.13	10.5	27.2	7.3	6.5	1.4	8.8	1.5
Promedio	1,604	423	441	352	81	42	207	60
TPDA 1,994	2,425	559	794	447	166	59	322	79
Tasa de crecimiento	0.039	0.025	0.062	0.021	0.080	0.033	0.043	0.024
TPDA a 2,018 proyectado	3,175	812	735	622	115	86	399	113

fFuente: sección de estadística, unidad de planeamiento DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

Tabla 3.4: resultados del análisis de regresión, estación 215.

Variable de regresión	TPDA	Tipo de vehículos						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Constante (a)	848.0	390.9	80.9	250	-6.7	41.2	69.5	22.2
No. de observaciones (N)	26	26	26	26	26	26	26	26
Pendiente de la recta (b)	85.96	12.3	37.9	10.0	6.1	1.9	12.6	5.4
Promedio	2,009	557	592	384	75	67	239	95
TPDA 1,994	3,169	722	1104	518	156	92	409	167
Tasa de crecimiento	0.043	0.022	0.064	0.026	0.081	0.028	0.053	0.057
TPDA a 2,018 proyectado	3,921	1,017	987	756	108	138	436	167

fFuente: sección de estadística, unidad de planeamiento, DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

En general, se considera que los resultados obtenidos del análisis del historial de tránsito especialmente, las tasas de crecimiento, deben ser utilizados con cautela, haciendo algunos ajustes para realizar proyecciones razonables del tránsito durante el período de diseño. En este sentido, se considera razonable esperar que el tránsito de vehículos para transporte de carga crezca con tasas similares a las del crecimiento económico del país (5.0%); mientras que el transporte de pasajeros crezca con tasas similares al crecimiento poblacional (3.0%).

Durante el año de 1,994, la Sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la DGC realizó una modificación en las categorías de vehículos, que duplica el conteo de los camiones de tres ejes del tipo T3-S2, al quedar incluidos en las categorías IV y VII respectivamente.

3.3 ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DE TRÁNSITO.

Con el fin de establecer la magnitud y las condiciones del tránsito actual, que sirvieran de base para las proyecciones del tránsito futuro, la DGC solicitó a una empresa consultora realizar conteos de tránsito. Esta actividad se realizó del 15 al 29 de abril de 1,996, en forma continua, es decir, durante 14 días, en cuatro estaciones diferentes seleccionadas de común acuerdo con la Sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la DGC. Entre las estaciones seleccionadas se encuentra la estación 214, ubicada en el km. 197.30 entre Santa Cruz y Ibaná. Esta estación es una, de las dos que se utilizarán para proyectar el tránsito.

Los conteos se realizaron de las 15:00 horas del día 15 de abril a las 15:00 horas del día 29 de abril de 1,996.

A continuación se presentan los resultados del conteo realizado sobre esta estación (tabla 3.5). En ésta se muestra el tránsito promedio anual (TPDA) y el tránsito para cada una de las siete categorías de vehículos utilizadas por la DGC.

Tabla 3.5: tránsito diario del 22/abril al 29/abril 1,996.

Estación	Número de vehículos							TPDA	% de vehículos pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
214	776	1067	501	434	17	311	2	3,108	40.2

fuentes: sección de estadística, unidad de planeamiento, DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

La información de la tabla correspondiente a la estación 214, revela que la mayor parte del tránsito está constituido por pick-ups y automóviles, seguidos por los camiones de dos ejes y los camiones de 3 ejes. Los camiones de 4 o más ejes están constituidos, en un 99%, por camiones con cinco ejes (T3-S2, con un remolque), utilizados para el transporte de caña de azúcar. El tránsito de vehículos pesados, constituido por las categorías 3, 4, 6 y 7 representa un porcentaje muy alto del tránsito total, lo que corresponde con la categoría de la carretera.

Los conteos realizados mostraron volúmenes de tránsito mayores, en 20% a 30%, a los proyectados a partir de los datos históricos. Por tratarse de una variación tan grande en solamente dos años, esta diferencia no puede atribuirse a las tasas de crecimiento, sino más bien se consideran relacionadas con la forma y época de realización de los conteos históricos, en relación a los conteos realizados por la empresa consultora.

Los resultados de los conteos realizados, en combinación con el historial de tránsito fueron utilizados para establecer el tránsito actual en la estación 215, donde no se realizaron conteos, los resultados de las dos estaciones se muestran en la tabla 3.6 que a continuación se presenta:

Tabla 3.6: Tránsito para las 2 estaciones de conteo del proyecto.

Estación	Numero de vehículos							TPDA	% de vehículos pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
214	776	1067	501	434	17	311	2	3,108	40.2
215	1,002	1,484	581	424	66	385	1	3,943	35.3

fuelle: sección de estadística, unidad de planeamiento, DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

La forma en que se calculó el TPDA para la estación fue 215 es la siguiente:

1. Por medio del análisis lineal se encontró el TPDA para 1,996 (ver tabla 3.7)

Tabla 3.7: Tránsito para el año 1,996 (según historial de tránsito).

Estación	Numero de vehículos							TPDA	% de vehículos pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
215	747	1,179	538	169	96	435	178	3,342	3.4

fuelle: sección de estadística, unidad de planeamiento, DGC.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

2. En las estaciones donde se realizaron conteos, se determinó que los resultados variaban entre un 20% a 30% de los resultados encontrados a partir de los datos históricos; específicamente en la estación 214 se encontró una diferencia del 18%, este porcentaje fue el que se le incrementó a los datos de la estación 215 (tabla 3.7), dando como resultado los datos mostrados en la tabla 3.6.

3.3.1 Estacionalidad del tránsito.

Los conteos de tránsito realizados por la empresa consultora constituyen la base para fines de proyección del tránsito normal. Sin embargo, dado que los mismos fueron realizados solamente durante una época específica del año, previamente se hizo necesario evaluar las variaciones estacionales del tránsito. A través de este procedimiento se pretende corregir los valores obtenidos, asegurando así que el TPDA represente más adecuadamente su valor real.

Ante la ausencia de información que permita otra forma adecuada para su establecimiento, se consideró como indicador más apropiado para este fin, la variación mensual del tránsito de vehículos pesados por la estación de "control de pesos y dimensiones de Siquinalá, ubicada sobre la misma carretera en estudio, aproximadamente 50 km. al oriente de Nahualate.

El procedimiento indicado es aplicable al tránsito de vehículos de las categorías 3, 4 y 7 (transporte de carga), no así para el transporte de pasajeros; sin embargo, dada la baja variabilidad estacional del tránsito observada para el transporte de carga, se optó por aplicar los mismos índices de estacionalidad a la categorías de transporte de pasajeros. Los índices de estacionalidad así determinados se resumen en forma tabular en la tabla 3.8 y 3.9 a continuación:

Tabla 3.8: Integración del factor de estacionalidad del tránsito.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Nov.	Dic.	Total
1,993	5,928	5,854	4,938	4,577	5,239	5,126	5,061	4,773	4,519	4,919	4,413	4,983	60,330
1,994	5,720	5,649	-----	-----	5,050	4,946	4,884	4,606	4,361	4,746	4,258	4,808	49,028
1,995	4,981	5,276	5,287	3,541	4,791	4,067	4,070	4,623	3,043	3,896	3,661	4,033	51,269
Total	16,629	16,779	10,225	8,118	15,081	14,139	14,015	14,002	11,923	13,561	12,332	13,824	160,627

fueron: sección de estadística, unidad de planeamiento DGC.

Nota: durante los meses de Marzo y Abril de 1,994 no se realizó el control de tránsito pesado.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

Tabla 3.9: distribución porcentual del tránsito pesado mensual y factor de corrección por estacionalidad.

Año	Enero	Febrer	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1,993	9.83	9.70	8.18	7.59	8.68	8.50	8.39	7.91	7.49	8.15	7.31	8.26	8.33
1,994	9.72	9.60			8.58	8.41	8.30	7.83	7.41	8.07	7.24	8.17	8.33
1,995	9.72	10.29	10.31	6.91	9.34	7.93	7.94	9.02	5.94	7.60	7.14	7.87	8.33
Prom.	9.75	9.87	9.25	7.25	8.87	8.87	8.21	8.25	6.95	7.94	7.23	8.10	8.33
Factor	0.85	0.85	0.95	1.13	0.94	0.94	1.02	1.01	1.21	1.05	1.15	1.03	0.09

Nota: los porcentajes para el año 1,994 fueron ajustados por no contar con datos para los meses de Marzo y Abril.

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

El factor de corrección corresponde al multiplicador requerido para obtener el tránsito promedio anual.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla anterior, para los conteos realizados por la consultora durante el mes de Abril de 1,996, el factor de estacionalidad correspondiente es de 1.13. El factor establecido para la estacionalidad debe aplicarse a los valores del TPDA obtenidos durante los conteos de tránsito realizados por la consultora, para eliminar las distorsiones estacionales y así llegar a datos de tránsito promedio representativos para todo el año, ver tabla 3.10.

Tabla 3.10: tránsito para las 2 estaciones del proyecto, corregido por estacionalidad.

Estación	Numero de vehículos							TPDA	% de vehículos pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
214	876	1205	566	490	19	351	2	3,509	40.2
215	1,132	1,676	656	479	74	435	1	4,453	35.3

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más

3.3.2 Proyección del tránsito normal.

Dado que los resultados obtenidos del análisis del historial de tránsito para las tasas de crecimiento, deben ser utilizados con cautela, por presentar en unos casos tasas negativas y en otros tasas muy altas, no se considera posible que dicho crecimiento pueda continuar por el período de diseño, por lo que es necesario realizar algunos ajustes para obtener proyecciones adecuadas del tránsito durante dicho período de diseño. En este sentido, es razonable esperar que el tránsito de vehículos para el transporte de carga crezca con tasa similares a las del crecimiento económico del país (5.0%); mientras que el transporte de pasajeros crezca con tasas similares al crecimiento poblacional (3.0%). Por otra parte, ante las incertidumbres relacionadas con una eventual apertura del mercado de libre comercio con los países del norte o el desarrollo del puerto de Champerico, que pudieran dar lugar a un crecimiento no previsible del tránsito, se considera razonable mantener las tasas de crecimiento durante todo el período de diseño.

Bajo las premisas indicadas, las tasas de crecimiento histórico fueron ajustadas de manera conservadora, considerando rangos de variación. Para las categorías 1, 2, 5 y 6 (transporte de pasajeros), se consideró una tasa máxima de 3.0% y una mínima de 2.0% y para las categorías 3, 4 y 7 (transporte de carga), se utilizó una tasa máxima de 5.0% y una mínima de 3.0%; de esta manera se establecieron tasas de crecimiento a utilizar para la proyección del tránsito que se muestra en la tabla 3.11 y 3.12.

Tabla 3.11: tasas establecidas por análisis de regresión del tránsito histórico.

Estación	Tipo de vehículo							TPDA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
214	2.49	6.16	2.08	8.00	3.28	4.28	2.41	3.94
215	2.21	6.40	2.58	8.07	2.84	5.26	5.67	4.28
valores extremos recomendables:								
tasa máx.	3.00	3.00	5.00	5.00	3.00	3.00	5.00	5.00
tasa mín.	2.00	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00	3.00

Tabla 3.12: tasas de crecimiento del tránsito adoptadas.

Estación	Tipo de vehículo							TPDA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
214	2.49	3.00	3.00	5.00	3.00	3.00	5.00	3.94
215	2.21	3.00	3.00	5.00	2.84	3.00	5.00	4.28

Categoría I: automóviles, paneles, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más.

