

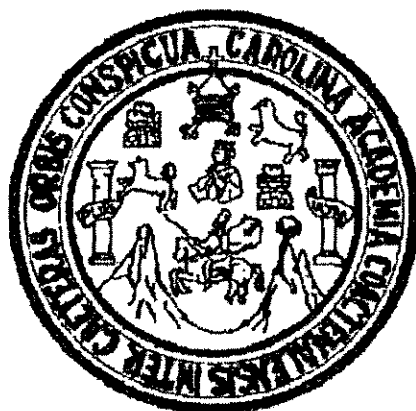
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL

PROYECTO VADO HONDO - EL FLORIDO

TESIS



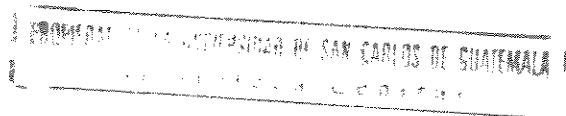
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

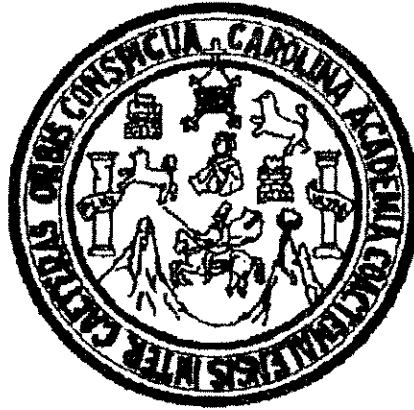
SERGIO IVÁN CAPRIEL BRAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 1997.



R
08
T (4014)
C.4



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:

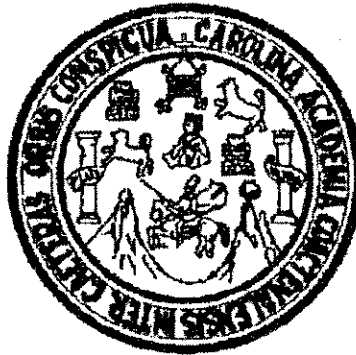
ANÁLISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO VADO HONDO - EL FLORIDO

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.

SERGIO IVÁN CAPRIEL BRAN

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. Jorge Alfredo Baechli Alburez.
EXAMINADOR:	Ing. Tonio Michelle Bonatto Merida.
EXAMINADOR:	Ing. Mario Alfredo García Escobar.
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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, 13 de Abril 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: **ANÁLISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO VADO HONDO - EL FLORIDO**, desarrollado por el estudiante Sergio Iván Capriel Bran, 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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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

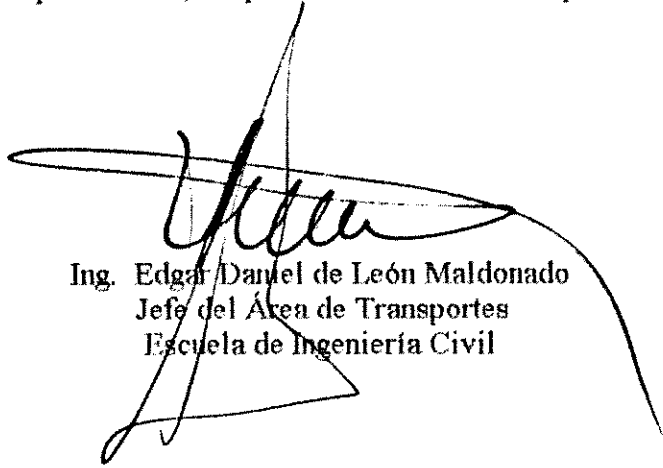
Ingeniero
Jack Douglas Ibarra,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil,
Facultad de Ingeniería,
USAC.

Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado ANÁLISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO VADO HONDO - EL FLORIDO , desarrollado por el estudiante Sergio Iván Capriel Bran, 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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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 Sergio Iván Capriel Bran, titulado ANALISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO VADO HONDO- EL FLORIDO, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, julio de 1, 997.

JD1S/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



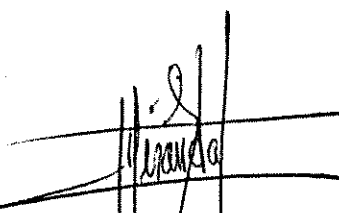
FACULTAD DE INGENIERIA

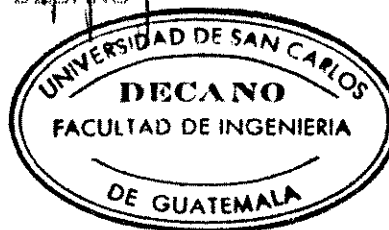
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

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 **ANALISIS DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO VADO HONDO - EL FLORIDO**, del estudiante Sergio Iván Capriel Bran, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, julio de 1,997

/bbdeb.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS ABUELOS

LISANDRO E. CAPRIEL G.	(Q.E.P.D.)
CRISTINA P. DE CAPRIEL.	(Q.E.P.D.)
ALBERTO CARMELO BRAN O.	(Q.E.P.D.)
AGUSTINA DE MARÍA PÉREZ DE BRAN	(Q.E.P.D.)

MIS PADRES

JULIO CAPRIEL.
MARÍA ELADIA BRAN DE CAPRIEL

MI HIJA

MARÍA ALEJANDRA CAPRIEL LARA

MIS HERMANOS

INGRID, SILVIA, ALFREDO, WALTER, KARLA,
LISANDRO, ROSIDALIA Y EDUARDO.

MIS SOBRINAS

ANDREA MARÍA LETONA CAPRIEL
NADIA SOFÍA LETONA CAPRIEL

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 TECNICO 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 AL ING. JOSE LUIS LEÓN FAJARDO POR SU AYUDA Y SINCERA AMISTAD.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA CENTRAL

ÍNDICE

	Página
Introducción.....	i
Objetivos.....	iii
Planteamiento del Problema.....	iv

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DEL TRÁNSITO EN LA CARRETERA VADO HONDO EL FLORIDO

1.1 Generalidades.....	1
1.1.1 Estudio de Volumen de Vehículos.....	1
1.1.2 Tránsito Promedio Diario (TPDA) del Proyecto.....	4
1.1.3 Análisis y Proyección del Tránsito.....	5
1.1.4 Estacionalidad del Tránsito.....	12
1.1.5 Proyección del Tránsito Normal.....	14
1.1.6 Tránsito Total del Proyecto.....	15

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN EL PROYECTO

2.1 Generalidades.....	22
2.1.1 Características Físicas de los Suelos.....	22
2.1.2 Capacidad de Carga del Suelo.....	26
2.2. Ensayos de Laboratorio de Suelos.....	26
2.2.1 Ensayo de Contenido de Humedad.....	27
2.2.2 Análisis Granulométrico.....	27
2.2.3 Ensayos de Consistencia.....	27
2.2.4 Ensayos de Compactación para el contenido Optimo de Humedad (PROCTOR)..	28
2.2.5 Valor Relativo de Soporte del Suelo.....	29
2.2.6 Equivalente de Arena.....	31
2.3 Informe Final de Resultados de Los Ensayos de Laboratorio.....	31
2.3.1 Selección del Valor Relativo de Soporte del Suelo.....	35
2.4 Análisis de los Resultados de Laboratorio.....	40
2.4.1 Suelos Predominantes por Tramos.....	40
2.4.2 Material Para Sub-Base.....	40
2.4.3 Materiales Para Base y Carpeta Asfáltica.....	42

CAPÍTULO 3

	Página.
TEORÍA SOBRE PAVIMENTOS	43
3.1. Generalidades	43
3.1.1 Definición de Pavimentos.....	43
3.1.2 Tipo de Pavimentos.....	43
3.2 Pavimentos Flexibles	43
3.2.1 Asfaltos.....	44
3.3 Pavimentos Rígidos	46
3.3.1 Tipo de Pavimentos Rígidos.....	46
3.4 Elementos Estructurales de los Pavimentos	47
3.4.1 Sub-Rasante.....	47
3.4.2 Sub-Base.....	47
3.4.3 Base.....	47
3.4.4 Capa de Rodadura.....	49
3.4.5 Carpeta de Desgaste o Sello.....	49
3.4.6 Superficie Rasante.....	50

CAPÍTULO 4

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO	51
4.1 Generalidades	51
4.1.1 Teoría del Diseño.....	51
4.2 Especificaciones Generales para la Calidad de los Materiales que Conforman las Diferentes Capas del Pavimento	65
4.2.1 Sub-Rasante.....	65
4.2.2 Sub-Base.....	66
4.2.3 Capa de Sub-Base Estabilizada.....	66
4.2.4 Base de Piedra o Grava Triturada.....	68
4.2.5 Base Granular.....	70
4.2.6 Capa de Base Estabilizada con Cemento.....	71
4.2.7 Capa de Rodadura.....	73
4.2.8 Tratamiento Asfáltico Superficial.....	75
4.2.9 Riego de Imprimación.....	76
4.2.10 Riego de Liga.....	77
4.3 Diseño de Espesores del Pavimento	78
4.3.1 Espesores Mínimos de las Capas.....	78
4.3.2 Espesor de la base, sub-base y capa de rodadura de acuerdo a las especificaciones Generales de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.....	78
4.3.2 Diseño de Espesores por Tramos.....	78
4.3.3 Solución Propuesta para el Pavimento Flexible.....	81

CAPÍTULO 5

	Página.
ESTIMACIÓN DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.....	84
5.1 Generalidades.....	84
5.1.1 Construcción del Pavimento.....	84
5.2 Recursos Requeridos para la Ejecución del Proyecto	89
5.3 Costo del Pavimento.....	92
Conclusiones.....	v
Recomendaciones.....	Vii
Bibliografía.....	viii
Anexos	

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano es y será indicativo del progreso social; la ampliación, mejora y trazo de nuevas rutas de comunicación vial, son respuesta a una manifestación espontánea de desarrollo. Las vías de comunicación vial han experimentado, en el medio guatemalteco, diferentes etapas de comportamiento evolutivo, es así como se ha tenido en épocas pasadas por parte de los sectores involucrados, algún interés manifiesto por desarrollar la red vial, con el diseño, trazo y ampliación de carreteras, caminos de penetración, rutas principales y rutas alternas, pero, igualmente, se ha experimentado el abandono en otros períodos, casi total, al mantenimiento o realización de otras obras de este tipo. Esta situación conduce a que en la actualidad, buena parte de la red vial se encuentra destruida, con un período de diseño finalizado o rebasado.

Es sin embargo, en las actuales condiciones, si se requiere lograr un despegue económico, cuando deberá, hacerse mediante el mejoramiento de los medios de comunicación vial a efecto de lograr, de una manera más efectiva, el intercambio comercial y que diferentes regiones del país por su parte se integran al proceso productivo.

Con las nuevas políticas de gobierno de los diferentes países de América, a las cuales Guatemala no es ajena, la política de descentralización es cada vez más acentuada y la ejecución o mantenimiento de obras, está destinada a que sean ejecutadas en su conjunto por la iniciativa privada con financiamiento del gobierno. En materia de nuestra competencia la ejecución de obras de tramos cortos o largos de la red vial del país, así como el mantenimiento y/o ejecución de tramos nuevos de las áreas urbanas con pavimentos para su mejor desplazamiento o tránsito, se han hecho con diseños basados en la experiencia y con poca información a ese respecto; es la intención de este trabajo dejar sentados los pasos que se debieran dar para el diseño del espesor adecuado de un pavimento, en este caso aplicado a un proyecto específico como lo es el tramo carretero Vado Hondo - El Florido.

Por lo antes expuesto, este trabajo de tesis, Análisis del Diseño de Estructura de Pavimento del Proyecto Vado Hondo - El Florido, inicia en el capítulo No. 1 con la investigación sobre el historial del tránsito y proyección que se espera que utilice la carretera durante su periodo de diseño.

En el capítulo No. 2, se describen y determinan las propiedades del suelo en el proyecto, realizando ensayos de laboratorio y de campo, para obtener los valores óptimos de diseño del pavimento. En el capítulo No. 3, se reúnen conocimientos relacionados con pavimentos, definiendo los tipos existentes, según sea el material que los conforman y se definen también las capas estructurales de un pavimento. En el capítulo No.4 se establece el uso de un método de diseño de espesores apropiado, con el propósito de encontrar el espesor mínimo que redunde en el menor costo de construcción, se describen también los factores de diseño que aporta el tránsito, los cuales son de vital importancia para el buen funcionamiento y larga vida de los pavimentos, luego se describen las especificaciones

generales para la calidad de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento. Finalmente en el capítulo No. 5 se hace una breve descripción de las etapas que intervienen en la construcción de pavimentos, así como la maquinaria y equipo necesaria para su construcción; para luego hacer la estimación del costo total para cada etapa, usando para ello el método de los precios unitarios.

OBJETIVOS

1. OBJETIVOS GENERALES

- Dar los conceptos generales y las diferentes etapas de que consta el diseño de la estructura de un pavimento flexible.
- Presentar los análisis y ensayos, así como las especificaciones técnicas para lograr que todos los materiales, mezclas y productos asfálticos cumplan con los requisitos de diseño y, de este modo, garantizar una mejor inversión y durabilidad del pavimento.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Que con la construcción del pavimento, se mejoren las características físicas de la carretera, tales como el alineamiento horizontal y vertical, así como otros aspectos técnicos relacionados con la ingeniería del proyecto.
- Mejorar cualitativa y cuantitativamente la red vial centroamericana ya que acercará las costas del litoral del Atlántico, ahorrando divisas y fortaleciendo la balanza comercial de los países de Centroamérica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema fundamental consiste en que no existe otra carretera corta y en buenas condiciones de paso que intercomunique las costas del Atlántico de la República de Honduras; con la zona nor-oriental de la República de Guatemala, y se dispone únicamente del punto fronterizo de la ruta CA-10, conocido como Agua Caliente y que a la vez favorezca a la República de Nicaragua, ya que las mercancías que son descargadas en la ciudad de Guatemala y cuyo destino final es el Atlántico de Honduras y Nicaragua, lo tienen que operar por la vía de la CA-9 Norte, tramo: Guatemala- Río Hondo, con una distancia de 140.459 kilómetros y la ruta CA-10 desde el Río Hondo Hasta la frontera de Agua Caliente, recorriendo 100.950 kilómetros para totalizar 241.287 kilómetros, y ubicarse en el territorio hondureño, en tanto que si lo realizaran por el proyecto propuesto se recorrería un total de 228.317 kilómetros situación que favorecería significativamente un ahorro en los costos de operación vehicular y el tiempo de los usuarios.

La carretera actual presenta el problema que existe una fuerte curvatura que alcanza 259 grados y pendiente del orden de 6.31%, situaciones que impiden la rápida movilización, lo que obliga a los usuarios a incurrir en altos costos de operación vehicular, que afecta su economía, así también esta misma situación afecta la condición de rebase y encuentro de vehículos, ya que existen tramos muy angostos y curvas muy cerradas, que están fuera de las especificaciones técnicas de diseño.

El estado actual de la carpeta de rodadura según el levantamiento físico realizado por el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de la División de Mantenimiento de la Dirección General de Caminos, se encuentra en un estado regular, desde Vado Hondo hasta la aldea la Libertad con una longitud de 41.000 kilómetros, y la mencionada comunidad a El Florido, frontera con la república de Honduras con una longitud de 4.218 kilómetros, se encuentra en una situación mala, lo anterior indica que el 90.67%, se encuentra en una situación regular y el 9.33% se encuentra en una situación mala.

CAPÍTULO No. 1

ANÁLISIS DEL TRÁNSITO EN LA CARRETERA VADO HONDO - EL FLORIDO

1.1 GENERALIDADES

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como las carreteras, las calles, las intersecciones, las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (Ocupan un lugar) y temporales (Consumen tiempo). Las distribuciones espaciales de los volúmenes de tránsito generalmente resultan del deseo de la población de efectuar viajes entre determinados orígenes y destinos, llenando así una serie de satisfacciones y oportunidades ofrecidas por el medio ambiente circundante. Las distribuciones temporales de los volúmenes de tránsito son el producto de los estilos y formas de vida que hacen que las personas sigan determinados patrones de viaje basados en el tiempo, realizando sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en horas específicas del día.