El volumen de tránsito en términos del TPDA y el tránsito para cada una de las siete categorías de vehículos durante los 20 años del período de diseño, así como los porcentajes de vehículos pesados, se presentan en las tablas 3.14 y 3.15. A continuación en la tabla 3.13, se presenta en forma resumida el tránsito esperado en el año 2018 en cada una de las dos estaciones de conteo existentes en la carretera, distinguiendo los valores correspondientes a las diferentes categoría de vehículos.

Tabla 3.13: resultados de las proyecciones del tránsito para el año 2018.

Estación	Tipo de vehículo							TPDA	% veh. pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
214	1,505	2,309	1,085	1,433	36	673	6	7,046	45.4
215	1,829	3,211	1,257	1,401	137	834	3	8,672	40.3

Categoría I: automóviles, pannels, jeeps. Categoría II: pick-ups. Categoría III: camiones de 2 ejes.
Categoría IV: camiones de 3 ejes. Categoría V: microbuses. Categoría VI: buces. Categoría VII: camiones de 4 ejes o más.

3.4 ESTUDIO DE VELOCIDAD.

Estos se hacen midiendo la velocidad de punto o velocidad de recorrido con el propósito de obtener datos que, después de ser tabulados, se usan para medir el grado relativo de eficiencia de un sistema completo de calles y carreteras de un país y para determinar el efecto o la necesidad de dispositivos para control de tránsito.

3.4.1 DEFINICIÓN DE VELOCIDAD.

Es la relación entre el espacio recorrido por un móvil y el tiempo que se tarda para recorrerlo, o sea, una relación de movimiento.

Siendo una función lineal de la distancia y el tiempo se expresa por la fórmula $V = e/t$ (para velocidades constantes).

El tiempo recorrido (t) es función de la velocidad y la distancia recorrida (e).

3.4.2 CLASIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS VELOCIDADES.

Velocidad de operación: Es la velocidad máxima a que pueden circular los vehículos en una carretera, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y condiciones atmosféricas favorables, sin rebasar en ningún caso la velocidad de proyecto.

La velocidad de operación disminuye cuando aumenta el volumen de tránsito y esta reducción en la velocidad puede causar congestión e incluso hasta paralizar el tránsito.

Velocidad de proyecto o de diseño: Es la máxima velocidad a la que pueden circular los vehículos con seguridad cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables.

Lo aconsejable es diseñar con una velocidad constante en el proyecto, pero debido a la topografía del terreno, a las zonas pobladas y a otras causas, esto no es posible. Las variaciones de la velocidad de diseño deben hacerse gradualmente, para evitar cambios bruscos en la velocidad, lo que traería consigo peligros y molestias para el usuario.

Respecto del límite máximo de la velocidad de diseño existen diversas opiniones, sin embargo en Guatemala, se han adoptado límites entre 30 y 120 kph, con intervalos de 10 en 10 kph, dependiendo de las características geométricas y las condiciones topográficas del proyecto. Estos límites están basados en las recomendaciones de la AASHTO.

Tabla 3.14: tránsito esperado, tramo Santa Cruz Muluá - Sibaná, estación 214.

Año	vehículos según categoría							TPDA	% veh. pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1,996	876	1,205	566	490	19	351	2	3,509	40.2
1,997	898	1,241	583	515	20	362	2	3,620	40.4
1,998	920	1,278	600	540	20	372	2	3,734	40.6
1,999	943	1,317	618	567	21	384	2	3,852	40.8
2,000	967	1,356	637	596	21	395	2	3,974	41.0
2,001	991	1,397	656	625	22	407	2	4,101	41.2
2,002	1,015	1,439	676	657	23	419	3	4,231	41.5
2,003	1,040	1,482	696	689	23	432	3	4,366	41.7
2,004	1,066	1,526	717	724	24	445	3	4,505	41.9
2,005	1,093	1,572	739	760	25	458	3	4,650	42.1
2,006	1,120	1,619	761	798	26	472	3	4,799	42.4
2,007	1,148	1,668	783	838	26	486	3	4,953	42.6
2,008	1,177	1,718	807	880	27	500	3	5,113	42.9
2,009	1,206	1,770	831	924	28	515	4	5,278	43.1
2,010	1,236	1,823	856	970	29	531	4	5,448	43.3
2,011	1,267	1,877	882	1,019	30	547	4	5,625	43.6
2,012	1,298	1,934	908	1,070	30	563	4	5,808	43.8
2,013	1,330	1,992	936	1,123	31	580	4	5,997	44.1
2,014	1,364	2,051	964	1,179	32	598	5	6,193	44.3
2,015	1,398	2,113	992	1,238	33	615	5	6,395	44.6
2,016	1,432	2,176	1,022	1,300	34	634	5	6,605	44.8
2,017	1,468	2,242	1,053	1,365	35	653	6	6,822	45.1
2,018	1,505	2,309	1,085	1,433	36	673	6	7,046	45.4

Categoría I: automóviles, paneles y jeeps.

Categoría II: pick-ups.

Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes.

Categoría V: microbuses

Categoría VI: buces.

Categoría VII: camiones de 4 ejes o

más.

Tabla 3.15: tránsito esperado, tramo Sibaná - Coatepeque, estación 215.

Año	vehículos según categoría							TPDA	% veh. pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1,996	1,132	1,676	656	479	74	435	1	4,453	35.3
1,997	1,157	1,726	676	503	76	448	1	4,587	35.5
1,998	1,182	1,778	696	528	78	461	1	4,725	35.7
1,999	1,209	1,831	717	555	80	475	1	4,868	35.9
2,000	1,235	7,886	738	582	83	490	1	5,016	36.1
2,001	1,262	1,943	760	611	85	504	1	5,168	36.3
2,002	1,290	2,001	783	642	88	519	1	5,325	36.5
2,003	1,319	2,061	807	674	90	535	1	5,487	36.8
2,004	1,348	2,123	831	708	93	551	1	5,655	37.0
2,005	1,378	2,187	856	743	95	568	2	5,828	37.2
2,006	1,408	2,252	882	780	98	585	2	6,006	37.4
2,007	1,439	2,320	908	819	101	602	2	6,191	37.7
2,008	1,471	2,390	935	860	104	620	2	6,381	37.9
2,009	1,503	2,461	963	903	106	639	2	6,578	38.1
2,010	1,536	2,535	992	948	109	658	2	6,781	38.3
2,011	1,570	2,611	1,022	996	113	678	2	6,992	38.6
2,012	1,605	2,689	1,053	1,046	116	698	2	7,209	38.8
2,013	1,640	2,770	1,084	1,098	119	719	2	7,433	39.1
2,014	1,676	2,853	1,117	1,153	122	741	2	7,665	39.3
2,015	1,713	2,939	1,150	1,210	126	763	3	7,904	39.5
2,016	1,751	3,027	1,185	1,271	129	786	3	8,152	39.8
2,017	1,790	3,118	1,220	1,334	133	809	3	8,408	40.0
2,018	1,829	3,211	1,257	1,401	137	834	3	8,672	40.3

Categoría I: automóviles, paneles y jeeps.

Categoría II: pick-ups.

Categoría III: camiones de 2 ejes.

Categoría IV: camiones de 3 ejes.

Categoría V: microbuses

Categoría VI: buces.

Categoría VII: camiones de 4 ejes o m

3.4.3 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE VELOCIDAD.

La velocidad ha sido una inquietud del hombre desde que aparecieron los medios de transporte. Está bajo el control del conductor y su uso determinará la distancia recorrida, el tiempo gastado y ahorrado, según la variación de la misma.

La velocidad debe ser estudiada, y regulada, ya que si presenta desequilibrio origina gran número de conflictos. Asimismo, constituye uno de los elementos básicos e indispensables para determinar la calidad del flujo de tránsito y la mayoría de los demás elementos de proyecto en carreteras.

En un flujo de tránsito, todos los vehículos viajan a diferentes velocidades, esto es consecuencia de varios factores, entre los que están las condiciones ambientales, la presencia de otros vehículos, las limitaciones impuestas por dispositivos de control de tránsito, tales como señales, semáforos, etc. Estas variaciones obligan a usar valores medios para representar la velocidad de los vehículos.

Del análisis anterior se deriva la necesidad e importancia que tiene el llevar a cabo estudios de velocidad de tránsito, dando como resultado dos categorías generales, como lo son los estudios de velocidad de punto y los estudios de tiempo de recorrido, consistiendo el primero en medir la distribución de velocidades de los vehículos en un tramo de carretera de longitud relativamente corta; y los segundos, en los que la velocidad se determina en tramos largos. Lo que se busca en general con estos estudios es determinar el efecto o la necesidad de diversos dispositivos, para control de tránsito, tales como señales restrictivas de velocidad y zonificación de la velocidad, asimismo determinar la velocidad promedio sobre una ruta.

CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

4.1 TEORÍA DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

La mayor parte de los métodos de diseño de pavimentos tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas, que se supone sirven como índice para presentar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras, que deben existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura del proyecto.

Es de comprender que resulta difícil la tarea de establecer una correlación sencilla y manejable entre una prueba de laboratorio, que ha de ser simple, fácil de estandarizar e interpretar y el complicado y variado comportamiento real de los materiales usados en los pavimentos. Es natural esperar que los métodos de diseño que se basan en pruebas de laboratorio y en su correlación con el comportamiento estructural, presenten las limitaciones y defectos que son de imaginarse.

Por las razones anteriores, es lógico esperar que no exista un método de diseño de espesores que pueda aplicarse con confianza absoluta.

Desde este punto de vista el método de diseño que se aplique debe verse como un marco de referencia de criterio, una base de cálculo, pero también como algo que debe ser complementado con experiencias.

Se comprende entonces porqué la tecnología de los pavimentos está tan llena de factores ajenos a la metodología específica de un método de diseño.

4.1.1 FACTORES DE DISEÑO UTILIZADOS EN EL PROYECTO.

El propósito de analizar los factores de diseño es de proveer métodos para determinar los factores apropiados para la introducción del tránsito en el diseño estructural de pavimentos. Los primeros a considerar son, el número y carga sobre eje que se espera aplicar al pavimento durante un período de tiempo dado.

Investigaciones realizadas han mostrado que los efectos en la conformación del pavimento de un eje de carga de cualquier masa puede ser representado por un número equivalente a la aplicación de 18 kip (18,000 lbs) por eje simple de carga. (EAL).

Estimar la carga y el volumen del tránsito inicial y futuro para el diseño estructural de pavimentos, requiere de un análisis y estudio sustancial. La información y definiciones presentadas a continuación, pueden ser usadas para tal propósito.

a.- Período de diseño.

Es el período de tiempo seleccionado, en años para el cual el pavimento diseñado podrá soportar los efectos acumulativos del tránsito. Al final del período de diseño se puede esperar que el pavimento requiera una rehabilitación para mantener el alto nivel de serviciabilidad. Sin embargo, el período de diseño no debe confundirse con la vida útil del pavimento ni con el período de análisis. La vida del pavimento puede extenderse indefinidamente hasta que la carretera se convierta en obsoleta debido a cambios de orden, posibilidades u otros factores.

b.- Estimación del EAL. (factor de eje equivalente)

La estimación del EAL se logra usando el método de la AASHTO, el cual consiste en asignarle a cada categoría de vehículo un factor de eje equivalente, como se muestra en la tabla 4.1. La determinación del EAL es una consideración muy importante para el diseño de estructuras de pavimentos. Para ser usado en la determinación del espesor del pavimento se aplican los términos siguientes:

EAL. Número equivalente a la aplicación de 18 kip (18,000 lbs), por eje simple de carga.

Factor de conversión de carga. Es el número de ejes simples de carga contribuidos por el paso de un eje.

Número de vehículos. Número total de vehículos involucrados.

El EAL, se calcula multiplicando el número de vehículos de cada categoría por el factor de carga del vehículo y obteniendo la sumatoria de los productos.

$$\text{EAL} = \text{Número de vehículos por categoría} * \text{EAL del vehículo}$$

4.1.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE DISEÑO UTILIZADOS EN EL PROYECTO.

Período de diseño.

El período de diseño utilizado es de 20 años, durante el cual se aplicarán únicamente políticas de mantenimiento.

Estimación de factores de carga equivalente y EAL de diseño.

Para el diseño del pavimento es necesario convertir la carga que transmiten los ejes de los vehículos que transitan por la carretera en un número de ejes equivalentes para una carga estándar (18,000 lbs por eje). Con este propósito se recurrió a establecer las cargas máximas

autorizadas, la frecuencia de los distintos tipos de vehículos pesados y los factores de carga equivalente para determinar la carga por eje equivalente correspondiente a cada una de los siete tipos de vehículos incluidos en la clasificación utilizada en los conteos de tránsito.

Cargas máximas autorizadas.

Para establecer las cargas máximas autorizadas en el país, se recurrió al "Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones" (Acuerdo Gubernativo 1084-92). En base al mismo y utilizando los factores de carga equivalente establecidos por el "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" (Guía para el Diseño de estructuras de pavimento), se preparó para los tipos de vehículos que transitan por la carretera en estudio, la tabla 4.1, donde se muestran los vehículos con las distintas combinaciones de ejes y la carga permisible sobre ellos, así como la integración de la carga por eje equivalente correspondiente a cada tipo de vehículo.

Frecuencia de vehículos de carga.

Para establecer la frecuencia de los distintos tipos de vehículos pesados, se recurrió a las memorias anuales de labores del Departamento de Pesos y Dimensiones de la DGC, correspondientes a los años 1991, 1993, 1994 y 1995 (la memoria correspondiente al año de 1992 no se encontraba disponible). De esta manera, como se muestra en la tabla 4.2 a continuación, se pudo establecer en promedio los porcentajes de cada tipo de vehículo pesado que utiliza la carretera, agrupando los vehículos de acuerdo al número de ejes, a fin de establecer las porciones de los mismos en la integración del factor de carga equivalente aplicable a cada categoría de vehículos.

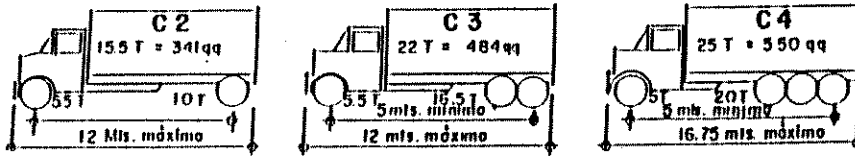
Tabla 4.1: integración del EAL para vehículos autorizados por el Acuerdo Gubernativo 1084-92

Tipo de Vehículo	Clase de Vehículo	PESO EN TONELADAS					peso en tons.	EAL DEL VEHICULO
		Sobre el eje No.						
0		1	2	3	4	5		
I	Automovil	10S	10S				20	0.0008
II	Pick-ups	16S	33S				49	0.0267
V	Microbús	27S	31S				58	0.0296
VI	Buses	50S	98S				148	2.1711
III	C2	55S	100S				155	2.3776
	C3	55S	165S				220	1.6256
	C4	50S	200S				250	0.8615
IV	T2-S1	50S	90S	90S			230	3.0565
	T2-S2	50S	90S	160T			300	2.8615
	T3-S1	50S	160S	90S			300	2.8615
	T3-S2	50S	160S	160T			370	2.6665
	T3-S3	50S	160S	200U			410	2.1255
V	C2-R2	55S	100S	70S	70S		295	3.4658
	C3-R2	55S	165S	70S	70S		360	2.7138
	C3-R3	55S	165S	70S	100T		390	2.3497
V	T2-S1-R2	50S	90S	90S	75S	75S	380	4.4910
	T3-S1-R2	50S	160S	90S	50S	75S	425	3.7173
	T3-S1-R4	50S	160S	90S	100T	100T	500	3.2215
	T3-S2-R2	50S	160S	160T	50S	75S	495	3.5223
	T3-S2-R4	50S	160S	160T	100T	100T	570	3.0265

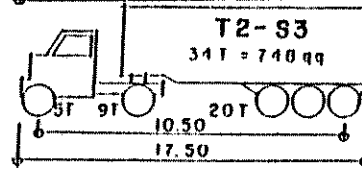
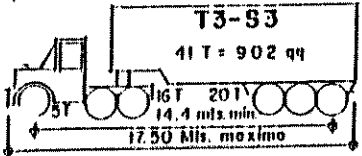
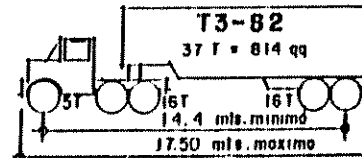
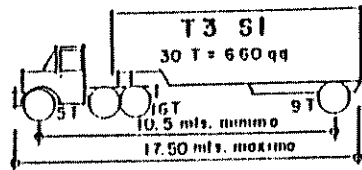
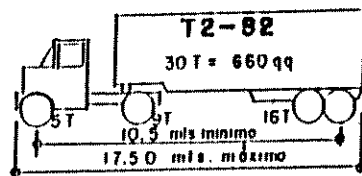
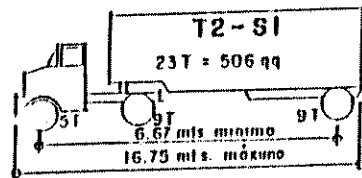
Nota: los factores de equivalencia de carga, EAL, están tomados de la Guía para diseño de la Estructura del Pavimento de la AASHTO.

**PESOS Y DIMENSIONES MÁXIMOS POR TIPO DE VEHÍCULO
ACUERDO GUBERNATIVO 1084-92**

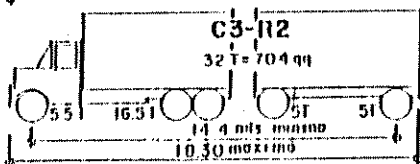
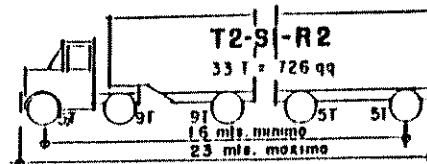
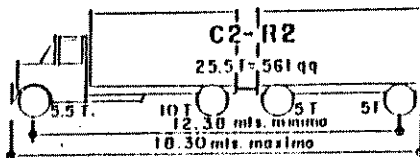
VEHÍCULOS DE 2 EJES



VEHÍCULOS DE 3 EJES



VEHÍCULOS DE 4 o MÁS EJES



ANCHO MÁXIMO: 2.60 Mts.
ALTURA MÁXIMA: 4.15 Mts.

NOMENCLATURA
C = CAMIÓN
S = SEMIRREMOLQUE
R = REMOLQUE
T = TRAILER O CABEZAL

**PESOS Y DIMENSIONES MÁXIMOS POR TIPO DE VEHÍCULO
ACUERDO GUBERNATIVO 1084-92**

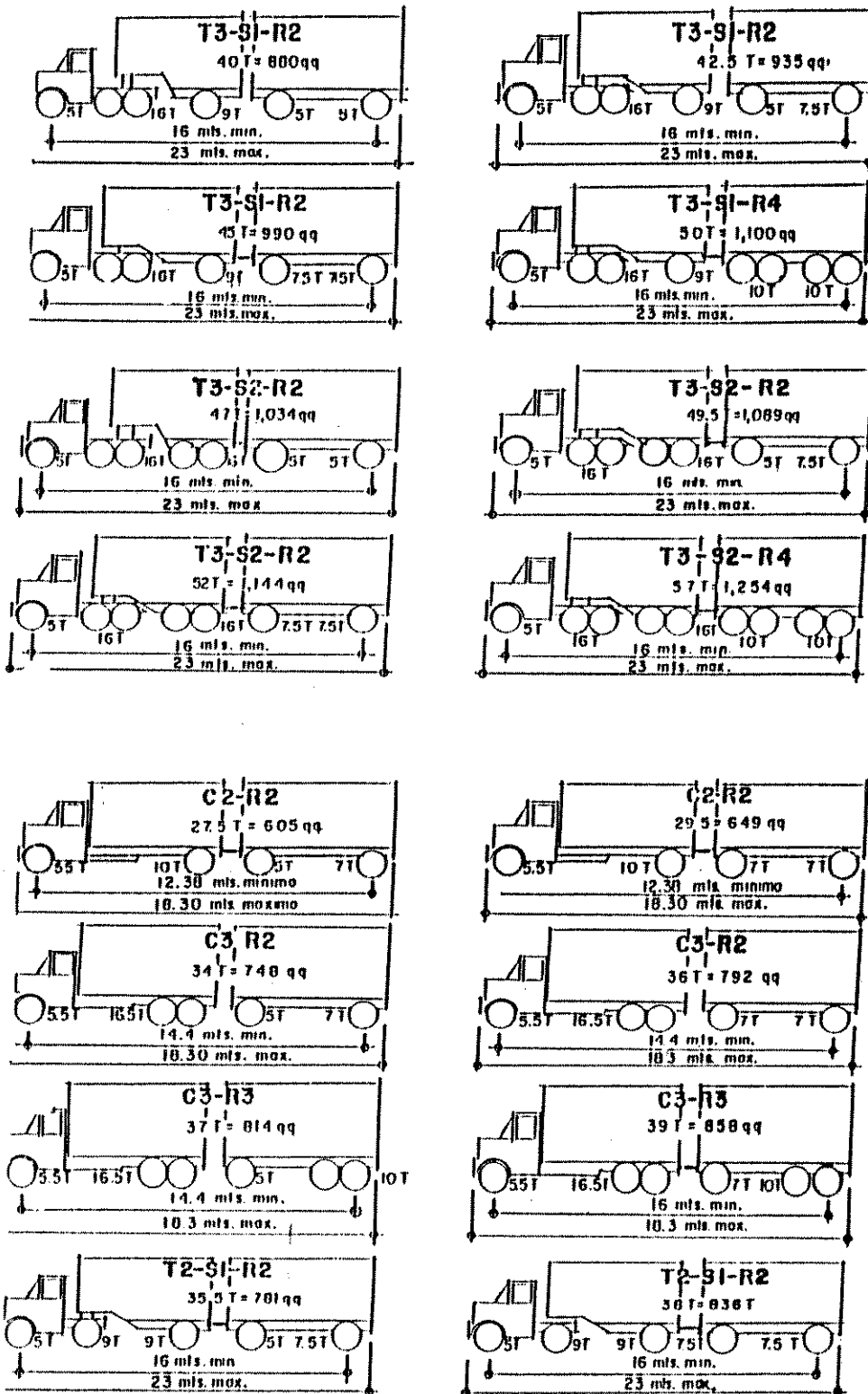


Tabla 4.2: vehículos controlados por la estación de peaje de Siquinalá, clasificados por número de ejes.