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera o calle funcione durante el periodo de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestión por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo.

La sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos, es la responsable de llevar a cabo los conteos de tránsito de la red vial clasificada del país.

1.1.1 ESTUDIO DE VOLUMEN DE VEHÍCULOS.

Los estudios sobre los volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan en relación con el tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

Estos estudios varían desde los muy amplios en toda una red o sistema vial, hasta los muy sencillos en lugares específicos tales como en intersecciones aisladas, puentes, túneles, etc., Las razones para llevar a cabo los estudios de volúmenes de tránsito son tan variadas como los lugares mismos donde se realizan.

El tipo de datos recolectados en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que se le vaya a dar a los mismos. Así por ejemplo, algunos estudios requieren detalles como la composición vehicular y los movimientos direccionales, mientras que otros sólo exigen conocer los volúmenes totales. También, en algunos casos es necesario aforar vehículos únicamente durante periodos cortos de una hora o menos, otras veces el periodo puede ser de un día, una semana o un mes e inclusive un año.

Existen diversas formas para obtener los recuentos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Estas formas incluyen:

1.1.1.1 MÉTODOS USADOS EN EL CONTEO DE VEHÍCULOS

1.1.1.1.1 CONTEOS MECÁNICOS O AUTOMÁTICOS

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

1.1.1.1.2 CONTEOS MANUALES

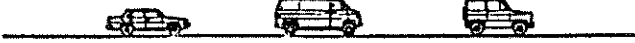


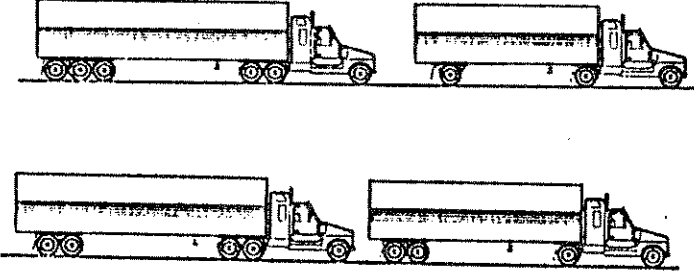



Los conteos manuales son hechos cuando los datos deseados no se pueden obtener con un equipo contable mecánico o automático. Una ventaja de los conteos manuales es, la clasificación de vehículos por tipo.

Cabe agregar que durante el año de 1994, la Sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos 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. Por ello, se decidió, realizar una clasificación de las categorías de vehículos (ver Gráfica No. 1.1), la que fue tomada en consideración para establecer el tránsito actual de la carretera.

Para facilidad de comprensión las categorías de vehículos se han identificado en números arábigos.

PROPIEDAD DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS

GRÁFICA No. 1.1

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS PARA CONTEO DE TRÁFICO		
CATEGORÍA	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
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

Categoría de Vehículos según la Dirección General de Caminos

- 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 cuatro o más ejes.

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.

1.1.1.2 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE VEHÍCULOS

De una manera general, los datos sobre volúmenes de vehículos son de mucha importancia ya que éstos se usan ampliamente en los siguientes campos:

1.1.1.2.1 Planeación

- Clasificación sistemática de redes de carreteras.
- Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito.
- Análisis económicos.

1.1.1.2.2 Proyecto

- Aplicación a normas de proyectos geométrico.
- Requerimientos de nuevas carreteras.
- Análisis estructural de superficie de rodamiento.

1.1.1.2.3 Ingeniería de tránsito

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades.
- Caracterización de flujos vehiculares.
- Necesidad de dispositivos par el control del tránsito.
- Zonificación de velocidades.

1.1.2 TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPDA) DEL PROYECTO.

1.1.2.1 LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES.

En vista del crecimiento anual de tránsito manifestado en los últimos años, la Sección de Estadística de la Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos, efectúa las mediciones del tránsito por medio de una serie de estaciones de conteo distribuidas en toda la red vial del país. Estas estaciones se ubican de acuerdo a la importancia económica de la ruta así como también la intersección de una carretera con otra. Para la CA-11, en los tramos bajo estudio, se cuenta con tres estaciones de conteo. Estas estaciones son las siguientes:

Estaciones Ubicadas en la Carretera Bajo Estudio

Estación	Tipo	Localización	Tramo
1101	Sumaria	Km 183.86	CA-10 Jocotan
1102	Sumaria	Km 213.24	Jocotan - El Florido
1006	Sumaria	Km 219.47	Entrada Quetzaltepec- Esquipulas

Para la mejor ubicación de las estaciones ver gráfica No. 1.2.

De acuerdo con la metodología utilizada por la Dirección General de Caminos, existen tres tipos de estaciones, tipo A, tipo B y tipo sumaria, de las cuales se realizan conteos de doce horas continuas en horarios de la 6:00 a la 18:00 horas una vez por año, de la manera siguiente:

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

Debido Principalmente a limitaciones presupuestarias, los conteos muchas veces no se efectúan todos los años, existiendo casos con dos o más años seguidos sin información.

En las tablas No. 1.1, No. 1.2 y No. 1.3 se presentan los resultados del análisis de los conteos realizados por la Dirección General de Caminos entre 1967 y 1995, en las tres estaciones indicadas. No obstante que estos presentan períodos de hasta dos años sin información, esto no dificulta su interpretación y análisis.

1.1.3 ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO

El pronostico del volumen de tránsito, en el mejoramiento de una carretera existente o en la construcción de una nueva carretera, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilice la nueva carretera.

Los volúmenes de tránsito futuro, para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual, y del incremento del tránsito, esperado al final del periodo o año meta seleccionado.

GRÁFICA No. 1.2
RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA
PROYECTO: CA-11
TRAMO: VADO HONDO - EL FLORIDO

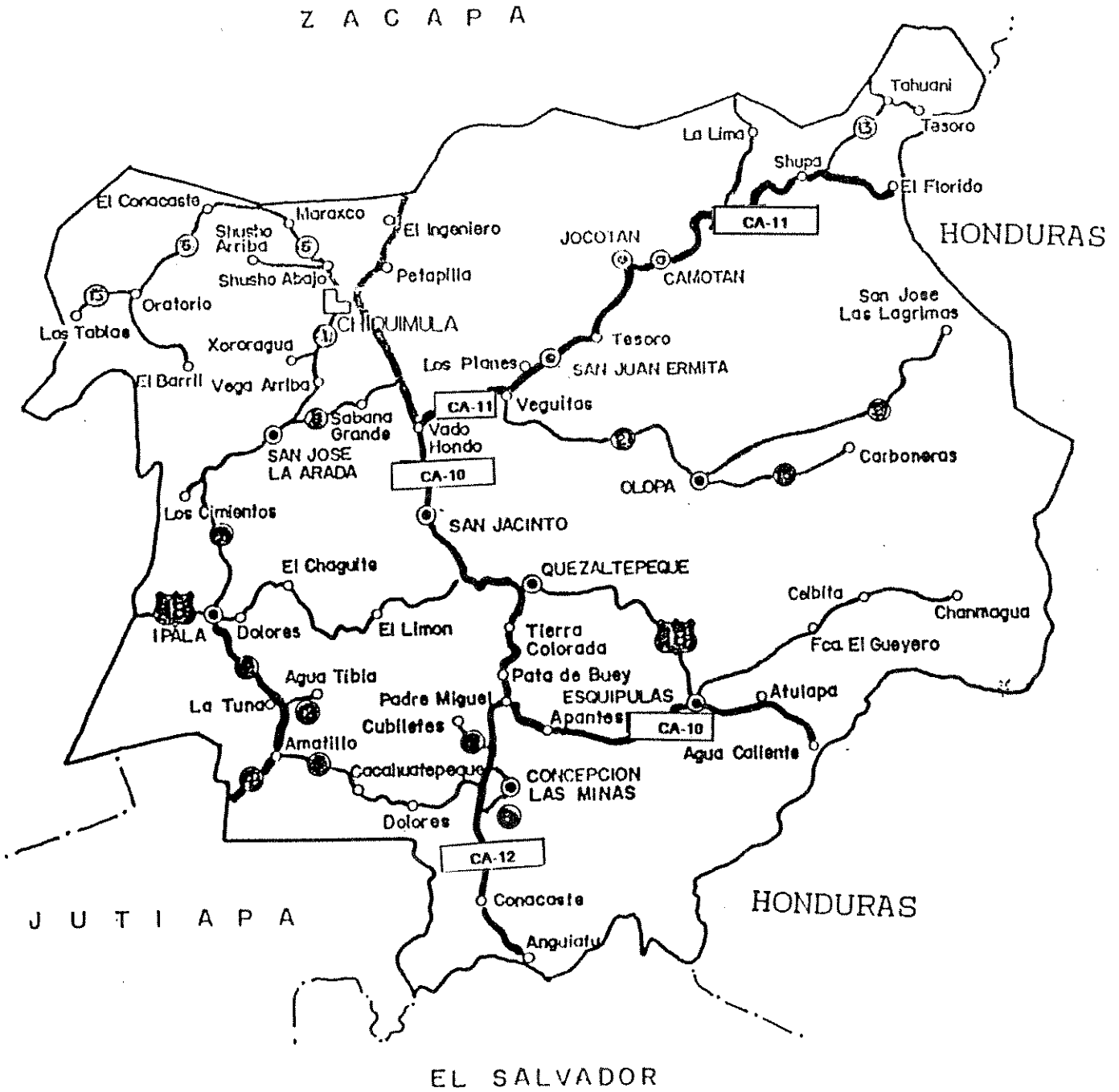


TABLA No. 1.1
HISTORIA DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL
ESTACIÓN 1101
RUTA: CA-11 KILÓMETRO: 183.86 (CA-10-JOCOTAN)

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1967	60	13	6	18	11	3	8	1	37	62.00
1968	109	24	35	19	15	4	11	1	45	41.00
1969	95	13	28	21	20	3	2	8	43	45.00
1970	138	15	37	59	12		15		86	62.00
1971	174	30	41	33	12	15	22	21	67	39.00
1972	130	19	26	37	23	5	15	5	75	58.00
1973	246	44	61	65	16	22	30	8	111	45.00
1974	167	35	47	25	18	7	21	14	64	38.00
1975	146	18	59	23	17	7	14	8	54	37.00
1976										
1977	195	30	66	37	19	8	16	19	72	37.00
1978	385	65	148	58	32	14	36	32	126	33.00
1979	425	84	142	47	42	13	51	46	140	33.00
1980	483	82	198	57	23	13	51	59	131	27.00
1981										
1982	299	29	124	52	25	9	21	39	98	33.00
1983	307	49	131	45	21		25	36	91	30.00
1984	313	42	126	68	22	4	23	28	113	36.00
1985	286	50	112	56	20	6	16	26	92	32.00
1986	345	70	120	51	42	10	22	30	115	33.00
1987										
1988										
1989	454	95	199	48	22	7	31	52	101	22.00
1990	437	87	198	48	21	11	32	40	101	23.00
1991	384	66	163	73	15	6	30	31	118	31.00
1992	467	59	232	87	14	8	29	38	130	28.00
1993	483	65	256	74	15	8	34	31	123	25.00
1994	458	66	255	61	19	17	39	1	119	26.00
1995	585	176	193	66	20	49	66	15	152	26.00

NOMENCLATURA

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 | Microbuses |
| 2 | Pick-ups. | 6 | Buses |
| 3 | Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 | Motos, Tractores, etc. |
| 4 | Camiones de 3 y más ejes (C-3). | | |

Nota: a partir de junio de 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 ejes (T3-S2).

TABLA No. 1.2
 HISTORIA DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL
 ESTACIÓN 1102
 RUTA: CA-11 KILÓMETRO: 213.24 (JOCOTAN-EL FLORIDO)

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1970	75	10	19	20	10	3	6	7	36	48.00
1971	109	8	24	28	24	4	14	7	66	61.00
1972	80	10	15	20	21	3	8	3	49	61.00
1973	93	12	26	21	16	5	11	2	48	52.00
1974	138	22	41	16	25	6	18	10	59	43.00
1975	155	13	57	25	28	4	19	9	72	46.00
1976	172	27	61	28	18	9	14	15	60	35.00
1977	68	4	28	14	1	5	6	10	21	31.00
1978	174	14	59	18	40	6	8	29	66	38.00
1979	232	17	64	44	64	9	16	18	124	53.00
1980	253	19	61	40	64	8	21	40	125	49.00
1981										
1982	354	37	108	101	22	6	21	59	144	41.00
1983	251	26	95	64	20	1	28	17	112	45.00
1984	228	29	94	46	22	4	17	16	85	37.00
1985	152	12	77	22	12	5	6	18	40	26.00
1986	169	21	86	22	21	7	8	4	51	30.00
1987										
1988										
1989										
1990										
1991	140	22	66	15	8	7	18	4	41	29.00
1992	205	18	98	31	5	9	20	24	56	27.00

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Motos, Tractores, etc. |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

Nota: a partir de junio de 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 ejes (T3-S2).

TABLA No. 13
HISTORIA DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL
ESTACIÓN 1006
RUTA: CA-10 KILÓMETRO: 219.47 (ENTRADA QUETZALTEPEQUE-ESQUIPULAS)

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1967	164	49	44	33		22	15	1	48	29.00
1968										
1969	272	97	58	44	2	18	35	18	81	30.00
1970	322	66	76	69	6	25	72	8	147	46.00
1971	299	76	74	58	2	30	58	1	118	39.00
1972	366	110	76	59	4	24	87	6	150	41.00
1973	495	142	123	113	1	15	86	15	200	40.00
1974	424	126	98	76	12	24	82	6	170	40.00
1975	417	98	143	56	12	16	77	15	145	35.00
1976										
1977	390	90	133	56	14	19	65	13	135	35.00
1978	584	170	182	49	28	36	100	19	177	30.00
1979	606	127	219	75	39	15	110	21	224	37.00
1980	723	140	252	90	41	35	141	24	272	38.00
1981	618	119	231	77	32	20	125	14	234	38.00
1982	515	109	157	83	35	27	85	19	203	39.00
1983	793	309	182	52	65	57	115	13	232	29.00
1984	628	112	228	76	57	22	100	33	233	37.00
1985	624	149	220	56	21	31	125	22	202	32.00
1986	712	214	225	66	19	46	122	20	207	29.00
1987	744	185	249	62	48	71	94	35	204	27.00
1988										
1989	788	189	285	47	24	112	100	31	171	22.00
1990	744	180	261	45	48	92	96	22	189	25.00
1991	917	208	353	58	42	138	94	24	194	21.00
1992	934	216	304	83	64	146	87	34	234	25.00
1993	952	244	288	79	46	190	83	22	208	22.00
1994	1016	280	344	86	2	182	74	48	162	16.00
1995	1270	313	461	98	3	250	74	71	175	14.00

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 Automoviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Motos, Tractores, etc. |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

Nota: a partir de junio de 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 ejes (T3-S2).

REPUBLICA DE GUATEMALA
 MINISTERIO DE LA DEFENSA Y FUERZAS ARMADAS
 ESTADÍSTICA CENTRAL

1.1.3.1 TRÁNSITO ACTUAL

Es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de quedar completamente en servicio. En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se compone del tránsito existente, antes de la mejora, más el tránsito atraído a ella de otras carreteras una vez finalizada su reconstrucción. En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito actual se compone completamente de tránsito atraído.

El tránsito actual, se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carretera, estudios de origen y destino, o utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. En áreas rurales cuando no se dispone de estudios de origen y destino, ni de datos de tipo económico, para estudios preliminares es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de tránsito promedio diario anual, representativos de cada año.

-Tránsito Atraído: Para la estimación de este tránsito se debe tener un conocimiento completo de las condiciones locales, de los orígenes y destinos vehiculares y del grado de atracción de todas las vialidades comprendidas. A su vez la cantidad de tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes, así por ejemplo, si están saturadas o congestionadas, la atracción será mucho más grande.

1.1.3.2 INCREMENTO DEL TRÁNSITO

Es el volumen de tránsito que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como año de proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito, del tránsito generado y del tránsito desarrollado.

-El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando.

-El tránsito generado consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye la nueva carretera. El tránsito generado se compone de tres categorías: El tránsito inducido, o nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte; el tránsito convertido, o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi o autobús, y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares; y el tránsito trasladado, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso del suelo.