TIPO DE CAMIÓN	1991		1993		1994		1995		TOTAL	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
CAMIONES DE 2 EJES										
C-2	30,636	39.80	21,700	35.97	17,628	35.95	15,047	29.35	85,011	85.8
C-3	4,537	5.89	3,482	5.77	2,830	5.77	2,944	5.74	13,793	13.92
C-4	3	0.00					276	0.54	279	0.28
TOTAL									99,083	100.00
CAMIONES DE 3 EJES										
T2-S1	12	0.02	19	0.03	16	0.03	3	0.01	50	0.04
T2-S2	9	0.01	8	0.01	7	0.01	218	0.43	242	0.18
T3-S1	24	0.03	13	0.02	11	0.02	21	0.04	69	0.05
T3-S2	38,688	50.27	31,803	52.72	25,846	52.72	31,752	61.93	128,089	97.40
T3-S3	998	1.30	917	1.52	746	1.52	396	0.77	3,057	2.32
TOTAL									131,507	100.00
CAMIONES DE 4 EJES O MAS										
C2-R2	24	0.03	15	0.02	13	0.03	14	0.03	66	0.94
C3-R2	57	0.07	80	0.13	66	0.13	11	0.02	214	3.06
T2-S1-R2	6	0.01							6	0.09
T3-S1-R2	30	0.04	16	0.03	14	0.03	18	0.04	78	1.11
T3-S2-R2	1,944	2.53	1,865	3.09	1,516	3.09	21	0.04	5,346	76.33
T3-S2-R3									0	0.00
T3-S2-R4			412	0.68	335	0.68	547	1.07	1,294	18.48
TOTAL	76,968	100.00	60,330	100.00	49,028	100.00	51,268	100.00	7,004	100.00
TOTAL GRAL.									237,594	

Fuente: Memorias de labores departamento de pesos y dimensiones DGC.

Integración de la carga por eje equivalente (EAL).

La información obtenida en los dos incisos anteriores fue combinada para obtener, en forma ponderada, la carga por eje equivalente correspondiente a cada una de las siete categorías de vehículos utilizados en los conteos de tránsito. Esta integración se muestra a continuación en la tabla 4.3. Cabe indicar que para los automóviles, pick-ups, microbuses y buces, por tratarse de unidades no sujetas al control de pesaje, se seleccionaron los factores de carga equivalente de uso común para diseño de pavimentos.

Integración de las cargas de diseño.

Para fines del diseño de la estructura del pavimento, se establecieron las cargas de diseño, de manera que fueran directamente aplicables a las metodologías empleadas por el Asphalt Institute of North America (Instituto de Asfalto de Norte América) y por la AASHTO en los programas utilizados para el diseño del pavimento.

Cargas por eje equivalente.

De acuerdo con los requerimientos del programa que aplica la metodología del Asphalt Institute, (Instituto de Asfalto) los factores de carga equivalente indicados en la tabla 4.4 fueron aplicados a los tránsitos encontrados para cada uno de los tipos de vehículos y en cada

una de las dos estaciones de conteo, estableciendo así el EAL correspondiente tanto diario, como anual, desde el presente hasta el final del período de diseño (1998 año 0, 2018 año 20). Estos valores representan las cargas de diseño para la estructura del pavimento. En las tablas 4.5 y 4.6 se muestran los resultados de la integración del EAL correspondientes a cada año durante el período de diseño.

$$\text{EAL} = \text{EAL del vehículo} * \text{total tipo de vehículos por año}$$

Tabla 4.3: EAL para distintos tipos de vehículos de la clasificación de la DGC.

Tipo de Vehículo	Procedimiento de Integración	EAL del vehículo
Automóviles	Tomado de la tabla 4.1	.0008
Pick-ups	Tomado de la tabla 4.1	.0267
Microbuses	Tomado de la tabla 4.1	.0296
Buses	Tomado de la tabla 4.1	2.1711
Camiones 2 ejes	$(C2*2.3776+C3*1.6256+C4*0.8615)/100$	2.2686
Camiones de 3 ejes	$(T2-S1*3.0565+T2-S2*2.8615+T3S1*2.8615+T3-S2*2.6665+T3-S3*2.1255)/100$	2.6545
Camiones de 4 ejes o más	$(C2-R2*3.4658+C3-R2*2.7138+T2-S1-R2*4.491+T3-S1-R2*3.7173+T3-S2-R2*3.5223+T3-S2-R4*3.0265)/100$	3.4085

Nota: en la integración se debe substituir el tipo de vehículo por el porcentaje total correspondiente, tomado de la tabla 4.2, y luego multiplicarlo por los factores encontrados en la tabla 4.1.

Tabla 4.4: resumen de carga por eje equivalente para las 2 estaciones de conteo.

Año	2 ejes, 4 llantas FEC = 0.016(1)		2 ejes, 6 llantas FEC = 2.239(2)		3 ejes FEC = 2.6545(3)		5 ejes FEC = 3.4085(4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 214 - TRAMO: SANTA CRUZ MULUA - SIBANA										
1998	2,219	59.4	973	26.1	540	14.5	2	0.06	3,734	1,331,232
2018	3,850	54.6	1,757	24.9	1,433	20.3	6	0.08	7,046	2,849,356
TOTAL SOBRE AMBAS PISTAS DURANTE EL PERIODO										41,875,109
ESTACION 215 - TRAMO: SIBANA - COATEPEQUE										
1998	3,039	64.3	1,157	24.5	528	11.2	1	0.02	4,725	1,474,419
2018	5,178	59.7	2,090	24.1	1,401	16.2	3	0.03	8,672	3,095,678
TOTAL SOBRE AMBAS PISTAS DURANTE EL PERIODO										45,877,067

NOTAS: FEC = al promedio de la suma del EAL del vehículo

- (1) Incluye vehículos de las categorías I, II y V (3) Incluye vehículos de la categoría IV
 (2) Incluye vehículos de las categorías III y VI (4) Incluye vehículos de la categoría VII

Tabla 4.5: Tránsito esperado y ejes de carga equivalentes (EAL), estación 214

Año	2ejes,4llanta FEC=0.016 (1)		2ejes,6llanta FEC=2.231 (2)		3Ejes FEC=2.6545(3)		5Ejes FEC=3.4085(4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
1998	2,219	59.4	973	26.1	540	14.5	2	0.06	3,734	1,331,323
1999	2,281	59.2	1,002	26.0	567	14.7	2	0.06	3,852	1,381,758
2000	2,344	59.0	1,032	26.0	596	15.0	2	0.06	3,974	1,434,232
2001	2,410	58.8	1,063	25.9	625	15.3	3	0.06	4,101	1,488,832
2002	2,477	58.5	1,095	25.9	657	15.5	3	0.06	4,231	1,545,630
2003	2,546	58.3	1,128	25.8	689	15.8	3	0.06	4,366	1,604,780
2004	2,617	58.1	1,162	25.8	724	16.1	3	0.07	4,505	1,666,323
2005	2,690	57.9	1,196	25.7	760	16.3	3	0.07	4,650	1,730,383
2006	2,765	57.6	1,232	25.7	798	16.6	3	0.07	4,799	1,797,069
2007	2,842	57.4	1,269	25.6	838	16.9	3	0.07	4,953	1,866,496
2008	2,922	57.1	1,307	25.6	880	17.2	4	0.07	5,113	1,938,781
2009	3,003	56.9	1,347	25.5	924	17.5	4	0.07	5,278	2,014,051
2010	3,087	56.7	1,387	25.5	970	17.8	4	0.07	5,448	2,092,435
2011	3,174	56.4	1,429	25.4	1,019	18.1	4	0.07	5,625	2,174,069
2012	3,262	56.2	1,472	25.3	1,070	18.4	4	0.08	5,808	2,259,097
2013	3,354	55.9	1,516	25.3	1,123	18.7	5	0.08	5,997	2,347,666
2014	3,447	55.7	1,561	25.2	1,179	19.0	5	0.08	6,193	2,439,933
2015	3,544	55.4	1,608	25.1	1,238	19.4	5	0.08	6,395	2,536,062
2016	3,643	55.2	1,656	25.1	1,300	19.7	5	0.08	6,605	2,636,221
2017	3,745	54.9	1,706	25.0	1,365	20.0	6	0.08	6,822	2,740,591
2018	3,850	54.6	1,758	24.9	1,433	20.3	6	0.08	7,046	2,849,356

Nota: la suma del EAL correspondiente a cada año es el total de ejes en ambas pistas.

(1) Incluye vehículos de las categorías I,II y V (3) Incluye vehículos de la categoría IV

(2) Incluye vehículos de las categorías III y VI (4) Incluye vehículos de la categoría VII

Tabla 4.6: tránsito esperado y ejes de carga equivalentes (EAL), estación 215

Año	2ejes,4llanta FEC=0.016 (1)		2ejes,6llanta FEC=2.231 (2)		3Ejes FEC=2.6545(3)		5Ejes FEC=3.4085(4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
1998	3,089	64.3	1,157	24.5	528	11.2	1	0.02	4,725	1,474,419
1999	3,120	64.1	1,192	24.5	555	11.4	1	0.02	4,868	1,528,854
2000	3,204	63.9	1,228	24.5	582	11.6	1	0.02	5,016	1,583,433
2001	3,291	63.7	1,265	24.5	611	11.8	1	0.02	5,168	1,644,247
2002	3,379	63.5	1,303	24.5	642	12.1	1	0.03	5,325	1,705,389
2003	3,470	63.2	1,342	24.5	674	12.3	1	0.03	5,487	1,768,958
2004	3,564	63.0	1,382	24.4	708	12.5	1	0.03	5,655	1,835,057
2005	3,660	62.8	1,424	24.4	743	12.8	2	0.03	5,828	1,903,792
2006	3,758	62.6	1,466	24.4	780	13.0	2	0.03	6,006	1,975,275
2007	3,860	62.3	1,510	24.4	819	13.2	2	0.03	6,191	2,049,622
2008	3,964	62.1	1,556	24.4	860	13.5	2	0.03	6,381	2,126,957
2009	4,071	61.9	1,602	24.4	903	13.7	2	0.03	6,578	2,207,406
2010	4,181	61.7	1,650	24.3	948	14.0	2	0.03	6,781	2,291,102
2011	4,294	61.4	1,700	24.3	996	14.2	2	0.03	6,992	2,378,186
2012	4,410	61.2	1,751	24.3	1,046	14.5	2	0.03	7,209	2,478,801
2013	4,529	60.9	1,803	24.3	1,098	14.8	2	0.03	7,433	2,563,100
2014	4,652	60.7	1,856	24.2	1,153	15.0	2	0.03	7,665	2,661,243
2015	4,778	60.5	1,913	24.2	1,210	15.3	3	0.03	7,904	2,763,394
2016	4,908	60.2	1,970	24.2	1,271	15.6	3	0.03	8,152	2,869,728
2017	5,041	60.0	2,030	24.1	1,334	15.9	3	0.03	8,408	2,980,426
2018	5,178	59.7	2,090	24.1	1,401	16.2	3	0.03	8,672	3,095,678

Nota: la suma del EAL correspondiente a cada año es el total de ejes en ambas pistas.

(1) Incluye vehículos de las categorías I,II y V (3) Incluye vehículos de la categoría IV

(2) Incluye vehículos de las categorías III y VI (4) Incluye vehículos de la categoría VII

Repeticiones de carga por eje.

Para aplicar la metodología empleada por la AASHTO en el programa de diseño, se estableció el número de repeticiones de carga para cada uno de los ejes que presentan los distintos tipos de vehículos que transitan por la carretera. Las cargas por eje seleccionadas para este propósito corresponden con las indicadas en la tabla 4.1, distinguiendo entre ejes simples, tandem o tridem y el número de repeticiones de carga corresponde a la suma del número de veces que el eje correspondiente pasa por un punto de la carretera, de acuerdo con el tránsito establecido en cada estación de conteo. De manera, por ejemplo, un automóvil a cuyos ejes se aplica una carga de 1 ton (2,200 lbs), corresponden dos repeticiones de carga. Los resultados de esta evaluación se presentan en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: repeticiones de carga para el año 1,998.

Carga por eje en lbs.	Numero de ejes de carga por estación de conteo	
ejes simples	214	215
2,200	1,840	2,365
3,520	1,278	2,023
5,940	20	78
6,820	20	78
7,260	1,278	1,778
11,000	918	993
12,100	599	694
15,400	0	0
16,500	2	1
19,800	2	2
21,560	372	448
22,000	515	541
ejes tandem		
22,000	1	0
35,200	1,070	1,044
36,300	84	97
ejes tridem		
44,000	14	14

4.2 TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS SUPERFICIALES.

El tratamiento superficial asfáltico es una capa de revestimiento de poco espesor, generalmente menor de 2.5cm, formada de uno o varios riegos de asfalto, recubiertos cada uno con agregados pétreos, destinados principalmente a recibir directamente la acción del tránsito, proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje, aunque para el diseño no se considera que aporte ningunas contribución a la distribución de la carga.

Los tratamientos superficiales tienen diversas aplicaciones por su bajo costo de construcción y porque cuando están contruidos, sobre bases sólidas y firmes, tienen una vida prolongada y útil, y presupuestan un bajo costo de mantenimiento.

Los agregados pétreos para tratamiento superficial deben ser partículas provenientes de la trituración de grava o piedra triturada de buena calidad, debiendo llenar los requisitos siguientes:

1. No deben tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 35 a 500 revoluciones (AASHTO T 96)
2. Deben estar exentos de materias vegetales, basura, terrones de arcilla, polvo u otras sustancias que incorporadas en la capa de tratamiento puedan producir, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

TIPOS DE GRADUACIÓN PARA AGREGADO DE TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS SUPERFICIALES

Tipo 1: agregados para primera aplicación.

Tipo y grado	porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada						
	1 1/4" (31.5mm)	1" (25.0mm)	3/4" (19.0mm)	1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)
1-A	100	90-100	30-60	0-10		0-2	
1-B	100	95-100		0-30	0-6		
1-C		100	90-100	20-55	0-15	0-5	
1-D			100	90-100	40-70	0-15	0-5

Tipo 2: agregados para segunda aplicación.

Tipo y grado	porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada						
	3/4" (19.0mm)	1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)	No. 100 (0.150mm)
2-A	100	65-100	0-30		0-1		
2-B		100	85-100	10-30	0-10	0-5	0-2

Tipo 3: agregados para tercera aplicación.

Tipo y grado	porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada					
	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 10 (2.00mm)	No. 16 (1.18mm)	No. 40 (0.425mm)	No. 100 (0.150mm)
3-A	100	45-70	0-20	0-4		
3-B	100	70-100	10-50		0-5	0-1

4.2.1 FUNCIONES:

- a.- Suministrar una capa asfáltica de bajo costo inicial, que sirva al tránsito en todo tiempo.
- b.- Impermeabilizar los pavimentos que se han agrietado y envejecido, para evitar la entrada de agua a la base.

- c.- Proporcionar una superficie de rodamiento con mayor adherencia cuando la superficie existente se haya vuelto resbaladiza por desgaste o pulimiento.
- d.- Dar nueva vida a las superficies secas y envejecidas de los pavimentos asfálticos que estén a punto de desintegrarse por el tiempo, uso u otras circunstancias.

4.2.2 TIPOS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

Existen varios tipos de tratamientos superficiales, los principales son:

4.2.2.1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE.

Una aplicación simple de asfalto, para cualquier tipo de superficie de rodadura, seguido inmediatamente por una simple capa de agregados de tamaño uniforme. El espesor del tratamiento es casi igual al de tamaño nominal máximo del agregado. Se suele usar como capa de desgaste y de impermeabilización.

Para este tipo de tratamiento se debe utilizar una graduación de materiales pétreos 1-D.

4.2.2.2 TRATAMIENTO SUPERFICIAL MÚLTIPLE.

Son dos o más tratamientos superficiales colocados uno encima del otro. El tamaño máximo del agregado de cada tratamiento sucesivo es corrientemente la mitad del tamaño del agregado colocado previamente. Un tratamiento múltiple es una capa más densa e impermeabilizante que una capa simple y que proporciona alguna resistencia.

Si el tratamiento múltiple es en dos capas, existen dos alternativas de graduación :

1. 1-C con 2-B, la combinación mas usada, y
2. 1-A con 2-A.

Para un tratamiento múltiple en tres capas, también hay dos combinaciones:

1. 1-A, 2-A y 3-B
2. 1-B, 2-B y 3-A.

Las disposiciones especiales pueden estipular otras combinaciones y graduaciones.

4.2.2.3 CAPA DE SELLO.

Es el revestimiento con material bituminoso y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie, generalmente bituminosa y con varios años de uso, llenando los vacíos, grietas, y rugosidades, proporcionándole a ésta mayor flexibilidad y duración, haciéndola más cómoda para el tránsito la superficie de rodadura.

Principales tipos: sellos de agregados, sellos negros, sellos con lechada de emulsión y sellos de arena.

4.2.2.4 CAPA DE IMPRIMACIÓN.

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

El material bituminoso debe ser aplicado con uniformidad, sobre la superficie a tratar, la cantidad de aplicación debe ser seleccionada según las condiciones de textura de la superficie, y los tipos de materiales. La cantidad debe estar comprendida entre 0.10 y 0.50 galones (0.4 y 2 litros)/metro cuadrado.

Para la distribución del material bituminoso, se debe usar un tanque distribuidor de asfalto a presión o remolque con tanque equipado con sistema de calentamiento. La unidad debe ser autopropulsada con ruedas de llantas neumáticas, y fuerza de propulsión suficiente para mantener una velocidad constante, que permita el riego especificado; debe estar equipado con tacómetro en unidad de operación separada, adaptada al tanque distribuidor, graduado en unidades de velocidad de 10 pies (3m.) / minuto y colocado para que el piloto del distribuidor lo pueda leer fácilmente.

No se deben hacer riegos de imprimación cuando esté lloviendo o cuando la humedad del material de la superficie a imprimir sea mayor del 60% de su humedad óptima o cuando las condiciones del clima afecten la uniformidad y penetración del riego.

El riego de imprimación debe dejarse sin cubrir con material secante, durante 24 hrs. O más, dependiendo del tiempo que necesite el material bituminoso, para penetrar uniformemente más de 5 milímetros en la superficie y permitir el curado.

4.2.2.5 CAPA DE PEGA.

Aplicación ligera de asfalto líquido generalmente emulsión asfáltica diluida en agua. Se usa para reforzar la adherencia entre la nueva capa y la ya existente.

4.2.2.6 CAPA ANTIPOLVO.

Un asfalto líquido se riega sobre superficies no tratadas para evitar el polvo. Se conoce también con el nombre de paliativo de polvo.

4.2.2.7 CARRETERA PETROLIZADA.

Tratamiento similar al anterior, pero se suele hacer este trabajo como parte de un trabajo planeado de construcción de superficie de bajo costo a través de varios años.

4.2.2.8 TRATAMIENTO SUPERFICIAL MEZCLADO EN SITIO.

Es una carpeta producida mezclando agregado mineral y asfalto líquido con plantas móviles y maquinaria adecuada. La ventaja de este tratamiento es que utiliza el agregado que ya está en la carretera o de depósitos cercanos.

4.2.2.9 TRATAMIENTO SUPERFICIAL MEZCLADO EN PLANTA.

Se trata de una capa de menos de 2.5 cm de espesor de agregado que ha sido tratado con asfalto en una planta. Este tratamiento se usa mucho para proveer superficies antirresbalantes.

4.3 CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

Actualmente el pavimento del tramo Retalhuleu-Coatepeque se encuentra en muy mal estado, mostrando todo tipo de daños (agrietamientos, baches, ahuellamientos, etc.), desechando por ello; la posibilidad de una rehabilitación por recapeo de la carpeta existente, lo que fue confirmado con las perforaciones realizadas, ya que los espesores son insuficientes. Esto básicamente dejaba como posibles soluciones de rehabilitación, aquellas que involucran la remoción o mezcla de los materiales que conforman la estructura existente. Por otra parte, la insuficiencia de bancos de préstamo con las propiedades adecuadas para una base granular en las cercanías del tramo, restringen las posibilidades de una base granular a la trituración y mezcla de la carpeta y base existentes.

Las condiciones indicadas, tomando en cuenta el volumen de tránsito esperado, llevaron a plantear la evaluación de las soluciones siguientes:

1. Nueva carpeta de concreto asfáltico sobre una base granular producida por la escarificación, trituración y mezcla de la carpeta y base existentes.
2. Nueva carpeta de concreto asfáltico sobre una base estabilizada con cemento, formada por la escarificación trituración y mezcla de una parte de la estructura existente.
3. Nueva carpeta de concreto asfáltico sobre una base estabilizada con asfalto (base negra), formada por la escarificación trituración y mezcla de una parte de la estructura existente.

CAPÍTULO 5
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE,
TRAMO: RETALHULEU-COATEPEQUE.

GENERALIDADES.

Conociendo las características físicas y mecánicas de los suelos que se encontraron en la sub-rasante y los materiales que conforman las capas de sub-base y base del pavimento existente en el proyecto CA-2 occidente, tramo Retalhuleu-Coatepeque; considerando las características y calidad de los materiales que se utilizarán en la sub-base, base y capa de rodadura del nuevo pavimento, bajo las condiciones de tránsito actual y tránsito futuro, estimado para el año 2,018, se procedió a efectuar el diseño del pavimento.

Para el diseño de la nueva estructura del pavimento se ha dividido el tramo (Retalhuleu-Coatepeque) en 4 subtramos, los cuales son: tramo 1, San Sebastián Reutalhuleu-Sibaná; tramo 2, Sibaná -El Xab; tramo 3, El Xab- Flores Costa Cuca; tramo 4, Flores Costa Cuca-Coatepeque.

Para el diseño y dimensionamiento del pavimento flexible que se usará en la reconstrucción del mencionado tramo de carretera, se utilizó el método de la "Guide for Design of Pavement Structure" de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1986. (Guía para el diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1986).

La ecuación de diseño para pavimentos flexibles propuesta por la AASHTO fue basada sobre un análisis de los efectos del diseño estructural (incluyendo espesores de los elementos y su tipo de material) y las cargas (magnitud y frecuencia de los pesos de los ejes) sobre el funcionamiento de el pavimento flexible.

La ecuación básica desarrollada por la AASHTO Road Test para pavimentos flexibles es:

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_r + S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 +$$

$$\frac{\log_{10} \left[\frac{PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \left[\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right]} + 2.32 * \log_{10} (Mr) - 8.07 \quad (\text{ec. 5.1})$$

A continuación se definen los factores que integran la fórmula y se les asigna valores, obtenidos para el diseño del pavimento flexible del proyecto.

W₁₈ = EAL: se calculó el EAL para todo el período de diseño, 20 años. A continuación se presentan los diferentes EAL para cada tramo:

subtramo	EAL
San Sebastián Reu-Sibaná	19,988,668
Sibaná-El Xab	21,926,066
Xab-Flores Costa Cuca	22,115,052
Flores Costa Cuca-Coatepeque	22,231,892

Los datos anteriores son tomados de las tablas 4.6 y 4.7 que corresponde al tránsito de las estaciones 214 y 215.

Zr = Desviación estandar normal.

El valor de Zr está determinado por el nivel de confiabilidad del diseño R. Para el diseño el valor de R es igual a 85 para todos los subtramos, este valor viene por considerar la carretera como rural. Zr se puede obtener con el valor de R directamente de la tabla 5.1.

Tabla 5.1: valores de Zr según el valor R.

CONFIABILIDAD R (porcentaje)	DESVIACION ESTANDARD (Zr)
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

$$Z(85) = -1.037$$

So = Desviación Estándar.

So debe ser seleccionado para representar las condiciones naturales locales, a las cuales estará sometida el pavimento. Valores de So desarrollados por la AASHTO no incluyen error por tránsito. Sin embargo, en las predicciones de error por serviciabilidad, hechas por la Road Test, So se encuentra dentro del rango (0.4 - 0.5) en el diseño del pavimento flexible, se asumió que So = 0.45, para todos los subtramos.

PSI = Índice Presente de Serviciabilidad.