De acuerdo a estudios estadísticos al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un período de generación de uno a dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

-El tránsito desarrollado, es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. Se considera como tránsito desarrollado, con valores del orden del 5% del tránsito actual.

Con el fin de establecer la magnitud y las condiciones del tránsito actual, que servirán de base para las predicciones del tránsito futuro, se realizará un estudio de extrapolación, de acuerdo al historial de tránsito, por medio de un análisis de regresión. De acuerdo a los resultados obtenidos se podrá proyectar el tránsito para el año de 1996 que servirá de base para poder establecer el tránsito actual, así como también obtener tasas de crecimiento para predecir el tránsito futuro.

Los resultados del análisis de regresión para las tres estaciones de conteo, se presentan en las tablas No. 1.4, No. 1.5 y No. 1.6 respectivamente.

**Tabla No. 1.4 Resultado del Análisis de Regresión
Estación 1101**

Variables de Regresión	TIPO DE VEHICULO						
	1	2	3	4	5	6	7
Constante	10.404	4.564	26.084	18.182	5.330	11.682	11.530
R Cuadrado	0.5518	0.8315	0.5219	0.0546	0.114	0.367	0.238
No. de observaciones	29	29	29	29	29	29	29
Coefficiente X	2.9754	7.850	1.509	0.218	0.339	0.980	0.953
Promedio	55.034	122.310	48.724	21.448	10.414	26.379	25.828
CoefX/TPProm.	0.054	0.064	0.031	0.010	0.033	0.037	0.037

**Tabla No. 1.5 Resultados del Análisis de Regresión
Estación 1102**

Variables de Regresión	TIPO DE VEHICULO						
	1	2	3	4	5	6	7
Constante	12.443	26.688	29.755	29.304	4.265	12.178	14.794
R Cuadrado	0.224	0.605	0.002	0.052	0.199	0.050	0.8E-3
No. de Observaciones	23	23	23	23	23	23	23
Coefficiente X	0.546	3.095	0.136	-0.544	0.137	0.203	0.064
Promedio	19.000	63.826	31.391	22.783	5.913	14.609	15.565
CoefX/TPProm	0.029	0.048	0.004	-0.024	0.023	0.014	0.004

**Tabla No. 1.6 Resultados del Análisis de Regresión
Estación 1006**

Variables de Regresión	TIPO DE VEHICULO						
	1	2	3	4	5	6	7
Constante	50.234	25.608	54.975	14.820	-28.239	60.815	1.108
R Cuadrado	0.686	0.8925	0.101	0.130	0.6565	0.248	0.616
No. de observaciones	29	29	29	29	29	29	29
Coefficiente X	6.932	11.447	0.694	0.842	6.004	1.681	1.333
Promedio	154.207	197.310	65.379	24.966	61.828	86.034	21.103
CoeffX/TPProm.	0.045	0.058	0.011	0.034	0.097	0.02	0.063

- Notas: 1. La modificación de la clasificación de los vehículos Tipo IV y VII, hecha en 1994, no fue tomada en cuenta para el Análisis de Regresión.
 2. $Y=a+bx$; Ecuación utilizada para proyectar el tránsito, donde a=Constante, b= Coeficiente X
 3. Tasa crecimiento=CoeffX/TPProm.
 4. Para los años en donde no se realizaron conteos de tránsito tomar el promedio de la suma del valor anterior y posterior al año en estudio. Ej. para la est. 1101 el tránsito para el año de 1976 será: $(146+195)/2=171$.

De los resultados obtenidos en el análisis anterior, en base al historial de tránsito, se estableció el tránsito para el año 1996, de las tres estaciones de conteo. Los resultados correspondientes se muestran en el tabla No. 1.7, a continuación.

Tabla No. 1.7 Tránsito Proyectado para el año de 1996

Estación	No. de de Vehículo según categoría							TPDA
	1	2	3	4	5	6	7	
1101	97	232	70	25	16	40	12	492
1102	29	116	34	14	8	72	17	290
1006	251	358	75	39	146	110	40	1,019

NOMENCLATURA:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1 AUTOMÓVILES, PANELES Y JEEPS | 5 MICROBUSES |
| 2 PICK-UPS | 6 BUSES |
| 3 CAMIONES DE DOS EJES | 7 CAMIONES DE 4 EJES O MÁS |
| 4 CAMIONES DE 3 EJES | |

1.1.4 ESTACIONALIDAD DEL TRÁNSITO

Los resultados del tránsito realizados anteriormente constituyen la base para fines de proyección del tránsito normal. Sin embargo, dado que los mismos fueron realizados por un método de extrapolación, es necesario evaluar las variaciones estacionales del tránsito. A través de este procedimiento se pretende corregir los valores obtenidos, asegurándose 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 Puerto Barrios (Km. 298.51 Ruta CA-9 Norte), ubicada sobre la misma carretera en estudio.

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 las categorías de transporte de pasajeros. Los índices de estacionalidad así determinados se resumen en forma tabular en el cuadro No. 1.8 a continuación.

Tabla No. 1.8 Integración del Factor de Estacionalidad del Tránsito

A. Distribución mensual del volumen de tránsito pesado de la Estación de Control de Puerto Barrios.

Año	Enero	Febre.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septie.	Octub.	Novie.	Diciem.	Total
1993	4,675	4,107	5,132	3,275	5,043	4,712	4,992	3,351	4,580	4,322	5,030	3,315	52,534
1994	3,34	3,043			3,688	3,519	3,992	3,120	3,576	3,560	3,672	4,335	36,339
1995	4,219	4,899	4,525	3,337	4,540	4,075	4,075	3,924	3,089	3,029	3,602	3,133	46,447
Total	12,728	12,049	9,657	6,612	13,271	12,306	13,059	10,395	11,245	10,911	12,304	10,783	135,320

Nota: Durante los meses de Marzo y Abril no se realizó el control del tránsito pesado.

B. Distribución porcentual del tránsito pesado mensual y Factor de Corrección por estacionalidad.

Año	Enero	Febre.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septie.	Octub.	Novie.	Diciem.	Prom.
1993	8.9	7.82	9.77	6.23	9.60	8.97	9.50	6.38	8.72	8.23	9.57	6.31	8.33
1994	8.9	7.07			8.56	8.17	9.26	7.24	8.30	8.27	8.53	10.06	8.33
1995	9.08	10.55	9.74	7.18	9.77	8.77	8.77	8.45	6.65	6.52	7.76	6.75	8.33
Prom.	8.96	8.48	9.76	6.71	9.31	8.64	9.18	7.36	7.89	7.67	8.62	7.71	8.33
Factor	0.93	0.98	0.85	1.24	0.89	0.96	0.91	1.13	1.06	1.09	0.97	1.08	1.00

Notas: Los porcentajes para el año de 1994 fueron ajustados por no contar con datos para los meses de Marzo y Abril.

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

El TPDM expresado porcentualmente con respecto al TPDA es: $(TPDM/TPDA) \cdot 100$. El factor de corrección es igual a:

$F_c = \text{Promedio Total/Promedio Mensual}$.

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa y a fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes. De acuerdo a lo anterior para fines de diseño se tomara el factor de corrección correspondiente al mes de abril siendo este de 1.24.

El factor establecido para la estacionalidad debe aplicarse a los valores del TPDA obtenidos en la proyección para el tránsito base, siendo éste para el año de 1996, eliminando así cualquier distorsión estacional y llegar a datos de tránsito promedio representativos para todo el año. Estos resultados se presentan en tabla No.1.9 a continuación.

**Tabla No. 1.9 Tránsito para las tres estaciones del Proyecto
Corregido por Estacionalidad para el año de 1996**

Estación	No Vehículos Según Categoría							Todas las Categorías	% Vehículos Pasados
	1	2	3	4	5	6	7		
1101	120	288	87	31	20	50	15	611	29.95
1102	36	144	42	17	10	89	21	359	47.08
1006	311	444	93	48	481	136	50	1563	20.92

1.1.5 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 el período de diseño. En este sentido, es 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%). Por otra parte, ante las incertidumbres relacionadas con una eventual apertura del mercado de libre comercio con los países de Honduras y el Salvador; y siendo esta ruta de importancia turística (Esta ruta permitirá el acceso al sitio arqueológico de Copán), se pudiera dar 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 considera una tasa máxima de 3.0% y una tasa mínima de 2.0% y para categorías 3, 4 y 7 (transporte de carga), se utilizó una tasa máxima de 5.0% y una tasa mínima de 3.0%. De esta manera se establecieron las tasas de crecimiento a utilizar para la proyección del tránsito que se muestran en el cuadro No. 1.10 a continuación.

Tabla No. 1.10 Tasas de Crecimiento por Análisis de Regresión del Tránsito Histórico

A. Tasas Establecidas por Análisis de Regresión

Estación	Tipo de Vehículo						
	1	2	3	4	5	6	7
1101	5.4	6.4	3.1	1.0	3.3	3.7	3.7
1102	2.9	4.8	0.40	2.4	2.3	1.4	0.4
1006	4.9	5.8	1.1	3.4	3.4	2.0	6.3

Valores Extremos Recomendados

Tasa Máxima	3.00	3.00	5.00	5.00	3.00	3.00	5.00
Tasa Mínima	2.00	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00

B. Tasas de Crecimiento del Tránsito Adoptadas

Estación	Tipo de Vehículo						
	1	2	3	4	5	6	7
1101	3.0	3.0	3.1	3.4	3.0	3.0	3.0
1102	2.9	3.0	3.0	3.0	2.3	2.0	3.0
1006	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	3.4

Nota: Para la categoría VII, se adoptó las tasas de crecimiento de la categoría ya que los datos históricos no corresponden a esta categoría.

De esta manera, el tránsito normal queda determinado en base a los conteos de tránsito de las estaciones 1101 y 1102 (Ver tabla No. 1.11, No. 1.12 y No. 1.13). Para el tránsito atraído se ha considerado que el 20% del TPDA que registra la estación 1006 será la que utilizara la ruta en estudio, asumiendo que se dirigen a la misma zona, lo cual reducirá el tiempo y los costos de operación vehicular (Ver tabla No. 1.14). Para determinar el tránsito Generado, se asumió que el 25% del tránsito normal se deriva por el efecto del desarrollo de la zona de influencia, y que, una ruta en buenas condiciones los costos de operación vehicular son bajos (Ver tabla No. 1.15).

1.1.6 TRÁNSITO TOTAL PROYECTADO

La demanda del tránsito total del proyecto se obtuvo sumando el tránsito normal, el tránsito atraído y el tránsito generado (Ver tabla No. 1.16).

Las proyecciones de tránsito se hacen, por lo general a 20 años futuro ya que se considera este número de años el periodo de diseño de un pavimento.

TABLA No. 1.11
 PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO NORMAL, ESTACIÓN 1101
 ESTACIÓN TIPO SUMARIA

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	611	120	288	87	31	20	50	15	183	30.00
1997	629	124	297	90	32	21	52	15	189	30.00
1998	648	127	306	92	33	21	53	16	194	30.00
1999	668	131	315	95	34	22	55	16	200	30.00
2000	688	135	324	98	35	23	56	17	206	30.00
2001	709	139	334	101	36	23	58	17	213	30.00
2002	730	143	344	105	37	24	60	18	219	30.00
2003	752	148	354	108	38	25	62	18	226	30.00
2004	775	152	365	111	39	25	63	19	233	30.00
2005	798	157	376	115	40	26	65	20	240	30.00
2006	822	161	387	118	42	27	67	20	247	30.00
2007	847	166	399	122	43	28	69	21	255	30.00
2008	873	171	411	126	44	29	71	21	262	30.00
2009	899	176	423	129	46	29	73	22	270	30.00
2010	926	182	436	133	47	30	76	23	279	30.00
2011	954	187	449	138	48	31	78	23	287	30.00
2012	983	193	462	142	50	32	80	24	296	30.00
2013	1012	198	476	146	51	33	83	25	305	30.00
2014	1043	204	490	151	53	34	85	26	314	30.00
2015	1074	210	505	155	54	35	88	26	324	30.00
2016	1107	217	520	160	56	36	90	27	334	30.00
2017	1140	223	536	165	58	37	93	28	344	30.00
2018	1174	230	552	170	59	38	96	29	354	30.00
TASA %		3.00	3.00	3.10	3.00	3.00	3.00	3.00		

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

TABLA No. 1.12
 PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO NORMAL, ESTACIÓN 1102
 ESTACIÓN TIPO SUMARIA

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	359	36	144	42	17	10	89	21	169	47.00
1997	369	37	148	43	18	10	91	22	173	47.00
1998	379	38	153	45	18	10	93	22	177	47.00
1999	389	39	157	46	19	11	94	23	182	47.00
2000	400	40	162	47	19	11	96	24	186	47.00
2001	411	42	167	49	20	11	98	24	191	47.00
2002	422	43	172	50	20	11	100	25	196	46.00
2003	433	44	177	52	21	12	102	26	201	46.00
2004	445	45	182	53	22	12	104	27	206	46.00
2005	457	47	188	55	22	12	106	27	211	46.00
2006	470	48	194	56	23	13	109	28	216	46.00
2007	483	49	199	58	24	13	111	29	221	46.00
2008	496	51	205	60	24	13	113	30	227	46.00
2009	510	52	211	62	25	13	115	31	233	46.00
2010	524	54	218	64	26	14	117	32	238	46.00
2011	538	55	224	65	27	14	120	33	244	45.00
2012	553	57	231	67	27	14	122	34	251	45.00
2013	568	59	238	69	28	15	125	35	257	45.00
2014	584	60	245	72	29	15	127	36	263	45.00
2015	600	62	252	74	30	15	130	37	270	45.00
2016	616	64	260	76	31	16	132	38	277	45.00
2017	633	66	268	78	32	16	135	39	284	45.00
2018	651	68	276	80	33	17	138	40	291	45.00
TASA %		2.90	3.00	3.00	3.00	2.30	2.00	3.00		

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

TABLA No. 1.13
TOTAL PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO NORMAL
ESTACIÓN TIPO SUMARIA

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	970	156	432	129	48	30	139	36	352	36.00
1997	998	161	445	133	49	31	142	37	362	36.00
1998	1027	165	458	137	51	32	146	38	372	36.00
1999	1057	170	472	141	52	33	149	39	382	36.00
2000	1088	175	486	146	54	33	153	41	393	36.00
2001	1120	181	501	150	56	34	156	42	404	36.00
2002	1152	186	516	155	57	35	160	43	415	36.00
2003	1186	192	531	159	59	36	164	44	426	36.00
2004	1220	197	547	164	61	37	168	46	438	36.00
2005	1256	203	564	169	63	38	172	47	451	36.00
2006	1292	209	581	175	65	39	176	48	463	36.00
2007	1330	215	598	180	66	41	180	50	476	36.00
2008	1369	222	616	185	68	42	184	51	489	36.00
2009	1409	228	634	191	71	43	189	53	503	36.00
2010	1450	235	653	197	73	44	193	54	517	36.00
2011	1492	242	673	203	75	45	198	56	532	36.00
2012	1536	249	693	209	77	47	202	58	546	36.00
2013	1581	257	714	216	79	48	207	59	562	36.00
2014	1627	265	735	222	82	49	212	61	578	36.00
2015	1674	272	758	229	84	51	217	63	594	35.00
2016	1723	281	780	236	87	52	223	65	610	35.00
2017	1773	289	804	243	89	53	228	67	628	35.00
2018	1825	297	828	251	92	55	233	69	645	35.00

Nota: La proyección total del tránsito normal = suma de las estaciones 1101 y 1102

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

TABLA No. 1.14
 PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO ATRAÍDO, 20% DE LA ESTACIÓN 1006
 ESTACIÓN TIPO SUMARIA