El PSI es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (Po) y final (Pt), del diseño. Para el diseño se determinó un Po = 4.5 y un Pt = 2.3, por lo tanto nuestro PSI = 2.2, para todos los subtramos, que es la pérdida de serviciabilidad del diseño durante 20 años.

Mr = Módulo de Reacción de la sub-rasante.

Como en Guatemala, no existen equipos adecuados para determinar el Mr, se obtiene multiplicando el valor promedio de CBR de la subrasante a compactación seleccionada (en este caso 95%), por un número que depende del tipo de suelo existente en la subrasante, para suelos finos la Road Test sugiere un número de 1,500.

A continuación se presentan los resultados de Mr para cada uno de los subtramos:

subtramo	Mr (lbs/pulg ² /pulg)
1	10 * 1500 = 15,000
2	8 * 1500 = 12,000
3	13 * 1500 = 19,500
4	15 * 1500 = 22,500

SN = Número estructural del pavimento.

El SN está definido como el índice derivado de un análisis de tránsito y por las condiciones del suelo del lecho, para obtenerlo se valúa la ecuación fundamental del diseño (ec. 5.1) con los datos obtenidos anteriormente, se llevan a cabo iteraciones del SN, iniciando con un número comprendido en el rango de 3-6; las iteraciones de SN se detienen cuando el EAL obtenido sea igual o aproximado al EAL de diseño.

Después de haber realizado varias iteraciones se llegaron a obtener los siguientes valores de SN para cada uno de los sub-tramos.

Para llegar a establecer los números estructurales en cada sub tramo se utilizaron los siguientes datos:

Subtramo San Sebastián Retalhuleu - Sibaná:

Período de diseño :	20 años
Tasa de crecimiento anual:	3.56
Porcentaje de confianza:	85.00
Desviación Standard (So):	0.45
Desviación Standard normal (Zr):	-1.037
Mr:	15,000
Número de pistas/dirección:	1
Índice de servicio inicial:	4.5
Índice de servicio final:	2.3
No. de ejes equivalentes:	19,988,668

Sustituyendo estos datos en la ecuación 5.1 da como resultado un número estructural (SN) de 3.92

Subtramo Sibaná - El Xab:

Período de diseño :	20 años
Tasa de crecimiento anual:	3.56
Porcentaje de confianza:	85.00
Desviación Standard (So):	0.45
Desviación Standard normal (Zr):	-1.037
Mr:	15,000
Número de pistas/dirección:	1
Índice de servicio inicial:	4.5
Índice de servicio final:	2.3
No. de ejes equivalentes:	21,926,066

Sustituyendo estos datos en la ecuación 5.1 da como resultado un número estructural (SN) de 4.26.

Subtramo El Xab - Flores Costa Cuca:

Período de diseño :	20 años
Tasa de crecimiento anual:	3.56
Porcentaje de confianza:	85.00
Desviación Standard (So):	0.45
Desviación Standard normal (Zr):	-1.037
Mr:	15,000
Número de pistas/dirección:	1
Índice de servicio inicial:	4.5
Índice de servicio final:	2.3
No. de ejes equivalentes:	22,115,052

Sustituyendo esto datos en la ecuación 5.1 da como resultado un número estructural (SN) de 3.64.

Subtramo Flores Costa Cuca - Coatepeque:

Período de diseño :	20 años
Tasa de crecimiento anual:	3.56
Porcentaje de confianza:	85.00
Desviación Standard (So):	0.45
Desviación Standard normal (Zr):	-1.037
Mr:	15,000
Número de pistas/dirección:	1
Índice de servicio inicial:	4.5
Índice de servicio final:	2.3
No. de ejes equivalentes:	22,231,892

Sustituyendo estos datos en la ecuación 5.1 da como resultado un número estructural (SN) de 3.47.

DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS QUE CONFORMA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

El número estructural (SN) sirve para obtener los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, utilizando coeficientes de capa que son determinados por el tipo de material existente en cada una de las capas de la estructura del pavimento. Los coeficientes de capa (designados por a1, a2, y a3 para la carpeta de rodadura, base y sub-base, respectivamente) son una relación empírica entre el SN de la estructura de un pavimento y los espesores de las capas, el cual determina la capacidad de un material para funcionar como un componente estructural del pavimento.

Análíticamente, el SN está dado por:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \text{ (ec. 5.2)}$$

donde los valores de Di corresponden al espesor de la respectiva capa.

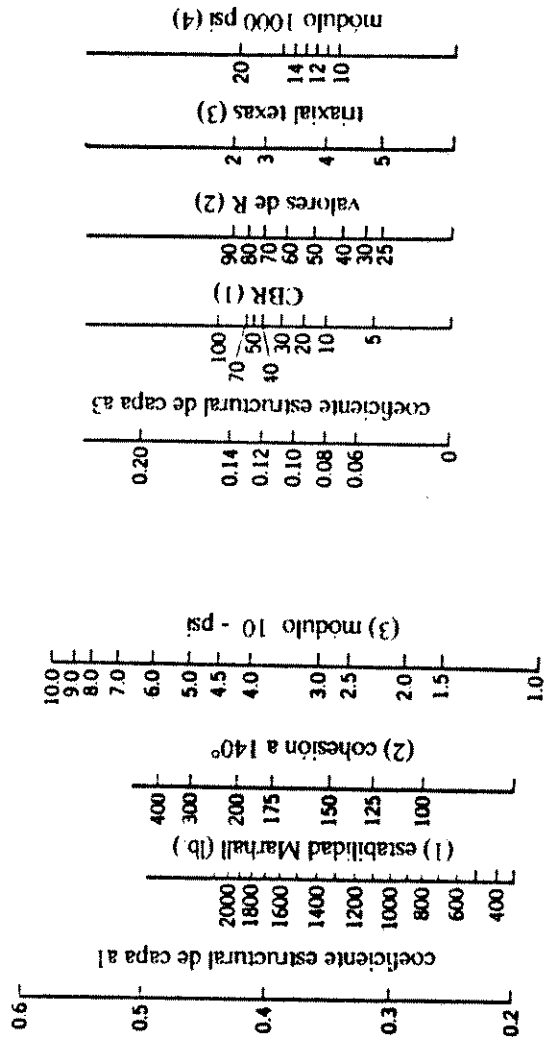
Los valores correspondientes a: a1, a2 y a3 fueron obtenidos de la tabla 5.2, tomando en cuenta los valores de resistencia propuestos en el diseño para cada una de las capas que conforman la nueva estructura de pavimento (Modulo. de elasticidad, para la carpeta de rodadura; UCC, para la base tratada; estabilidad Marshall, para la base negra; y CBR para la base granular, sub-base y subrasante). En la tabla 5.3 se presentan los coeficientes de cada una de las capas del pavimento, así como los valores de resistencia propuestos en el diseño.

Es importante hacer notar que en el presente trabajo se analizaron tres posibles soluciones, en lo que a espesor de base se refiere, por lo que se presentan 3 coeficientes de capa de base: base granular, base tratada con cemento y base negra; en consecuencia se denominará: **solución 1, a la estructura de pavimento diseñada con base granular; solución 2, a la estructura de pavimento diseñada con base tratada con cemento; y solución 3, a la estructura de pavimento diseñada con base negra.**

Tabla 5.3: valores de resistencia propuestos en nuestro diseño, coeficientes de capa.

Material	Resistencia a		Módulo de resiliencia	Coef. de capa
	Método	Valor		
C. asfáltica	M. Elast.	350000	350000	0.390
Base tratada	UCC	750	789000	0.213
Base negra	Marshall	700	154000	0.192
Base granular	CBR	90	29000	0.137
Sub-base:	CBR			
tramo 1		67	18480	0.129
tramo 2		23	13470	0.096
tramo 3		61	18240	0.128
tramo 4		48	17570	0.124
Subrasante:	CBR			
tramo 1		10	15000	
tramo 2		8	12150	
tramo 3		13	19500	
tramo 4		15	22500	

Tabla 5.2: nomograma para coeficientes de capa propuesto por la AASHTO

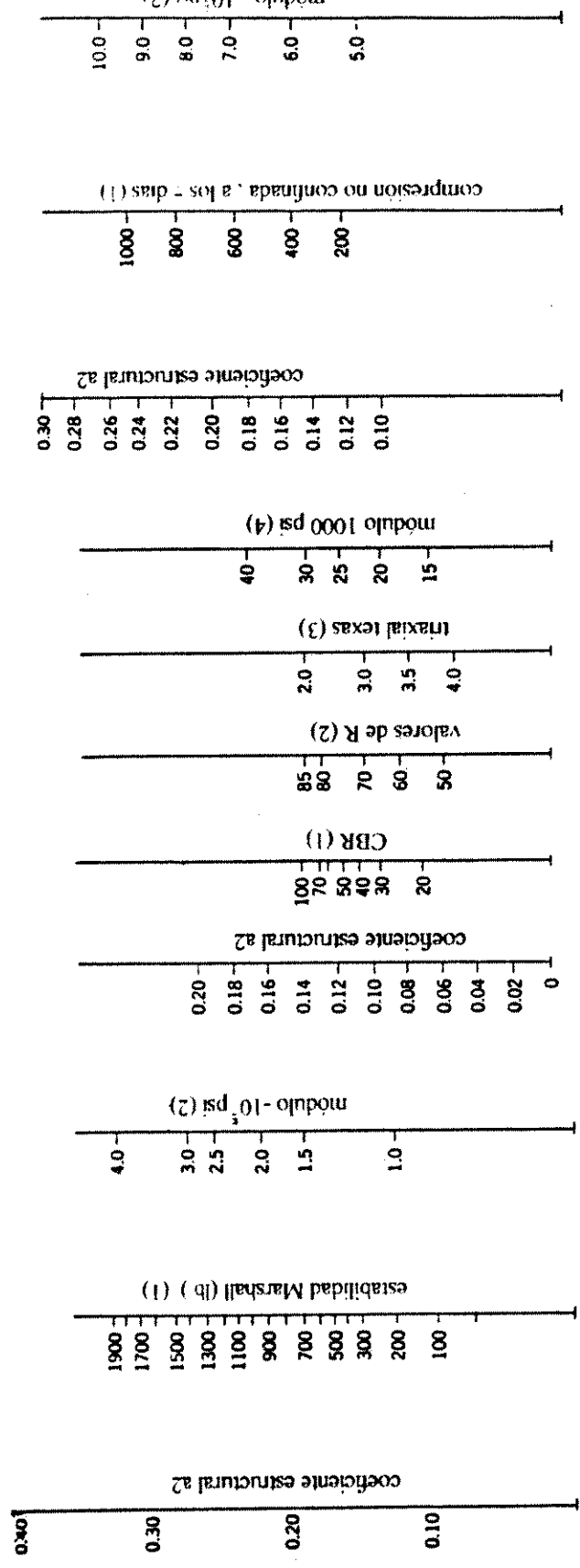


A COEFICIENTE PARA CARPETA DE RODADURA

- (1) escala derivada de promedios obtenidos del instituto de Asfalto.
- (2) derivado de los promedios de correlaciones para california y texas.
- (3) escala derivada para el proyecto.

B COEFICIENTE PARA SUBBASE

- (1) escala derivada para correlaciones en Illinois.
- (2) escala derivada de correlaciones obtenidas por el Instituto de Asfaltos.
- (3) escala derivada de la correlación obtenida para texas.
- (4) escala derivada para el proyecto.



C COEFICIENTES PARA BASE NEGRA

- (1) escala derivada por la correlación obtenida para Illinois
- (2) módulo a 68° F.

D COEFICIENTES PARA BASE GRANULAR

- (1) escala derivada para correlaciones en Illinois
- (2) escala derivada de correlaciones obtenidas por el Instituto de Asfaltos.
- (3) escala derivada de la correlación obtenida para Texas
- (4) escala derivada para el proyecto.