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	313	62	89	19	10	96	27	10	66	21.00
1997	322	64	92	20	10	99	28	10	68	21.00
1998	332	66	94	20	11	102	28	11	70	21.00
1999	341	68	97	21	11	105	29	11	72	21.00
2000	351	70	100	21	11	108	29	11	73	21.00
2001	362	72	103	22	12	111	30	12	75	21.00
2002	372	74	106	23	12	115	30	12	78	21.00
2003	383	76	109	23	13	118	31	13	80	21.00
2004	395	79	113	24	13	122	32	13	82	21.00
2005	406	81	116	25	14	125	32	14	84	21.00
2006	418	83	120	26	14	129	33	14	86	21.00
2007	431	86	123	26	14	133	34	14	89	21.00
2008	443	88	127	27	15	137	34	15	91	21.00
2009	456	91	131	28	15	141	35	15	94	21.00
2010	470	94	135	29	16	145	36	16	96	20.00
2011	484	97	139	30	17	150	36	17	99	20.00
2012	498	99	143	30	17	154	37	17	102	20.00
2013	513	102	147	31	18	159	38	18	104	20.00
2014	528	106	152	32	18	163	39	18	107	20.00
2015	543	109	156	33	19	168	39	19	110	20.00
2016	560	112	161	34	20	173	40	20	113	20.00
2017	576	115	166	35	20	179	41	20	117	20.00
2018	593	119	171	36	21	184	42	21	120	20.00
TASA %		3.00	3.00	3.00	3.40	3.00	2.00	3.40		

NOMENCLATURA

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 Microbuses |
| 2 Pick-ups. | 6 Buses |
| 3 Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 Camiones de 3 y más ejes (C-3). | |

TABLA No. 1.15
PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO GENERADO, 25% DEL TRÁNSITO NORMAL
ESTACIÓN TIPO SUMARIA

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	243	39	108	32	12	8	35	9	88	36.00
1997	250	40	111	33	12	8	36	9	90	36.00
1998	257	41	115	34	13	8	36	10	93	36.00
1999	264	43	118	35	13	8	37	10	96	36.00
2000	272	44	122	36	14	8	38	10	98	36.00
2001	280	45	125	38	14	9	39	10	101	36.00
2002	288	47	129	39	14	9	40	11	104	36.00
2003	296	48	133	40	15	9	41	11	107	36.00
2004	305	49	137	41	15	9	42	11	110	36.00
2005	314	51	141	42	16	10	43	12	113	36.00
2006	323	52	145	44	16	10	44	12	116	36.00
2007	333	54	150	45	17	10	45	12	119	36.00
2008	342	55	154	46	17	10	46	13	122	36.00
2009	352	57	159	48	18	11	47	13	126	36.00
2010	362	59	163	49	18	11	48	14	129	36.00
2011	373	61	168	51	19	11	49	14	133	36.00
2012	384	62	173	52	19	12	51	14	137	36.00
2013	395	64	179	54	20	12	52	15	140	36.00
2014	407	66	184	56	20	12	53	15	144	36.00
2015	419	68	189	57	21	13	54	16	148	35.00
2016	431	70	195	59	22	13	56	16	153	35.00
2017	443	72	201	61	22	13	57	17	157	35.00
2018	456	74	207	63	23	14	58	17	161	35.00

NOMENCLATURA

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 | Microbuses |
| 2 | Pick-ups. | 6 | Buses |
| 3 | Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 | Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 | Camiones de 3 y más ejes (C-3). | | |

TABLA No. 1.16
 PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO TOTAL: NORMAL, ATRAÍDO Y GENERADO

AÑO	TPDA	TIPO DE VEHÍCULOS							VEHÍCULOS PESADOS	
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%
1996	1526	257	629	180	70	134	201	55	506	33.00
1997	1570	265	648	186	72	137	205	57	520	33.00
1998	1616	273	667	191	74	141	210	58	534	33.00
1999	1663	281	687	197	77	146	215	60	549	33.00
2000	1711	289	708	203	79	150	220	62	564	33.00
2001	1761	298	729	210	81	154	225	64	580	33.00
2002	1813	307	751	216	84	159	230	66	596	33.00
2003	1866	316	774	223	86	164	236	68	613	33.00
2004	1920	325	797	229	89	168	241	70	630	33.00
2005	1976	335	821	236	92	173	247	72	647	33.00
2006	2034	345	845	244	95	178	253	74	665	33.00
2007	2093	355	871	251	98	184	258	77	684	33.00
2008	2154	366	897	259	101	189	264	79	703	33.00
2009	2217	377	924	267	104	195	271	82	723	33.00
2010	2282	388	951	275	107	200	277	84	743	33.00
2011	2349	399	980	283	110	206	283	87	763	33.00
2012	2418	411	1009	292	113	212	290	89	785	32.00
2013	2488	424	1040	301	117	218	297	92	807	32.00
2014	2561	436	1071	310	120	225	304	95	829	32.00
2015	2636	449	1103	320	124	232	311	98	853	32.00
2016	2713	463	1136	329	128	238	318	101	876	32.00
2017	2793	476	1170	339	132	245	326	104	901	32.00
2018	2875	491	1205	350	136	253	334	107	926	32.00

NOMENCLATURA

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | Automóviles, Paneles y Jeeps. | 5 | Microbuses |
| 2 | Pick-ups. | 6 | Buses |
| 3 | Camiones de 2 ejes (C-2) | 7 | Camiones de 4 Ejes o más |
| 4 | Camiones de 3 y más ejes (C-3). | | |

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 BIBLIOTECA CENTRAL

CAPÍTULO No. 2

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN EL PROYECTO

2.1 GENERALIDADES

Como en todo proceso ingenieril entran en juego diversos elementos que forman parte de un proceso de cálculo, tales como cargas, esfuerzos, deformaciones, etc.

En el diseño de un pavimento igual es el proceso, ya que hay que recordar que éste va a recibir las cargas debidas a los vehículos y al mismo tiempo va a transmitir esfuerzos originados por esas cargas.

Los diferentes elementos que integran su estructura estarán formados por distintos materiales cada una de las cuales tienen distintas propiedades y por consiguiente comportamientos diferentes. Dichas propiedades y comportamientos se podrán conocer única y exclusivamente a través de un estudio de suelos, ya que éstos no pueden ser ajenos a las etapas del proyecto.

En la construcción de carreteras, para economizar recursos, es esencial proyectar basándose en el conocimiento de las propiedades de los suelos encontrados en el lugar donde éstas se construirán.

En este capítulo se mencionan y definen los métodos y sistemas usados para determinar las propiedades de las distintas capas estructurales que conformarán el pavimento a construir.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la Mecánica de Suelos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas, cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad.

Como se noto en el párrafo anterior las características físicas de los suelos son de suma importancia, pues en ellos los suelos basan su comportamiento y, en consecuencia, determinan su uso; entre las más importantes características físicas se encuentran las siguientes:

a) TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTÍCULAS

Lo determinan las clase de minerales que entran en su composición. Por lo general la clasificación de los suelos se basa en el tamaño de sus partículas habiendo una gran variedad de clasificaciones: entre ellas, se tomaran las siguientes:

- Piedras pequeñas: partículas mayores de 76 mm.
- Gravas gruesas: comprendidas entre 76 mm. y 25 mm.
- Gravas medianas: entre 25 y 10 mm.
- Gravas finas: entre 10 y 2 mm.
- Arenas medianas: entre 0.6 y 0.25 mm.
- Arenas finas: entre 0.25 y 0.07 mm.
- Limos: entre 0.07 y 0.005 mm.
- Arcillas: partículas menores de 0.005 mm.

b) PESO ESPECIFICO

El peso específico de un material es la relación que existe entre el peso de los sólidos del material y el volumen de agua que dichos sólidos desalojan

c) ESTRUCTURA

La estructura del suelo es la distribución y orden de las partes de un cuerpo. Para el estudio que ocupa se debe distinguir tres tipos de estructuras: granular, apanalada y floculenta.

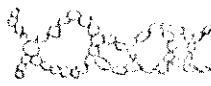
La estructura granular es propia de los suelos integrados por recios granos, aunque presente diferente magnitud, sin ningún otro enlace más que el que les proporciona la gravedad para que cada partícula individual descansa en los puntos de contacto con las partículas vecinas. La estructura granular es 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 arcillas depositadas en agua. Ver gráfica No. 4.1

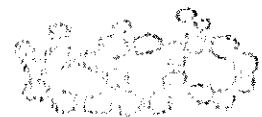
Gráfica No. 4.1



Estructura Granular



Estructura Apanalada



Estructura Floculenta

En general la estructura de un suelo es determinante en su comportamiento, sobre todo cuando se trata de arcillas, ya que éstas bajo la acción de fuerzas exteriores pueden modificar su estructura y alterar su volumen de vacíos, resultando todo lo anterior en una reducción de la estabilidad del suelo. El efecto de estas alteraciones tiene menos importancia en el caso de los limos y las arenas.

d) DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES PARTÍCULAS

De las distribución de las diferentes partículas que componen un suelo, tales como piedras, gravas , arenas, limo y arcilla, dependen del mayor o menor volumen de vacíos del suelo. El procedimiento para determinar los diferentes porcentajes de material granular y fino que contiene un suelo se denomina: "análisis granulométrico". Para el conocimiento de la composición granulométrico de un determinado suelo existen diferente procedimientos. Para la clasificación por tamaños de las partículas gruesas el procedimiento más expedito 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 a procedimientos por sedimentación.

e) CONTENIDO DE HUMEDAD

Uno de los ensayos más comúnmente realizados en los suelos es la determinación de su contenido de humedad, que se define por la relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca.

f) POROSIDAD Y CONTENIDO DE VACÍOS

Además de las partículas sólidas, los suelos contienen un porcentaje de vacíos que pueden estar llenos de aire y/o de agua. El volumen total de una masa esta formada así:

$$\begin{aligned} \text{Volumen total} &= \text{Volumen de partículas} + \text{Volumen de vacíos} \\ & \qquad \qquad \qquad V_s \qquad \qquad \qquad V_v \\ \text{Volumen de vacíos} &= \text{Volumen de agua} + \text{Volumen de aire} \\ & \qquad \qquad \qquad V_w \qquad \qquad \qquad V_a \end{aligned}$$

o sea que:

$$V_t = V_s + V_w + V_a$$

en el caso de suelos saturados, el volumen de aire es cero.
La porosidad se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Porosidad(\%)} = 100 \times (V_v/V) = (100 \times \text{Volumen de vacíos}) / \text{Volumen Total}$$

g) DUREZA O PORCENTAJE DE DESGASTE

Es muy importante conocer la forma cómo se comportarán los agregados bajo la acción del tráfico, por lo que las rocas trituradas, las gravas naturales y las gravas trituradas, deben someterse a una prueba de resistencia al desgaste. Esta prueba se realiza con el equipo denominado "Máquina de desgaste de los Ángeles" y los siguientes complementos: un juego de tamices de abertura cuadrada de 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8 y No. 12; un horno de 105 grados centígrados y una balanza.

h) PERMEABILIDAD

A la propiedad que tiene un suelo de permitir el paso del agua por sus poros se le llama permeabilidad. Los vacíos forman en el suelo un sinnúmero de tubitos de distribución, tamaño y forma muy compleja, que determinan las siguientes propiedades:

-Suelos permeables: Son aquellos que prácticamente no retienen el agua, facilitando su drenaje. Generalmente se trata de suelos granulares como las gravas, arenas y limo usados en la construcción de sub-bases y bases de pavimentos.

-Suelos impermeables: Son aquellos que prácticamente no permiten el drenaje o escurrimiento del agua, o si lo permiten lo hacen de una manera lenta, Generalmente son suelos arcillosos, usados en rellenos, hasta la altura de la sub-rasante. En los suelos impermeables los asentamientos son generalmente grandes, peligrosos y difíciles de controlar, debido al alto grado de saturación que alcanzan.

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 los suelos de granulometría fina como limos, limos arcillosos y arcillas, el número de tubitos capilares es muy grande y de diámetro reducido; en consecuencia, la altura del agua capilar es bastante superior a la de los suelos de granulometrías mayor, como las gravas naturales, gravas trituradas y arenas, en las que la altura del agua capilar es prácticamente nula.

En la construcción o mantenimiento de carreteras esta condición de los suelos es necesaria tomarla muy en cuenta, particularmente cuando se realizan obras de pavimentación, ya que un gran porcentaje de los suelos en Centroamérica, están formados por arcillas o limos arcillosos. Cuando esta situación se presente en la sub-rasante es necesario tomar las precauciones del caso, ya sea construyendo sub-bases y bases granulares, mejorando la sub-rasante, cambiando o mezclando los materiales o construyendo sub-drenajes adecuados que bajen la altura del agua capilar.

En los pavimentos construidos sobre sub-rasantes arcillosas y donde el agua capilar es excesiva por razones naturales -intensas lluvias, nivel freático natural-, los pavimentos fallan porque la sub-base y la base son contaminadas con la arcilla que sube de la sub-rasante, tanto por capilaridad como por la acción de bombeo que produce el paso de los vehículos por la carretera.

2.1.2 CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO

La carga admisible de una cimentación es aquella que puede ser aplicada sin producir desperfectos en la estructura soportada, teniendo además, un margen de seguridad dado por el llamado coeficiente de seguridad adoptado. La carga admisible no depende únicamente del terreno, sino también de la cimentación, característica de la estructura y del coeficiente de seguridad que se adopte en cada caso.

Por experiencias y observaciones relativas al comportamiento de las cimentaciones se ha visto que la falla por capacidad de carga de las mismas ocurre como producto de una rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación. Son tres los tipos clásicos de falla bajo las cimentaciones:

-Falla por corte general. Se tiene en arenas densas y arcillas rígidas. Esta falla se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que inicia en el borde de la cimentación y que avanza hasta las superficie del terreno.

-Falla por punzonamiento: Esta se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella.

-Falla por corte local: Se tiene en arenas medias y flojas y arcillas suaves. Esta falla representa una transición entre las dos anteriores, pues tiene características tanto del tipo de falla por corte general como del punzonamiento.

2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

Los ensayos de suelos están muy asociados con los proyectos de carreteras. Un buen programa de estudio de suelos deberá abarcar:

- a) Toma de muestras de materiales representativos;
- b) realización de los ensayos respectivos; y,
- c) proveer los datos obtenidos para el proyecto.

Es importante identificar los suelos, porque se logrará mucho si los materiales están adecuadamente identificados desde el principio.

La persona encargada del estudio; decidirá los tipos de suelos de los que han de tomarse muestras, su número, cómo y cuándo han de ser tomadas.

Los procedimientos de ensayo se hacen para la clasificación general de los suelos, para el control de la construcción y para determinar la resistencia del suelo. Los ensayos generales, se usan para identificar suelos de modo que puedan ser descritos y clasificados, adecuadamente. Estos ensayos son: ensayo de peso específico, análisis granulométrico 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 cumplan

las condiciones impuestas en el proyecto, éstos son: ensayo del contenido de humedad y ensayo del peso unitario o densidad unitaria (Proctor). 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 ensayo de la capacidad del valor soporte del suelo (CBR).

2.2.1 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad o contenido de agua de una muestra de suelo, es la relación del peso del agua contenida en la muestra, al peso de la muestra ya seca, expresada como tanto por ciento.

Un óptimo contenido de humedad en el suelo es muy importante para conseguir la máxima compactación. La cantidad apropiada de agua es necesaria para que las partículas se deslicen entre sí. En efecto, el agua actúa como un lubricante. Si hay demasiada agua en el suelo, el agua tomará el espacio entre las partículas y no les permita que se adhieran.

2.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El conocimiento de la composición 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 porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

2.2.3 ENSAYOS DE CONSISTENCIA

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los mencionados límites son: Límite Líquido (L.L), Límite Plástico (L.P) y Límite de Contracción (L.C), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pasa la malla No.40. La diferencia entre los valores del límite líquido y del límite plástico da el llamado Índice Plástico (I.P) 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. Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que es no plástico (N.P), y en este caso el índice plástico se dice que es igual a cero.

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

2.2.3.1 LÍMITE LÍQUIDO (L.L)

Es el contenido de humedad expresado en porciento con respecto al peso seco de la muestra, en 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/cm^2 . La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

2.2.3.2 LÍMITE PLÁSTICO (L.P)

Se define como el contenido de humedad, expresado en porciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de una estado semisólido a un estado plástico.

2.2.3.3 LÍMITE DE CONTRACCIÓN (L.C)

El límite de contracción de un suelo se define como el porciento de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con la cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. La diferencia entre el límite plástico y el límite de contracción se llama índice de contracción (I.C) y señala el rango de humedad para el cual el suelo tiene una consistencia semisólida.

2.2.3.4 ÍNDICE PLÁSTICO (I.P)

Se denomina índice plástico a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

2.2.4 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD (PROCTOR)

El proceso de compactación se refiere al acto de incrementar mecánicamente la densidad del suelo o peso unitario. En este proceso, las partículas del suelo son movilizadas y reacomodadas para que estén más cerca entre sí, y el aire que ha estado atrapado entre ellas es forzado hacia afuera.

Este incremento en la densidad del suelo aumenta la posibilidad del mismo para soportar una carga y reduce la posibilidad de deformación del suelo. Esto es particularmente importante cuando el relleno está ubicado en un lugar tal como una carretera, vereda, o piso, y luego pavimentado encima con concreto o asfalto. Bajo estas condiciones, el relleno no compactado que originalmente soportaba la carga se deforma lentamente, causando un hueco y permitiendo que la superficie se desintegre poco a poco.

El límite de compactación de un suelo depende de tres factores importantes:

- El tipo de suelo.
- El contenido de humedad del suelo a compactar y
- El tipo de esfuerzo de compactación requerido, es decir, de prensa de pisón o vibración.

Para poder determinar la compactación de un suelo se recurre al ensayo de laboratorio llamado Prueba de Proctor. Ésta se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto:

- Determinar el Peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima a la que deberá hacerse la compactación.
- Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo obtenido del Proctor.

En todos los suelos, al incrementarse su humedad se aplica un medio lubricante entre sus partículas que permite un cierto acomodo de éstas cuando se sujetan a un esfuerzo de compactación. Si se sigue incrementando la humedad empleando el mismo esfuerzo de compactación, se llega a obtener el mejor acomodo de las partículas del suelo, y por consecuencia el mayor peso volumétrico seco, con cierta humedad llamado humedad óptima. A esta humedad deberá procurarse siempre efectuar la compactación en el camino, ya que facilita el acomodo de las partículas con el menor trabajo del equipo de compactación.

2.2.5 VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL SUELO (C.B.R)

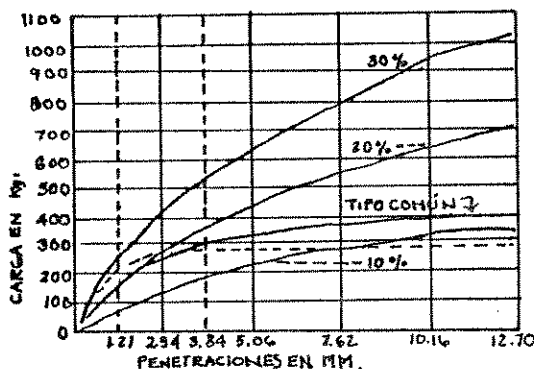
El valor relativo de soporte de un suelo (C.B.R.) es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante con condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra de tipo piedra triturada. Por lo tanto si P_2 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 piedra triturada, el Valor Relativo de Soporte del suelo vale.

$$C.B.R = (P_2/P_x) * 100 = (P_2/1,360) * 100$$

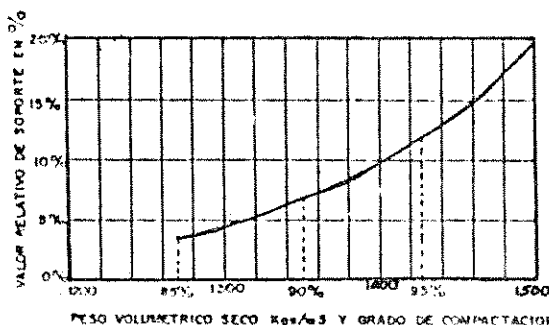
La carga registrada para la penetración de 2.54 mm (0.10") del inicio anterior se debe expresar como un porcentaje de las carga estándar de 1,360 kg y si la prueba estuvo bien ejecutada, por el porcentaje así obtenido es el Valor Relativo de Soporte Normal (C.B.R) correspondiente a la muestra ensayada.

Con el fin de saber si la prueba estuvo bien ejecutada se dibuja la curva carga-penetración, anotando en las abscisas las penetraciones y en las ordenadas las cargas registradas para cada una de dichas penetraciones. Si esta curva es defectuosa, como la mostrada en la gráfica No. 4.1, es debido probablemente a que la carga inicial para empezar la prueba fue mayor de los 10 Kg especificados anteriormente. En este caso deberá repetirse la prueba. Finalmente, con los valores relativos de soporte calculados se construye una gráfica (No. 4.2) en cuyas abscisas se indican los pesos volumétricos que fueron producidos y en las ordenadas los valores relativos de soporte correspondientes a cada uno de dichos pesos volumétricos.

Gráfica No. 2.2



Gráfica No. 2.3



Con el resultado del C.B.R. de esta prueba se puede clasificar el suelo usando la tabla No. 2.1, que indica el empleo que puede dársele al material en lo que al C.B.R. se refiere.

Tabla No. 2.1

C.B.R.	CLASIFICACIÓN
0-5	Subrasante muy mala
5-10	Subrasante mala
10-20	Subrasante regular o buena
20-30	Subrasante muy buena
30-50	Sub-base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

2.2.6 EQUIVALENTE DE ARENA

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos; es un método rápido que se puede hacer en el campo como en el laboratorio. Se lleva a cabo, principalmente, cuando se trata de materiales que se usaran para base, sub-base, o sea en bancos de prestamos. Los porcentajes aceptables de equivalente de arena, según las Especificaciones Generales de la Dirección General de Caminos son los siguientes: Para bases 30% como mínimo y para sub-bases 25% como mínimo.

2.3 INFORME FINAL DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Para poder obtener las muestras de suelos previo a realizar los ensayos de laboratorio que rigieran en el diseño del pavimento se hizo necesario dividir la carretera en cuatro tramos, para su mejor estudio.

-Tramo 1: Está comprendido entre la aldea Vado Hondo, sobre el Km 178 de la carretera CA-10 que va hacia Esquipulas y el municipio de San Juan Ermita con una longitud de once kilómetros. Este tramo se caracteriza por tener una pendiente bastante pronunciada y curvas muy cerradas, en él se localiza el punto más alto del proyecto y también la bifurcación más importante que conduce hacia el municipio de Olopa.

-Tramo 2: Este subtramo de once kilómetros y medio, se desarrolla casi en su totalidad sobre la orilla del río Carcar, empezando en la población de San Juan Ermita y finalizando en la aldea del Brasilar, del municipio de Camotán, pasando muy próximo a la cabecera municipal de Jocotán y a la orilla de Camotán. El alineamiento horizontal cuenta con varias rectas y el vertical es predominante plano.

-Tramo 3: Todo este subtramo está sobre terreno montañoso y en consecuencia tiene un alineamiento horizontal con curvas cerradas y pendientes pronunciadas. Tiene una longitud de cinco kilómetros, comprendidos entre la aldea de el Brasilero y el Puente Jupilingo, sobre el río Camotán.

-Tramo 4: Este subtramo es muy similar al segundo, ya que su mayor parte se desarrolla sobre la orilla del río Grande de Camotán, que se origina en la vecina república de Honduras con el nombre de río Copán. Comienza precisamente sobre el Puente Jupilingo y termina en el Florido, frontera con Honduras, con una longitud de catorce kilómetros. Al igual que el subtramo 2 se caracteriza por contar con varias rectas en su alineamiento horizontal y verticalmente con pendientes en su mayoría suaves.

De acuerdo a la división anteriormente descrita se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a la Sub-rasante, los cuales se presentan en las tablas No. 2.2, No.2.3, No.2.4 y No. 2.5 para cada tramo respectivamente.

PROYECTO: CA-11 VADO HONDO - EL FLORIDO
 ENSAYOS DE LABORATORIO
 PROCEDENCIA: SUB-RASANTE

TRAMO No. 1: VADO HONDO - SAN JUAN ERMITA

ESTACION	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					DENSIDAD		VALOR SOPORTE C.B.R. a 95% DE COMPACTACIÓN	LÍMITES		CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE GRUPO DE ARENA	EDUV
	3/8"	4	10	40	100	200	Máx. Lib/pie-3		% H OPTIMA	LL			
0+020	100.00	98.30	96.20	90.50	85.10	80.10	99.00	17.00	4.50	58.10	29.90	25.00	—
0+050	97.20	93.40	89.90	85.00	79.90	75.30	94.00	25.00	2.50	58.00	21.10	18.40	8.00
0+746	100.00	81.00	62.60	42.60	28.60	21.30	116.40	11.50	25.80	35.50	9.80	0.00	—
0+850	82.60	64.50	49.80	34.70	19.90	13.70	—	—	—	31.90	5.00	0.00	63.00
1+400	82.80	78.80	72.00	62.40	55.50	51.00	—	—	—	57.20	22.50	9.10	35.00
1+400	84.00	74.30	61.20	39.20	29.50	24.40	—	—	—	35.80	13.70	0.00	33.00
1+500	52.60	50.10	46.90	39.40	33.90	30.60	131.00	7.80	21.00	38.20	14.60	1.00	—
1+500	100.00	94.20	87.20	74.20	64.70	58.70	107.00	12.50	26.00	61.40	33.30	17.50	—
1+700	96.80	87.30	72.80	36.50	23.10	18.20	—	—	—	51.00	10.00	0.00	—
3+000	91.20	90.50	87.90	74.40	67.50	60.80	—	—	—	51.00	23.00	12.60	—
3+500	100.00	98.80	97.30	93.10	87.40	86.50	89.20	31.00	3.00	53.50	32.50	29.90	—
4+000	88.80	70.30	56.90	42.20	32.00	27.10	—	—	—	34.00	11.40	0.00	39.00
4+000	85.70	81.80	70.60	54.10	45.30	38.40	—	—	—	30.00	6.00	0.00	—
4+500	91.00	83.90	67.90	41.30	29.30	24.10	—	—	—	35.50	7.60	0.00	—
4+900	99.80	76.50	54.70	21.70	13.10	6.50	—	—	—	24.80	N.P	0.00	28.00
5+000	60.60	53.20	46.00	36.90	31.80	29.10	—	—	—	45.00	14.50	0.00	—
5+000	100.00	91.60	84.40	75.40	70.70	69.40	101.00	21.00	5.50	46.60	23.00	15.00	—
5+000	—	—	46.00	36.90	—	29.10	—	—	—	45.00	14.50	0.60	—
5+000	62.40	77.90	70.80	57.70	47.70	42.60	—	—	—	37.50	10.60	2.00	—
5+300	91.80	90.30	86.20	68.40	53.60	46.30	—	—	—	37.00	3.50	0.00	—
5+500	100.00	98.90	95.40	83.00	70.20	62.40	—	—	—	36.50	9.30	5.00	—
5+500	94.10	89.40	83.30	72.90	66.30	63.30	—	—	—	33.90	9.20	4.40	17.00
5+500	100.00	95.90	89.40	72.30	61.30	56.10	110.70	16.30	19.00	51.00	28.00	12.80	—
6+000	88.90	67.20	50.50	34.60	24.70	20.70	—	—	—	32.50	10.40	0.00	37.00
6+000	92.10	77.40	55.60	34.80	24.00	19.30	—	—	—	24.50	3.90	0.00	—
6+400	81.90	64.20	46.90	35.30	27.10	24.30	—	—	—	47.30	17.50	1.00	28.00
6+500	79.70	67.00	55.70	37.20	27.10	22.50	—	—	—	34.40	10.60	0.00	40.00
6+500	89.50	74.30	55.70	41.20	36.10	31.80	—	—	—	29.00	7.90	0.00	—
6+500	100.00	92.90	78.50	60.50	52.60	49.90	124.50	11.50	16.00	46.60	20.40	7.10	—
7+000	85.60	78.90	63.30	41.20	30.30	25.20	—	—	—	21.50	N.P	0.00	—
7+000	100.00	84.70	71.10	49.40	36.90	32.90	102.50	20.00	12.00	30.40	8.20	0.00	—

PROYECTO: CA-11 VADO HONDO - EL FLORIDO
 ENSAYOS DE LABORATORIO
 PROCEDENCIA: SUB-RASANTE

TRAMO No. 1: VADO HONDO - SAN JUAN ERMITA (continuación)

ESTACION	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					DENSIDAD Mg/L Lib/pie ³	% H. ÓPTIMA	VALOR SOPORTE C.B.R. a 95% DE COMPACTACIÓN	LÍMITES		CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE GRUPO	EQUIV. DE ARENA	
	3/8"	4"	10"	40"	100"				LL	LP				
7+000	100.00	92.90	67.50	44.90	32.80	28.20	97.80	21.00	23.00	29.10	9.60	A-2-4	0.00	—
8+000	100.00	96.80	88.10	47.60	27.80	20.80	—	—	—	—	—	—	—	—
8+000	100.00	97.10	82.00	71.50	64.60	60.80	97.50	19.00	3.80	33.60	10.60	A-6	4.30	—
8+600	75.30	68.20	57.00	34.70	24.60	20.00	—	—	—	28.50	6.70	A-2-4	0.00	—
9+000	90.00	73.10	51.50	31.80	23.60	20.40	—	—	—	42.40	15.90	A-2-7	0.30	33.00
9+106	80.90	66.20	51.40	33.80	26.60	23.80	120.80	13.60	26.00	47.80	22.40	A-2-7	1.10	—
9+600	93.90	79.30	75.10	69.60	65.30	61.40	—	—	—	30.00	5.50	A-5	—	—
10+000	100.00	92.60	80.70	61.30	46.40	42.00	112.80	16.00	5.00	38.90	16.80	A-6	3.20	—

TRAMO No. 2: SAN JUAN ERMITA - CAMOTAN

ESTACION	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					DENSIDAD Mg/L Lib/pie ³	% H. ÓPTIMA	VALOR SOPORTE C.B.R. a 95% DE COMPACTACIÓN	LÍMITES		CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE GRUPO	EQUIV. DE ARENA	
	3/8"	4"	10"	40"	100"				LL	LP				
10+000	100.00	95.20	90.80	77.60	64.70	52.70	—	—	—	—	—	—	—	
12+600	66.40	53.00	33.40	11.80	4.90	1.30	—	—	—	41.00	8.80	A-2-4	0.00	—
14+000	100.00	97.60	92.60	78.40	63.50	42.20	—	—	—	—	—	—	—	—
14+100	84.10	59.70	35.70	15.80	9.60	7.30	102.50	20.50	7.00	27.00	2.10	A-2-4	0.00	—
14+500	59.10	50.80	36.50	22.70	16.90	14.70	—	—	—	57.00	23.10	A-2-7	0.00	34.00
14+610	100.00	70.70	43.50	23.50	19.20	17.60	105.10	11.40	16.00	61.70	38.80	A-2-7	0.70	—
18+000	43.70	39.60	34.00	26.20	19.70	16.20	106.60	16.80	13.50	62.30	36.10	A-2-7	1.00	—
18+100	80.90	70.10	61.60	47.50	39.80	34.40	—	—	—	28.90	2.30	A-4	—	—
18+100	66.30	56.80	40.20	20.40	13.30	11.20	—	—	—	30.00	6.00	A-2-4	0.00	—
18+100	80.50	73.90	70.00	64.10	58.80	55.20	—	—	—	—	—	—	—	—
18+500	100.00	95.60	91.30	83.60	75.30	69.30	89.50	30.50	5.30	53.50	30.50	A-7-6	20.30	—
18+600	76.20	68.10	61.30	52.00	46.50	42.90	—	—	—	56.00	24.90	A-7-6	6.40	—
18+600	70.90	64.00	56.00	38.40	29.70	21.90	—	—	—	NL	NP	A-2-4	0.00	—
18+800	97.20	90.50	74.40	70.40	61.90	48.10	—	—	—	—	—	—	—	—
19+000	93.30	67.20	61.10	33.20	65.90	55.90	114.20	16.50	3.80	34.50	16.00	A-6	9.00	—
19+500	91.00	84.90	76.50	62.70	50.70	44.00	—	—	—	47.00	15.60	A-7-6	4.00	2.30
19+733	100.00	98.60	93.10	80.20	70.70	61.00	97.00	21.00	11.50	40.10	15.20	A-7-6	7.60	—