E COEFICIENTES PARA BASE TRATADA CON CEMENTO

- (1) escala derivada de porcentajes de correlación para Illinois
- (2) escala derivada para el proyecto

5.1 ESPESOR DE SUB-BASE.

El espesor mínimo sugerido para la sub-base es de 4 pulgadas (10 cm), este espesor mínimo fue tomado en base a experiencias de construcción y mantenimiento de carreteras. Parte del análisis de diseño incluye la utilización de las tablas 5.4 y 5.5 (nomograma de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO), la tabla 5.4 es la solución de la ecuación básica (ec. 5.1) propuesta por la AASHTO. Los valores de espesor de sub-base propuesto en el diseño para cada uno de los subtramos, se presentan a continuación.

Subtramo	sol. No.1 (base granular)	Sol. No.2 (base con cemento)	Sol. No.3 (base negra)
1	0.5 (1cm)	1.5 (4cm)	0.5 (1cm)
2	0.0	0.5 (1cm)	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0

Nota: Los espesores propuestos se encuentran muy por debajo del mínimo debido a que no se removerá, en su totalidad, la estructura del pavimento existente, por lo tanto se utilizará el valor mínimo de sub-base (10 cm.).

5.2 ESPESOR DE BASE.

Se asume la mezcla de partes de la estructura existente, debidamente pulverizadas, homogenizadas y compactadas para obtener una base nueva. El espesor mínimo de base es de 4 pulgadas (10cm), este espesor fue determinado en base a experiencias en la construcción y mantenimiento de carreteras.

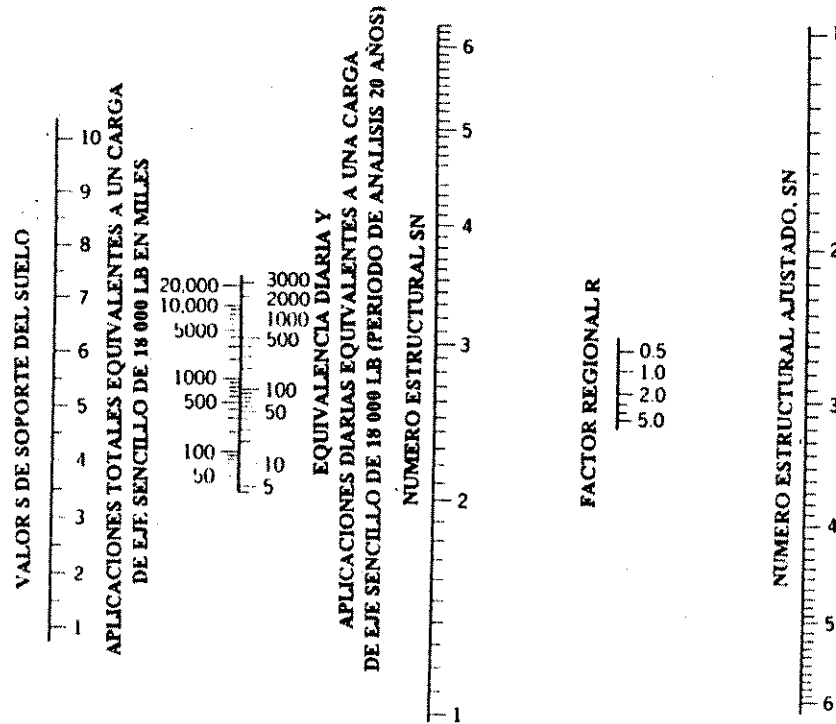
5.2.1 ESPESOR DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.

Enseguida se presentan los espesores propuestos en el diseño para la base estabilizada con cemento, estos espesores se encuentran entre un rango mínimo de 10 cm y un rango máximo de 30 cm según las Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, estos valores corresponden a la solución número 2 (base con cemento). Espesor en pulgadas (centímetros).

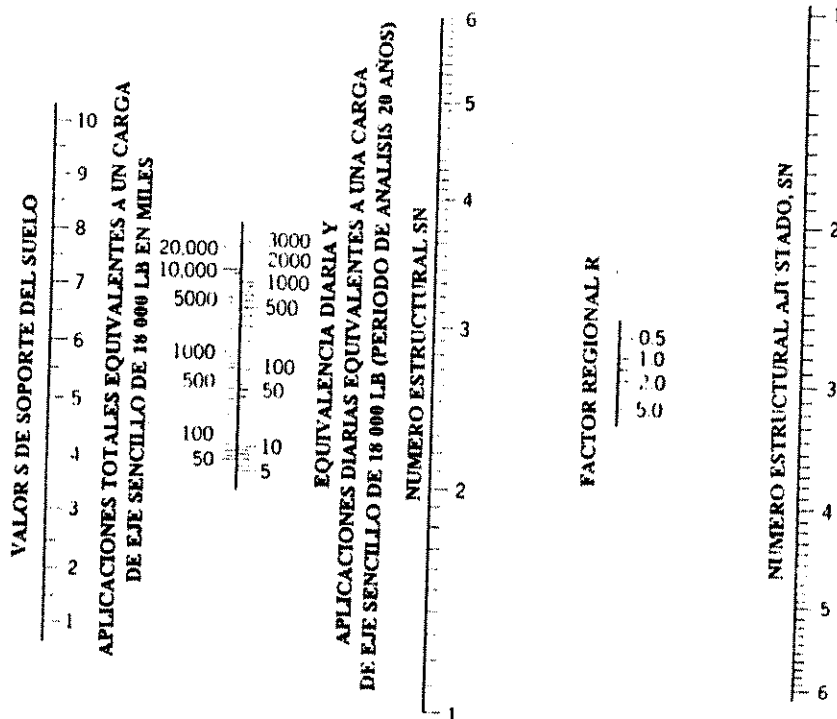
Subtramo	Sol. No.1 (base granular)	Sol. No.2 (base con cemento)	Sol. No.3 (base negra)
San Sebastián Reu.-Sibaná	----	11.5 (29cm)	----
Sibaná - El Xab	----	13.5 (34cm)	----
El Xab- Flores Costa Cuca	----	11.5 (29cm)	----
Flores Costa Cuca-Coatepeque	----	10.5 (27cm)	----

Tabla 5.4

NOMOGRAMA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

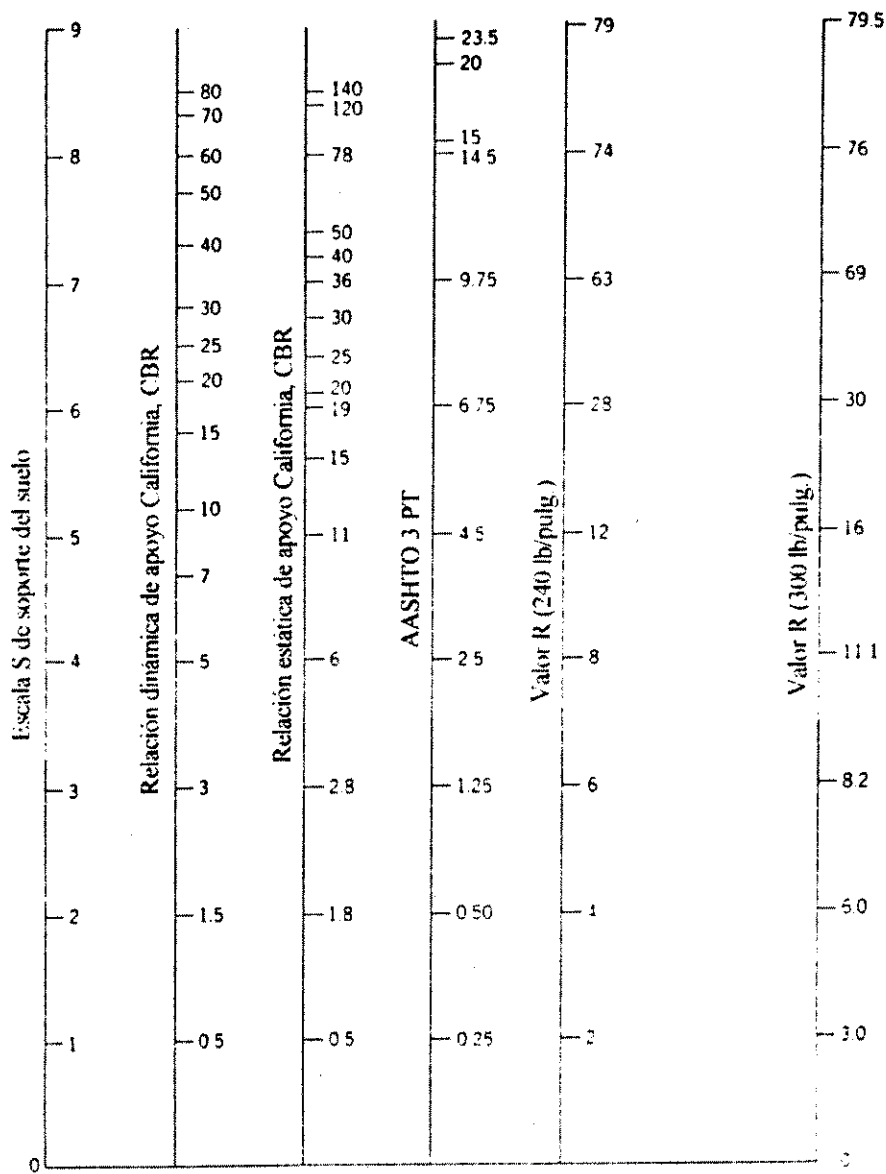


GRAFICA PARA UN INDICE DE CAPACIDAD DE SERVICIO TERMINAL, $P_t = 2.0$



GRÁFICA PARA UN INDICE DE CAPACIDAD DE SERVICIO TERMINAL, $P_t = 2.5$

Tabla 5.5: Equivalencia de valores S de soporte de suelo.



La grafica indica la equivalencia de valores S de soporte de suelo y las determinaciones para apoyo del suelo hechas mediante varios metodos comunes para evaluar resistencias de subrasantes

5.2.2 ESPESOR DE BASE NEGRA.

A continuación se presentan los espesores propuestos para la base negra, en cada uno de los 4 subtramos, el criterio para proponer los espesores de capa es que debe encontrarse entre un rango de 10 a 30 cm, estos espesores corresponden a la solución 3. Espesor en pulgadas (centímetros)

Subtramo	Sol. No.1 (base granular)	Sol. No. 2 (base con cemento)	Sol. No.3 (base negra)
San Sebastián Reu. - Sibaná	----	----	9 (23cm)
Sibaná - El Xab	----	----	12 (30cm)
El Xab - Flores Costa Cuca	----	----	9.5(24cm)
Flores Costa Cuca - Coatepeque	----	----	9 (23cm)

5.2.3 ESPESOR DE BASE GRANULAR.

A continuación se presentan los espesores propuestos para la base granular, en cada uno de los 4 subtramos, el criterio para proponer los espesores de capa es que debe encontrarse entre un rango de 10 a 30 cm, estos espesores corresponden a la solución 1. Espesor en pulgadas (centímetros)

Subtramo	Sol. No.1 (base granular)	Sol. No.2 (base con cemento)	Sol. No.3 (base negra)
San Sebastián Reu. - Sibaná	7 (18cm)	----	----
Sibaná - El Xab	12 (30cm)	----	----
El Xab - Flores Costa Cuca	6 (15cm)	----	----
Flores Costa Cuca - Coatepeque	3 (8 cm)	----	----

5.3 ESPESOR DE CARPETA DE RODADURA.

Para la carpeta de rodadura se sugiere un espesor mínimo de 2 pulgadas (5 centímetros), según criterios obtenidos de la construcción y mantenimiento de carreteras. A continuación se presentan los espesores propuestos en el diseño en cada uno de los 4 subtramos y correspondientes a cada una de las 3 soluciones. Espesores en pulgadas (centímetros).