PROYECTO: CA-11 VADO HONDO - EL FLORIDO
 ENSAYOS DE LABORATORIO
 PROCEDENCIA: SUB-RASANTE

TRAMO No. 3: CAMOTAN - EL MINERAL

ESTACION	ANALISIS GRANULOMETRICO						DENSIDAD		VALOR SOPORTE		LIMITES		INDICE DE GRUPO DE ARENA	EQUIV. DE ARENA
	3/8"	4	10	40	100	200	Max.	% H. OPTIMA	C.B.R. a 95%	LL	LP	CLASIFICACION		
20+500	33.40	88.10	82.30	69.20	51.80	41.30	—	—	—	50.20	20.30	A-7-6	4.30	35.00
21+000	100.00	94.50	86.00	74.30	71.00	67.00	102.00	19.00	4.80	—	26.90	A-7-5	18.20	—
21+500	100.00	97.90	93.80	83.00	62.40	50.80	—	—	—	50.70	7.10	A-5	3.00	—
22+500	100.00	99.60	98.20	88.80	66.40	52.90	—	—	—	35.50	12.90	A-6	4.30	—
22+500	100.00	97.90	94.30	79.40	49.80	39.10	—	—	—	36.90	9.90	A-4	1.00	—
22+800	100.00	98.90	97.10	93.90	90.50	87.10	103.00	18.00	2.50	41.00	10.50	A-7-6	11.00	13.00
23+500	100.00	97.10	82.20	82.10	63.90	47.80	—	—	—	32.20	7.90	A-4	1.40	—
24+500	62.00	53.80	40.60	26.10	20.80	18.00	—	—	—	32.00	2.00	A-2-4	0.00	—
24+500	100.00	80.10	76.20	60.60	52.10	46.60	108.00	27.00	10.00	37.30	12.20	A-6	5.40	—
24+800	75.60	61.60	46.10	31.40	22.90	19.20	—	—	—	40.00	12.60	A-2-6	0.10	30.00
25+000	100.00	92.70	77.70	51.70	46.00	43.90	107.00	16.30	7.00	39.30	16.60	A-6	3.70	—
25+800	88.10	71.20	58.00	42.40	32.90	29.10	—	—	—	40.60	14.60	A-2-6	0.60	31.00
26+000	100.00	73.20	59.00	35.30	31.00	30.10	123.00	10.00	13.80	37.50	16.20	A-2-6	1.00	—
26+200	58.80	46.60	33.30	17.90	11.60	8.30	—	—	—	21.80	1.50	A-2-4	0.00	—
27+900	89.10	72.20	61.40	38.60	24.70	16.00	—	—	—	22.10	5.40	A-2-4	0.00	34.00
28+000	86.30	77.10	66.30	43.90	31.60	25.50	115.20	7.30	29.00	22.90	7.80	A-2-4	0.00	—

TRAMO No. 4: EL MINERAL - EL FLORIDO

ESTACION	ANALISIS GRANULOMETRICO						DENSIDAD		VALOR SOPORTE		LIMITES		INDICE DE GRUPO DE ARENA	EQUIV. DE ARENA
	3/8"	4	10	40	100	200	Max.	% H. OPTIMA	C.B.R. a 95%	LL	LP	CLASIFICACION		
30+240	100.00	90.40	80.30	63.10	59.10	55.50	113.50	23.50	4.30	49.70	26.80	A-7-6	11.90	—
30+240	73.10	57.30	46.50	39.00	35.70	34.00	104.00	20.40	15.00	42.40	19.50	A-2-7	1.90	—
31+000	93.40	83.90	60.20	44.80	34.10	27.10	—	—	—	34.10	11.50	A-2-6	0.20	28.00
31+080	100.00	88.50	83.80	78.00	73.20	71.00	126.20	11.60	5.40	33.70	15.10	A-6	8.90	—
37+500	88.60	67.50	44.00	23.00	15.70	12.30	—	—	—	46.70	11.20	A-7-6	0.00	28.00
38+000	54.80	39.50	25.20	15.50	13.40	12.80	190.00	11.00	20.80	36.70	15.40	A-2-6	0.00	—
38+500	100.00	86.80	79.10	66.10	60.40	54.00	114.00	18.00	7.60	34.90	16.60	A-6	5.90	—
39+800	90.80	87.50	81.80	70.10	59.90	51.50	—	—	—	42.50	12.60	A-7-6	4.50	—
40+500	86.10	62.90	53.60	42.30	33.80	28.80	—	—	—	52.00	18.90	A-2-7	1.20	—
40+500	92.20	82.80	73.00	56.50	41.70	32.40	—	—	—	23.10	4.60	A-2-4	0.00	29.00
41+000	100.00	91.10	77.50	56.70	41.50	37.30	116.50	12.00	20.00	23.10	7.10	A-4	0.00	—
41+800	90.90	64.10	34.00	15.30	12.20	10.40	—	—	—	31.70	6.20	A-2-4	0.00	—
42+800	76.80	71.00	55.60	39.80	32.90	28.30	—	—	—	45.00	14.20	A-2-7	0.60	—

2.3.4 SELECCIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL SUELO.

Como podemos notar en los diferentes tramos existen varios valores en lo que se refiere al Valor Relativo de Soporte del Suelo (C.B.R.); Al seleccionar el C.B.R. debe ponerse mucha atención ya que la utilización de este valor puede presentar en la estructura de pavimento un bajo diseño o un sobrediseño, esto es dependiendo en base a que se seleccionara el C.B.R. Si seleccionamos el promedio de los valores tendremos que cerca de la mitad del pavimento estará sobrediseñado y la otra mitad bajamente diseñado. Si tomamos el valor mínimo la mayoría del camino estará sobrediseñado.

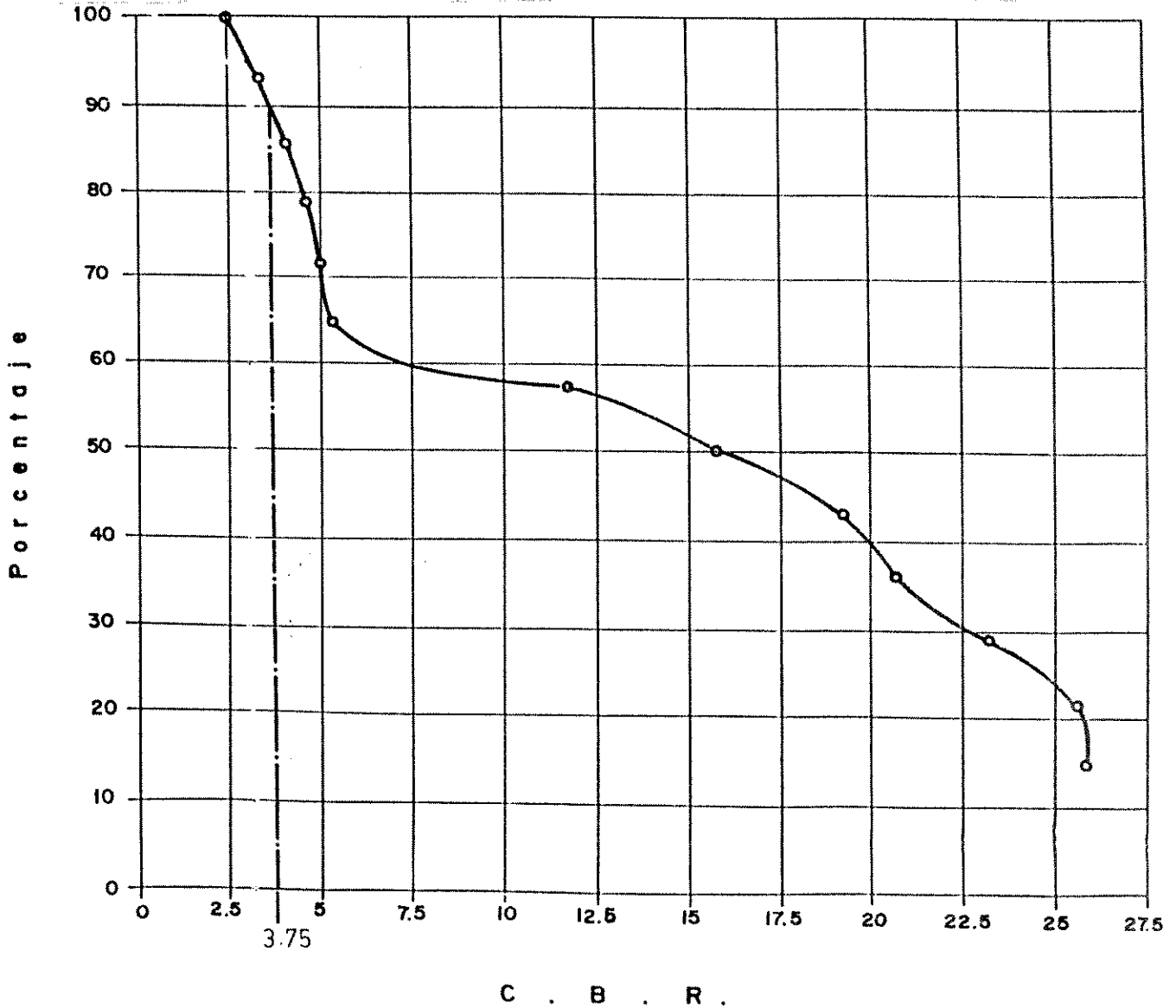
Un análisis de bajo costo ha indicado que el valor óptimo de diseño depende de la variabilidad natural del depósito de suelo acoplado con las condiciones de tráfico en el sitio. Existen curvas que relacionan valores de prueba percentil por menos costo de diseño como una función de variabilidad del suelo, tráfico y unidades de costo de la estructura del pavimento. Como una regla general, y por carencia de información más detallada, el 90 y 80 valores percentiles de los resultados da el valor óptimo de C.B.R. para el diseño de la carretera. Para poder obtener el valor óptimo de diseño debe ordenarse en forma ascendente los C.B.R. obtenidos en los ensayos de laboratorio, asignándole a cada uno de estos valores el número de muestra que le corresponde, es decir que el valor de 2.5% representa la muestra número catorce.

Tramo No. 1

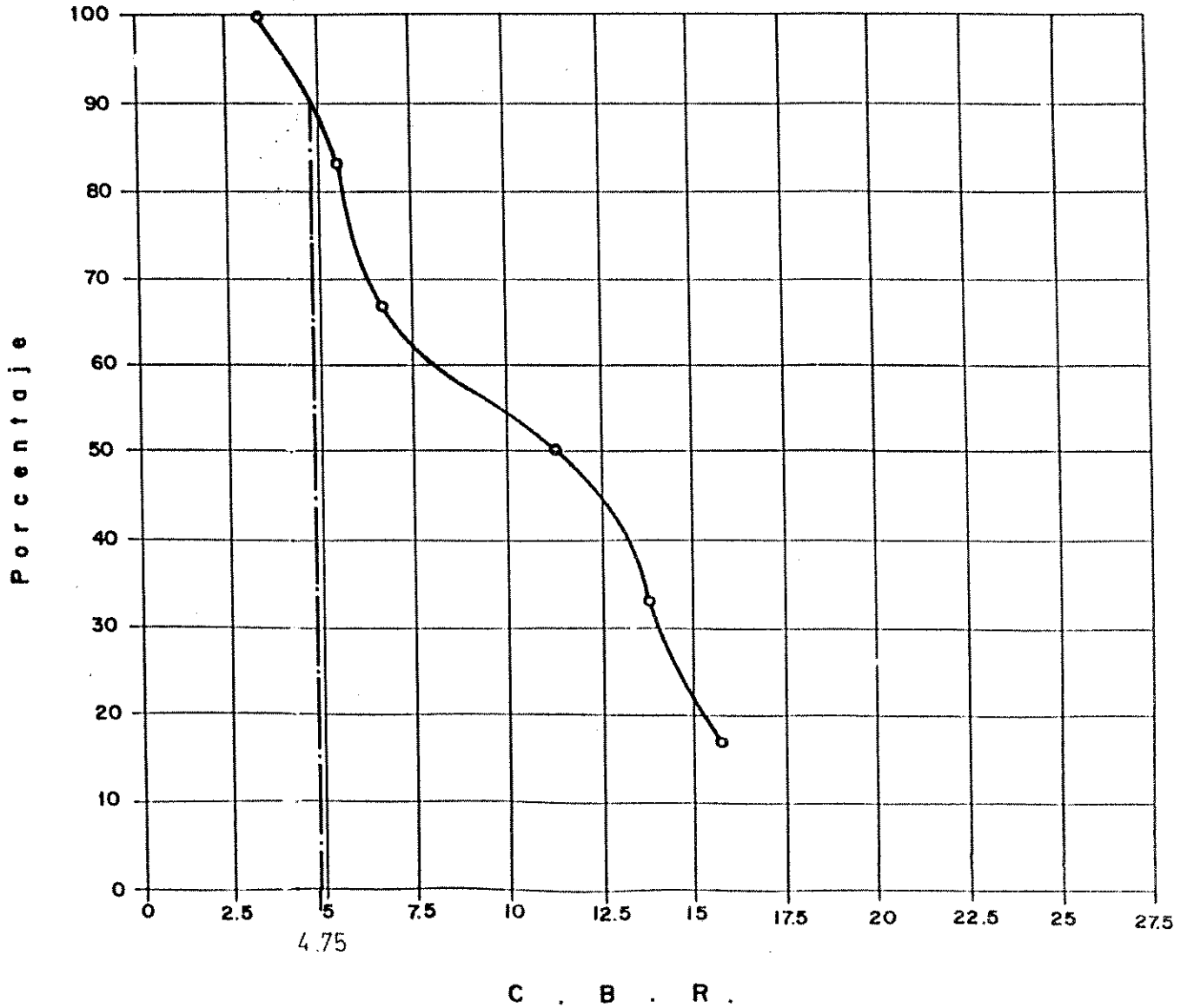
Valor Relativo de Soporte del Suelo (C.B.R. %)	Numero de muestras mayor o igual que	Percentil (%) mayor o igual que
2.5	14	$(14/14)*100=100.00$
3.0	13	$(13/14)*100=92.86$
3.8	12	$(12/14)*100=85.71$
4.5	11	$(11/14)*100=78.57$
5.0	10	$(10/14)*100=71.43$
5.5	9	$(9/14)*100=64.29$
12.0	8	$(8/14)*100=57.14$
16.0	7	$(7/14)*100=50.00$
19.0	6	$(6/14)*100=42.86$
21.0	5	$(5/14)*100=35.71$
23.0	4	$(4/14)*100=28.57$
25.8	3	$(3/14)*100=21.43$
26.0	2	$(2/14)*100=14.29$
26.0		

El valor de los C.B.R. y los valores percentiles obtenidos se plotean en un eje coordenado X-Y, para el cual tomamos un valor al 90% percentil para el diseño, intersecando este valor con la gráfica se lee en el eje X el C.B.R. óptimo para el diseño de la carretera. Los resultados de cada tramo se presentan en las gráficas No. 2.4, 2.5 2.6 y 2.7 respectivamente. Estos valores obtenidos son de mucha importancia para el diseño estructural del pavimento según el método utilizado por la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.