Subtramo	Sol. No.1	Sol. No.2	Sol. No.3
Todos los subtramos	8.5 (22cm)	3.5 (9cm)	5.1 (13cm)

Nota: el espesor de carpeta a utilizarse es de 10 cm., en este caso la solución No.2.

CHEQUEO.

Para chequear que los espesores propuestos son los correctos, se resolverá la ecuación 5.2:

$$a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 = SN$$

Donde: a_1 = coeficiente de carpeta de rodadura.

D_1 = espesor de carpeta.

a_2 = coeficiente de carpeta de base.

D_2 = espesor de base.

a_3 = coeficiente de sub-base.

D_3 = espesor de sub-base.

Subtramo San Sebastián Reu. - Sibaná:

Solución 1: base granular

$$8.5*0.39 + 7*0.137 + 0.5*0.129 = 4.92 > 3.92 \text{ (espesores correctos).}$$

Solución 2: base tratada con cemento

$$3.5*0.39 + 11.5*0.213 + 1.5*0.129 = 4.00 > 3.92 \text{ (espesores correctos)}$$

Solución 3: base negra

$$5.10*0.39 + 10*0.192 + 0.5*0.129 = 3.97 > 3.92 \text{ (espesores correctos)}$$

Subtramo Sibaná - El Xab:

Solución 1: base granular

$$8.5*0.39 + 12*0.137 + 0.0*0.129 = 4.96 > 4.26 \text{ (espesores correctos).}$$

Solución 2: base tratada con cemento

$$3.5*0.39 + 13.5*0.213 + 0.5*0.129 = 4.31 > 4.26 \text{ (espesores correctos)}$$

Solución 3: base negra

$$5.10*0.39 + 12*0.192 + 0.0*0.129 = 4.29 > 4.26 \text{ (espesores correctos)}$$

Subtramo El Xab - Flores Costa Cuca:

Solución 1: base granular

$$8.5*0.39 + 6*0.137 + 0.0*0.129 = 4.14 > 3.64 \text{ (espesores correctos).}$$

Solución 2: base tratada con cemento

$$3.5*0.39 + 11.5*0.213 + 0.0*0.129 = 3.81 > 3.64 \text{ (espesores correctos)}$$

Solución 3: base negra

$$5.10*0.39 + 9.5*0.192 + 0.0*0.129 = 3.81 > 3.64 \text{ (espesores correctos)}$$

Subtramo Flores Costa Cuca - Coatepeque:

Solución 1: base granular

$$8.5*0.39 + 3*0.137 + 0.0*0.129 = 3.73 > 3.47 \text{ (espesores correctos).}$$

Solución 2: base tratada con cemento

$$3.5*0.39 + 10.5*0.213 + 0.0*0.129 = 3.60 > 3.47 \text{ (espesores correctos)}$$

Solución 3: base negra

$$5.10*0.39 + 9*0.192 + 0.0*0.129 = 3.60 > 3.47 \text{ (espesores correctos)}$$

Se observa, según el chequeo anterior, que los espesores de cada una de las capas propuestos, cumplen con los requisitos mínimos, en la tabla 5.5 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en nuestro diseño.

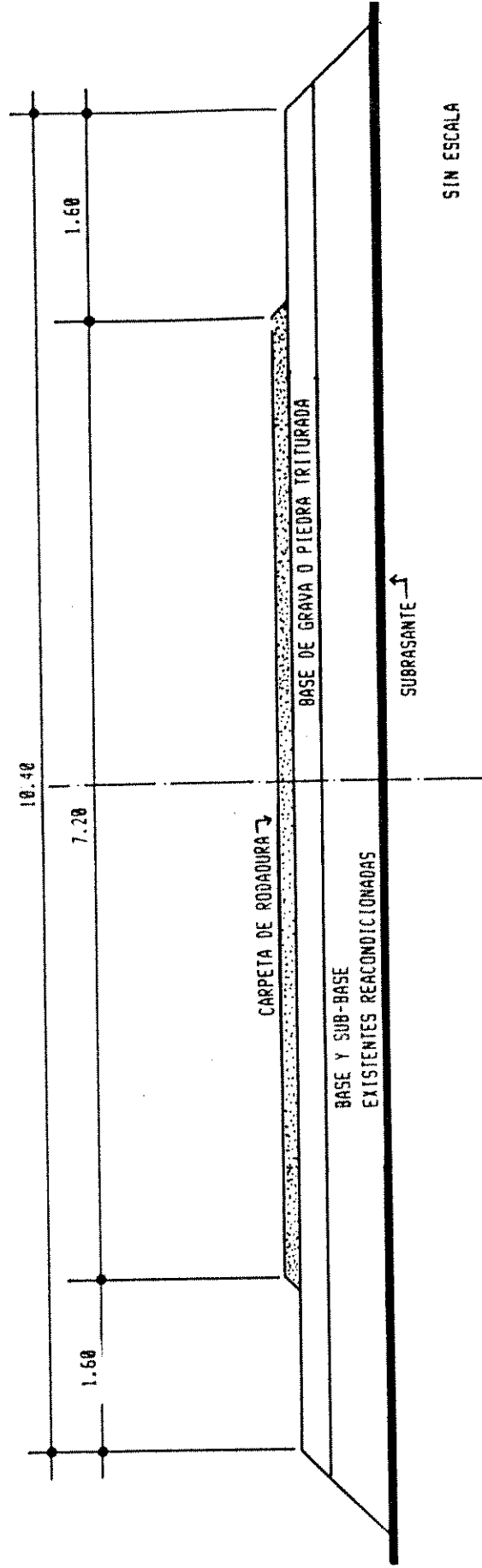
El diseño detallado del pavimento para cada uno de los subtramos se efectuó por el método de la AASHTO, tomando en consideración los espesores de las distintas capas de la estructura existente para evitar la contaminación con los materiales de la subrasante.

La solución seleccionada es el uso de una nueva carpeta de concreto asfáltico, colocada sobre una base estabilizada con cemento, formada por la escarificación y mezcla de una parte de la estructura existente.

Tabla 5.6: resultados del diseño de pavimento para la C.A. occidente tramo
Retalhuleu - Coatepeque

Tramo	Estación	subbase requerida (cm.)	base tra- tada con cemento (cm)	base de cont. Asf. requerida (cm)	Superfici e de conc. asfáltico (cm.)	espesor total de carpeta (cm.)
San Sebastián Reu. Sibaná	178+722 191+467	10.0	29.0	5.0	5.0	10.0
Sibaná El Xab	191+467 196+00	10.0	34.0	5.0	5.0	10.0
El Xab Flores Costa Cuca	196+000 209+000	10.0	29.0	5.0	4.0	9.0
Flores Costa Cuca Coatepeque	209+000 217+500	10.0	27.0	6.0	5.0	11.0

5.4 SECCIÓN TÍPICA



PROYECTO C.A.-2 OCCIDENTE, TRAMO RETALHULEU - COATEPEQUE

CONCLUSIONES

1. Para la proyección del tránsito fue necesario realizar un análisis de regresión utilizando el historial de tránsito proporcionado por la Dirección General de Caminos, posteriormente se realizó una comparación con un conteo realizado por una empresa consultora durante el año de 1,996, dicho conteo mostró volúmenes de tránsito mayores en 20% a 30% a los proyectados a partir del historial del tránsito; el criterio utilizado para proyectar el tránsito esperado durante el período de diseño, partiendo del año cero (1,996), fue incrementar el tránsito liviano en un rango de 2% a 3% (tasa de crecimiento poblacional), y en 3% a 5% (tasa de crecimiento económico) para vehículos pesados.
2. Se debe hacer notar que el 99% de camiones de 4 ejes o más está constituido por camiones de 5 ejes (T3-S2, con un remolque), utilizados para el transporte de caña de azúcar. El tránsito pesado representa un porcentaje muy alto del tránsito total que utiliza la CA-2 occidente, lo que corresponde con la categoría de la carretera.
3. El tramo bajo estudio constituye una de las arterias principales de la red vial nacional, cuenta con un sistema de tránsito bien definido y recorre una zona donde la explotación agropecuaria y agro-industrial se encuentra bien desarrollada. Por ello no se considera que la rehabilitación de la carretera pueda inducir un incremento en el tránsito, en la producción agropecuaria o en otras actividades generadoras de tránsito.
4. Tomado en cuenta el análisis realizado sobre el pavimento existente, se hace notar el deterioro casi total de la carpeta de rodadura, esto trae como consecuencia la contaminación del resto de la estructura del pavimento, descartando por ello la rehabilitación con un recapeo.
5. Debido a la falta de mantenimiento una carretera acorta su vida útil, por tanto también su serviciabilidad, luego por la escasez de recursos económicos se posponen trabajos de inversión baja que con el paso de los años se convierten en grandes inversiones.

RECOMENDACIONES

1. Realizar los trabajos necesarios para la rehabilitación de la CA-2 occidente tramo Retalhuleu - Coatepeque, utilizando como sub-base nueva la base y sub-base existente debidamente pulverizadas, mezcladas, estabilizadas con cemento, homogenizadas y compactadas al 95%.
2. Realizar un estudio sobre los otros dos tramos que forman la carretera CA-2 occidente (Nahualate - Retalhuleu y Coatepeque - Tecún Uman), para lograr la rehabilitación completa de la carretera.
3. Realizar una inspección detallada de todas las estructuras de drenaje, tanto mayor como menor, localizadas en el tramo Retalhuleu - Coatepeque con fin de establecer el estado físico y el funcionamiento hidráulico de los mismos.
4. Que se fortalezcan los estudios para determinar índices de crecimiento vehicular de manera que a cada clase de vehículo le corresponda una tasa de crecimiento, debido a que éstos son básicos en las proyecciones de tránsito.

- MONCAYO V., Jesús. MANUAL DE PAVIMENTOS. Segunda Edición. México. Editorial Continental. Mayo 1983.
- MERRITT, Frederick S. INGENIERÍA DE CAMINOS. MERRITT, Frederick S. MANUAL DEL INGENIERO CIVIL, VOL. III. Tercera Edición. México. McGraw-Hill. Junio 1993.
- AASHTO., American Association Of State Highway And Transportation Official. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIAL AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING, PART 1. Sixteenth Edition. 1993.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, Ministerio de Comunicaciones y Obras Publicas. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES. Guatemala, 1975
- ATKINS N, Harold. HIGHWAY MATERIALS, SOILS, AND CONCRETES, Second Edition. Prentice Hall. United Stated Of America. 1992.
- CRESPO VILLALAZ, Carlos. MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. Cuarta Edición, México, Editorial Limusa, 1990.
- SIECA., MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS ALCANTARILLAS Y PUENTES, Guatemala, 1974.
- MARTÍNEZ QUEVEDO, Irvin Benjamin. ANÁLISIS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA EL PROYECTO CA-2 ORIENTE, TRAMO TAXISCO-CUIDAD PEDRO DE ALVARADO Tesis de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1989.
- CANSINOS SAZO, Gustavo Adolfo. RECICLAJE DE PAVIMENTOS ASFALTICOS. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre de 1981. Ingeniería Civil.
- YODER, E.J.; WITCZAK, M.W., PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. Second Edition, A Wiley-Intersciencie-Plublication, 1975.
- ASPHALT INSTTTUTE . THE ASPHALT HANDBOOK. Second Printing. March 1966.
- ASPHALT INSTTTUTE. ASPHALT SURFACE TREATMENT AND ASPHALT PENETRATION MACADAM. Third Printing. December 1965.