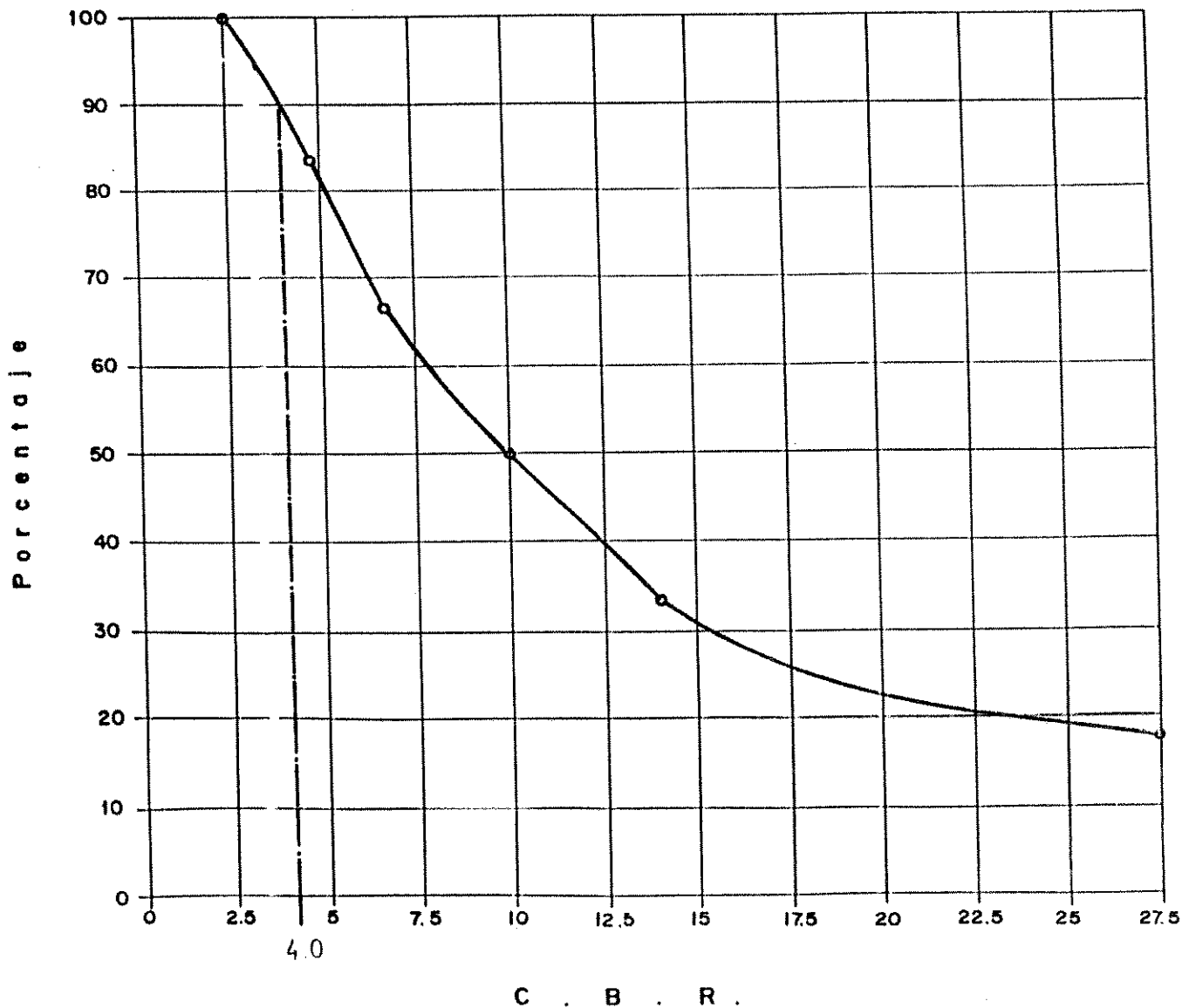
GRÁFICA No. 2.4
VALOR REPRESENTATIVO DE C.B.R. DE LA SUBRASANTE
TRAMO No. 1, VADO HONDO - SAN JUAN ERMITA
DE ESTACIÓN 0+000 A ESTACIÓN 10+000



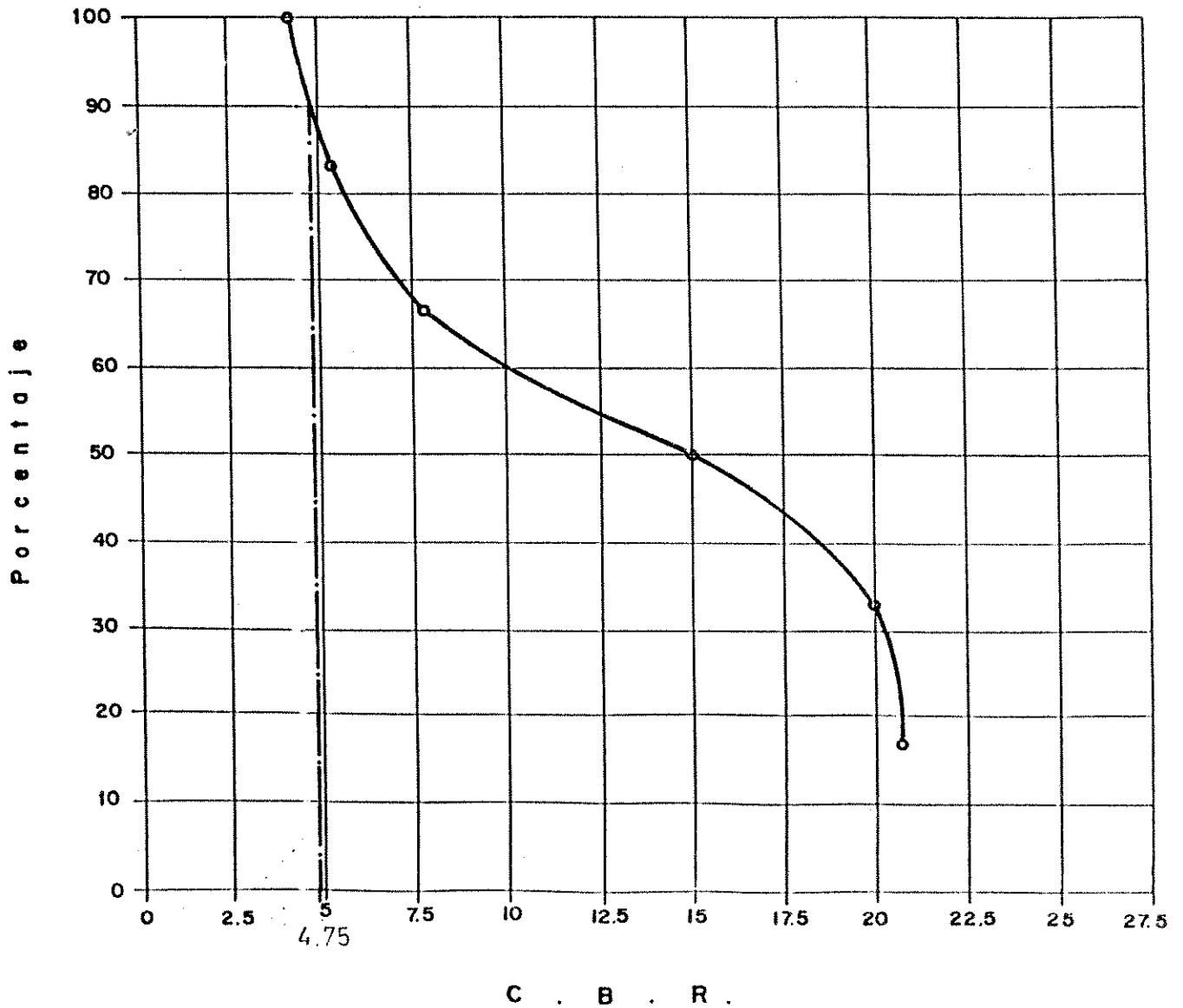
GRÁFICA No. 2.5
VALOR REPRESENTATIVO DE C.B.R. DE LA SUBRASANTE
TRAMO No.2, SAN JUAN ERMITA - CAMOTAN
DE ESTACIÓN 10+000 A ESTACIÓN 20+000



GRÁFICA No. 2.6
VALOR REPRESENTATIVO DE C.B.R DE LA SUBRASANTE
TRAMO No. 3, CAMOTAN - EL MINERAL
DE ESTACIÓN 20+000 A ESTACIÓN 30+000



GRÁFICA No. 2.7
VALOR REPRESENTATIVO DE C.B.R DE LA SUBRASANTE
TRAMO No. 4, EL MINERAL - EL FLORIDO
DE ESTACIÓN 30+000 A ESTACIÓN 42+000



2.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

2.4.1 SUELOS PREDOMINANTES POR TRAMOS

Los suelos de la región en donde se desarrolla el proyecto son limo arcillosos y arcillas, roca arcillosa y piedra caliza, siendo predominantes los suelos tipo arena arcillosa. El suelo superficial es arcilla café, muy oscura o casi negra, que es plástica. En la superficie y en el suelo hay muchos fragmentos de caliza.

El subsuelo es una mezcla de arcilla y fragmentos de caliza. El substrato es caliza y fragmentos rocoso arcilloso.

En algunas áreas se presenta el suelo limoso siendo el substrato una roca caliza y en algunos lugares se presenta un subsuelo café rojizo, siendo la superficie muy pedregosa y erosionada.

Los suelos en los primeros 10 kilómetros del proyecto son bastante variables en su color y valor soporte siendo las arcillas café oscuro y blancas de baja resistencia. En los siguientes tramos hasta Camotán los suelos son más uniformes, presentándose principalmente los limos de color beige con vetas gris y negro, en algunos lugares predominan los limos arcillosos rojizos con fragmentos de caliza.

En los siguientes tramos el terreno es más escarpado y hasta llegar al Puente Jupilingo los suelos predominantes son rocosos arcillosos y roca laminada más o menos intemperizada, desde ese lugar hacia el Florido se presentan nuevamente los limos arcillosos beige y suelos aluviales más resistentes, especialmente en las áreas a inmediaciones del río Grande o Camotán.

En todo el proyecto en varios lugares, se presentan los suelos arcillosos café oscuro y blanco tipo A-6 y A-7-6 que son de bajo valor soporte.

2.4.2 MATERIAL PARA SUB-BASE

Existen a lo largo del camino, en los taludes de corte y en áreas aledañas al proyecto, lugares donde se encuentran suelos arenosos y limo arenosos que pueden considerarse como posibles Bancos de Sub-base entre los cuales se procederá a seleccionar los indicados para su utilización en el proyecto, dependiendo de su contenido de arena y de la plasticidad. A menos que la muestra obtenida sea verdaderamente representativa de los materiales que se pretenden utilizar, cualquier análisis de la muestra sólo será aplicable a la propia muestra y no al material del banco del cual procede, de ahí la imperiosa necesidad de obtener dos o más muestras por cada banco. En la tabla No. 2.6 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados a estos Bancos.

PROYECTO: CA-11 VADO HONDO - EL FLORIDO
 ENSAYOS DE LABORATORIO
 PROCEDENCIA: SUB-BASE

ESTACIÓN	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						DENSIDAD		VALOR SOPORTE C.B.R. a 95% DE COMPACTACIÓN	LÍMITES		ÍNDICE DE GRUPO	EQUIV. DE ARENA
	3/8"	4"	10"	40"	100"	200"	Max. Libras	% H. ÓPTIMA		LL	LP		
0+000	51.90	32.00	18.60	11.40	9.30	7.00	108.20	13.50	28.30	12.10	A-2-6	0.20	—
0+000	52.50	32.80	19.90	12.70	10.10	8.50	97.50	10.00	26.80	9.50	A-2-4	0.00	—
0+800	50.70	39.30	27.00	11.00	7.30	6.20	124.00	7.00	—	—	—	—	—
0+800	72.00	67.70	62.60	55.10	51.60	49.50	—	—	—	—	—	—	—
0+800	100.00	96.00	86.80	63.30	53.50	49.40	114.00	11.00	31.20	15.70	A-6	4.20	—
2+400	70.80	56.80	43.40	17.60	13.80	11.20	126.00	9.50	34.10	18.00	A-2-6	0.00	45.00
2+800	59.20	39.90	26.20	11.70	6.00	3.60	—	—	29.30	1.10	A-1-a	0.00	48.00
2+800	62.70	47.60	33.70	19.20	11.20	9.50	—	—	26.00	1.30	A-1-a	0.00	—
6+500	52.40	42.90	31.40	14.80	9.50	7.40	—	—	26.80	6.30	A-2-4	0.00	53.00
6+500	62.20	50.60	37.20	16.40	12.10	11.00	130.00	10.00	24.70	8.90	A-2-4	0.00	53.00
14+000	79.20	68.50	52.10	23.40	20.70	17.60	—	—	32.00	8.80	A-2-4	0.00	—
15+700	60.20	48.00	39.20	29.40	24.10	21.50	—	—	48.50	3.40	A-2-7	0.20	22.00
15+700	71.70	57.10	44.80	32.70	28.50	26.50	102.30	15.50	56.60	31.40	A-2-7	2.40	22.00
15+800	48.50	24.00	19.50	17.40	15.10	13.50	—	—	50.40	19.90	A-2-7	0.00	30.00
15+900	55.90	30.90	25.20	21.90	20.70	20.00	10.80	16.20	—	—	—	—	—
16+135	78.50	68.90	58.40	43.10	32.00	23.70	—	—	NL	N.P.	A-1-b	0.00	—
23+600	87.70	70.80	49.20	15.10	5.90	3.70	—	—	NL	N.P.	A-1-a	1.10	70.00
23+600	100.00	93.90	77.50	32.80	13.10	7.30	126.00	11.50	21.80	8.10	A-2-4	0.00	67.00
23+600	63.70	40.20	25.30	14.60	9.60	6.80	139.00	10.00	26.50	2.00	A-1-a	0.00	—
27+700	69.10	59.80	50.00	33.60	22.90	16.80	—	—	25.70	4.00	A-1-b	0.00	47.00
27+700	75.10	64.20	53.20	33.60	23.80	19.00	129.20	8.40	26.60	12.40	A-2-6	0.10	—
32+000	66.50	52.50	45.90	39.80	36.00	33.50	120.00	13.50	46.70	9.20	A-2-5	0.00	—
37+339	48.90	26.60	13.70	7.60	5.90	6.20	104.50	16.90	30.60	3.20	A-1-a	0.00	—

2.4.3 MATERIALES PARA BASE Y CARPETA ASFÁLTICA

El proyecto atraviesa cauces de varios ríos y quebradas, siguiendo una longitud considerable cerca de los márgenes de los ríos Carcar y Grande o Camotán, los que en su recorrido inmediato al proyecto, constituyen playones de grava y arena, que tienen características adecuadas para obtener agregados gruesos y finos, los cuales pueden utilizarse como materiales de Base, y Carpeta Asfáltica.

Es importante hacer notar, que en las áreas cercanas a la localización de las estructuras, debe evitarse la extracción de dichos materiales.

A continuación se adjunta un listado que contiene los datos de la localización, tipo de material y volumen estimado de material para la producción de agregados en cada uno de los lugares seleccionados.

TABLA No. 2.7
BANCOS PARA BASE Y CARPETA ASFÁLTICA

LOCALIZACIÓN	TIPO DE MATERIAL	VOLUMEN APROX. M3
Km 0+090 Río Shutate	Grava y Arena	6,000
Km 16+300 Playa 2 Río Carcar	Grava y Arena	45,000
Km 16+500 Playa 1 Río Carcar	Grava y Arena	30,000
Km 18+500 Playa 1 Río Grande	Grava y Arena	30,000
Km 21+000 Playa 1 Río Toroja	Grava y Arena	7,000
Km 28+315 Playa 5 Río Grande	Grava y Arena	20,000
Km 30+960 Playa 6 Río Grande	Grava y Arena	20,000
Km 32+150 Playa 3 Río Grande	Grava y Arena	15,000
Km 33+000 Playa 3 Río Grande	Grava y Arena	30,000
Km 36+780 Playa 2 Río Grande	Grava y Arena	12,000

CAPÍTULO No. 3

TEORÍA SOBRE PAVIMENTOS

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS.

Se entiende por pavimento a cualquier estructura que descansa sobre el terreno natural compactado y que está formada por una o varias capas de materiales adecuadamente seleccionados, para proporcionar a la carretera suficiente resistencia a las cargas que provocan el tránsito de vehículos y a la vez hacer cómodo el paso de los mismos.

Los objetivos del pavimento son los siguientes:

- a) Soportar adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.
- b) Protección de la tercería contra el agua.
- c) Evitar desgaste de los materiales por el rodamiento.
- d) Superficie de rodamiento adecuada, es decir que sea suficientemente lisa para proporcionar seguridad y comodidad al usuario, pero debe tener alguna rugosidad para no ser peligrosa.
- e) Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la sub-base.
- f) Resistencia a la meteorización.

3.1.2 TIPO DE PAVIMENTOS

- a) **PAVIMENTOS FLEXIBLES:** Pavimento con mezcla asfáltica
- b) **PAVIMENTOS SEMI-FLEXIBLES:** Pavimento con adoquín, y sub-base estabilizada con cemento.
- c) **PAVIMENTOS RÍGIDOS:** Pavimento de concreto hidráulico de cemento portland.

3.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Estos pavimentos son aquellos que pueden sufrir deformaciones dentro de ciertos límites sin cambiar sus características de impermeabilidad y uniformidad. La estructura de un pavimento flexible está formada por la capa de rodadura, la base y la sub-base, las cuales se colocan sobre una superficie compactada de terracería.

Dependiendo de la suficiente calidad de la sub-rasante y del tipo de materiales las capas del pavimento flexible pueden tener diferentes opciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

	CR	CR	CR
ESTRUCTURA :	B	SB	B
	SR	SR	SB
			SR

CR= Capa de rodadura.

B = Base

SB = Sub-Base

SR = Sub-Rasante

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. A continuación, se definen los distintos materiales bituminosos que se emplean en la construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles.

3.2.1 ASFALTOS

Se obtienen de la destilación del petróleo crudo. La destilación puede realizarse por vapor o por aire. La destilación por vapor da excelentes asfaltos para pavimentos, mientras que los destilados por aire dan asfaltos oxidados - de segunda clase- de poco uso en pavimentos.

Los asfaltos según su origen pueden tener base asfáltica o parafínica. Los de base asfáltica son los mejores para la construcción o mantenimiento de carreteras porque presentan buenas características ligantes, siendo a la vez muy resistentes a los agentes atmosféricos. Los asfaltos de base parafínica al exponerse al aire se oxidan y pierden sus características ligantes, convirtiéndose en un elemento laminar que posteriormente se transforma en polvo, sin ningún valor ligante.

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

3.2.1.1 ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUADO LENTO (S.C.) O ROAD OILS

Estos son aceites residuales asfálticos con poco o ningún elemento volátil; pueden ser fabricados de la mezcla de un cemento asfáltico (A.C) con un aceite residual, variando sus propiedades desde un material de características ligantes pobres, hasta un material viscoso de excelentes características. Para su uso en trabajo de carreteras, estos asfaltos deben cumplir normas y especificaciones, como por ejemplo las dadas por el Instituto de Asfaltos.

3.2.1.2 ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUADO MEDIO (MC)

Estos son llamados también Asfaltos Rebajados o Cut-Backs. Estos se obtienen de la mezcla de un cemento asfáltico con un producto altamente volátil, en este caso con kerosina. este tipo de asfaltos son fácilmente trabajables a bajas

temperaturas, evaporándose el volátil al ser expuestos al aire o al calor. Para su fabricación se emplean cementos asfálticos de mayor penetración que en los de fraguado lento y para utilizarlos se deben cumplir normas y especificaciones, como las dadas por el Instituto de Asfaltos.

3.2.1.3 ASFALTOS LÍQUIDOS DE FRAGUADO RÁPIDO (R.C.)

Estos son llamados también Asfaltos Rebajados o Cut-Backs. Se obtienen mezclando un cemento asfáltico con productos más volátiles aún que la kerosina, como la nafta o la gasolina. Este tipo de asfaltos es semejante a los de fraguado medio y presenta alta trabajabilidad a bajas temperaturas, evaporándose el volátil al ser expuestos al aire o al calor, más rápidamente que en los de fraguado lento. Para su preparación se emplean cementos asfálticos de menor penetración que para los M.C. y su utilización en carreteras debe cumplir normas y especificaciones, como las dadas por el Instituto de Asfaltos.

3.2.1.4 CEMENTOS ASFÁLTICOS

Estos se obtienen por destilación del petróleo crudo, hasta obtener la penetración deseada. El grado de penetración se controla por la cantidad de aceites acumulados 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. Para su uso en carreteras debe cumplir con normas y especificaciones como las dadas por el Instituto de Asfaltos.

Las características de los cementos asfálticos están afectados directamente por las propiedades del crudo de donde se obtienen y éste a su vez depende de las características propias de cada campo petrolífero. También influyen en la calidad y características de los cementos asfálticos, los procedimientos de refinado. Los cementos asfálticos y los asfaltos líquidos de curado lento (S.C.) son similares en su composición, siendo más viscosos los primeros pues contienen menos aceites residuales no volátiles que los S.C.

3.2.1.5 EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas están compuestas por tres elementos: asfalto, agua y un agente emulsionante. Se pueden clasificar en aniónicas o alcalinas y cationicas o ácidas, teniendo cada una una característica bien definida que depende básicamente del agente emulsionador. Por esta razón, el fraguado - denominado ROTURA - en las aniónicas se produce por evaporación del agua, mientras que en las cationicas la rotura es por contacto con el agregado pétreo.

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. Para su uso en carreteras se debe cumplir con las especificaciones del Instituto de Asfaltos.

3.2.1.6 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ASFÁLTICOS

El tratamiento superficial asfáltico es un procedimiento que consiste en la aplicación de uno o varios riegos de asfalto recubiertos cada uno con agregados, según el número de capas aplicadas, el tratamiento superficial será simple, doble, triple o múltiple.

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

3.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Está constituido por una losa de concreto de cemento Portland simple o reforzado, que resiste la carga e intensidad del tránsito que por ella pasa sin sufrir deformaciones excesivas, sino, sólo aquellas que el concreto permite.

El pavimento rígido como ya se dijo tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto. Esta, se apoya sobre una capa de material seleccionado a la que se le da el nombre de base; cuando la sub-rasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiendo así de una sub-base especial. Lo que se trata es que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente falta de soporte; cuando se esto se preguntaría que capas de suelo hay que proporcionar y esto depende de la calidad de los materiales que se estén utilizando, de los niveles de compactación que se empleen y de condiciones locales de clima y drenaje.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente, comprendida entre 200 y 400 kg/cm².

Los factores que afectan el espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas y el número de vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice. Se ha demostrado, que el espesor requerido para la losa depende relativamente poco del valor del módulo de reacción del terreno de apoyo, que es el parámetro a través del cual la calidad del suelo influye en el diseño de la losa de concreto. Esto ha conducido a que en la mayor parte de los diseños de pavimentos rígidos se conceda relativamente poca atención a la calidad de los materiales de sub-base, a los que se permite variar entre límites relativamente amplios, estableciendo algunas especificaciones de carácter básicamente empírico con el objeto de prevenir el bombeo u otros efectos perjudiciales. De esta manera, el papel de la mecánica de suelos aplicada ha sido escaso en el desarrollo de la tecnología de los pavimentos rígidos.

3.3.1 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

- Pavimentos de concreto simple, sin varillas pasajuntas.
- Pavimentos de concreto simple, con varillas pasajuntas.
- Pavimentos de concreto reforzado (refuerzo continuo).

El problema de los pavimentos de concreto, son las juntas que se tienen que diseñar y construir para controlar los cambios de volumen que se producen en ellos por los cambios de temperatura.

3.4 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS

3.4.1 SUB-RASANTE

Es aquella capa que sirve de cimiento del pavimento y que ha de soportar las capas de sub-base, base y capa de rodamiento. Esta capa es la resultante del corte y relleno que proviene del movimiento de tierras y que una vez compactado y afinado tiene los alineamientos, perfiles longitudinales y secciones transversales especificados en los planos de diseño aprobados por el ingeniero.

Esta capa se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto, y es de mucha importancia ya que es la que soportará totalmente la estructura y de su valor soporte dependerá en gran parte el espesor total del pavimento.

3.4.2 SUB-BASE

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar, absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la base. Esta capa se coloca encima de la subrasante y tiene por objeto:

- a) Disminuir las cargas de rodadura que le transmite la capa de base, con el objeto que ésta sea soportada por la sub-rasante.
- b) Deberá trabajar como drenaje, por lo que se recomienda usar material granular.
- c) Deberá controlar y eliminar, en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad que pudieran tener el material de la sub-rasante ya que esto es perjudicial para el pavimento.
- d) Controlar la sección capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas, protegiendo así el pavimento contra los inchamientos.

3.4.2.1 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 a lo estipulado en planos y/o disposiciones especiales, los materiales estabilizadores pueden ser: cal, cemento portland, materiales bituminosos, etc.

3.4.3 BASE

La capa de base es la porción de la estructura de pavimento flexible inmediatamente debajo de la capa superficial. Se construye sobre la capa de sub-base o, si ésta no se usa, directamente sobre la sub-rasante. Tiene como finalidad absorber los

esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir los esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación, y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura. La base comúnmente consta de agregados como piedra triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. Los materiales pueden usarse tratados o no tratados con aglomerantes estabilizadores como cemento Portland, asfalto o cal. En general, las especificaciones para materiales de capa-base son considerablemente más estrictas que la de los materiales de sub-base en los requerimientos de resistencia, estabilidad, dureza, tipo de agregados y gradación.

Los requerimientos que señalan las especificaciones de la AASHTO son típicos de las especificaciones de gradación y calidad de los agregados de base no tratados. Sin embargo, materiales que varían en gradación y calidad respecto de estas especificaciones, se han usado en ciertas zonas y han dado rendimientos satisfactorios.

Una extensa variedad de materiales sin tratamiento, inadecuados para uso como capa de base, han dado rendimiento satisfactorio cuando se han mejorado con aglomerantes estabilizadores tales como cemento Portland, asfalto o cal. Es conveniente utilizar materiales tratados para las capas de base cuando resulta económicamente factible, en especial si escasean los materiales adecuados sin tratamiento.

Se requiere un estudio cuidadoso para seleccionar el tipo y cantidad de aglomerantes que logren rendimiento y economía óptimos. Las capas de base estabilizadas pueden requerirse cuando debe mantenerse el tránsito durante todo el tiempo de construcción del pavimento.

3.4.3.1 BASE DE GRAVA O PIEDRA TRITURADA

Como su nombre lo indica, son bases de materiales provenientes de la explotación de minas, de roca o de piedras naturales.

3.4.3.2 BASE GRANULAR

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial para construir una base integrante de un pavimento.

3.4.3.3 CAPA DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND

Es la capa de base, constituida de materiales pétreos y/o suelos mezclados con cemento portland y agua, aplicando la técnica de estabilización, con el objeto de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas del tránsito a las capas subyacentes de la estructura del pavimento.

3.4.3.4 BASE NEGRA

Es la capa de base, constituida de materiales granulares pétreos, recubiertos con materiales bituminosos, 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.

3.4.3.5 BASE ESTABILIZADA CON CLORURO DE CALCIO

El cloruro de calcio es un compuesto químico capaz de absorber humedad del aire y de retenerla sin convertirse en líquido. Esta característica lo hace un excelente paliativo para el polvo, así como un agente estabilizador.

Cuando se usa el cloruro de calcio como agente estabilizador en un revestimiento existente de superficie, el procedimiento común es escarificar la superficie del camino y mezclar aproximadamente $\frac{1}{2}$ libra/yarda³ de cloruro de calcio por pulg. de profundidad. Para que este proceso tenga éxito, debe haber humedad adecuada. Para mejorar la estabilización durante el tiempo seco, se agrega agua al material.

3.4.3.6 BASES DE ARENA-ARCILLA

Estas bases son mezclas que, debidamente proporcionadas, tienen considerable resistencia a la desintegración cuando han sido compactadas con humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener -arriba del 80% de C.B.R.-. Para que mantengan estas características es necesario imprimir las inmediatamente después de construidas, aunque posteriormente se coloque la carpeta de rodadura. Son consideradas muy buenas bases mientras mantengan sus características de máxima densidad y humedad óptima, pero muy deficientes al perder humedad más allá de límites razonables, pues se desintegran rápidamente y pierden de manera sensible su valor soporte. Si son debidamente protegidas con buenos drenajes, subdrenajes y una carpeta de rodadura, dan resultados excelentes y su construcción es económica.

3.4.4 CAPA DE RODADURA

Su función primordial será proteger la base, impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además evitar que se desgasten o se desintegre la capa de base por el tránsito de vehículos, contribuyen adicionalmente a aumentar la capacidad soporte del pavimento si su espesor es mayor que 2 pulg.

3.4.5 CARPETA DE DESGASTE O SELLO.

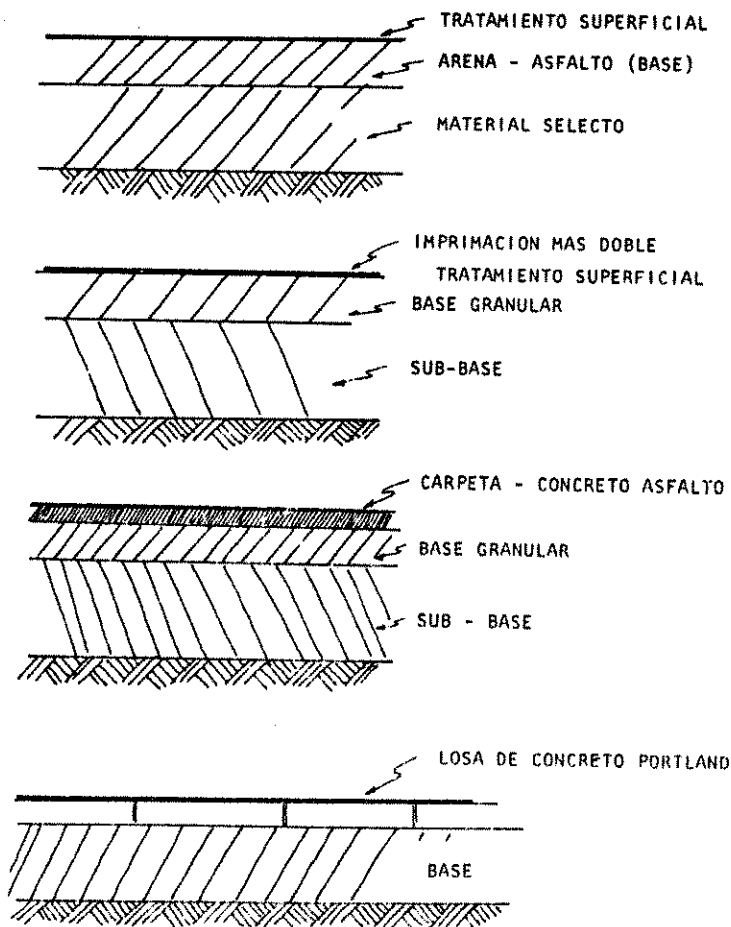
Esta formada por una mezcla bituminosa que se coloca encima de la capa de rodadura y tiene por objeto sellar la superficie impermeabilizándola. Esta capa es optativa, no se coloca si la capa de rodadura es resistente al desgaste.

3.4.6 SUPERFICIE RASANTE

Es la que soporta el tránsito de los vehículos automotores.

No siempre un pavimento se compone de todas las capas anteriormente indicadas. La ausencia de una o de varias de ellas, depende de la capacidad soporte de la sub-rasante de la clase de materiales a usarse, del tipo de pavimento, de la intensidad del tránsito, de la carga de diseño, etc.

GRÁFICA No. 3.1
ALGUNAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS



TRATAMIENTOS: espesor uniforme. Según tamaño del agregado.
CARPETA ASFALTICA: espesor según diseño, pero generalmente uniforme.
BASE: espesor según diseño, pero generalmente uniforme.
SUB - BASE: espesor variable, según materiales de terracería.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA Central

CAPÍTULO No. 4

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

4.1 GENERALIDADES

La estructura de un pavimento asfáltico puede proyectarse y construirse de forma que puede sustentar las más elevadas frecuencias de tráfico y cargas por eje, distribuyendo las presiones y tensiones impuestas, reduciéndolas en magnitud hasta que puedan ser soportadas con seguridad por el terreno natural. El espesor del pavimento asfáltico debe calcularse para asegurar un comportamiento satisfactorio durante largo tiempo, teniendo en cuenta las condiciones del tráfico, las características del terreno y de los materiales de construcción. Esto exige usualmente que se empleen materiales de resistencia y valor portante cada vez más elevados desde el terreno hasta la superficie del pavimento. Las características de los materiales utilizados influirán en el espesor de cada una de las capas componentes del pavimento y, por lo tanto, en el espesor total.

4.1.1 TEORÍA DEL DISEÑO

El procedimiento de diseño recomendado por la Asociación Americana de Carreteras Oficiales Estatales, esta basado en los resultados de las extensivas pruebas de caminos de la AASHTO. El método de diseño de la AASHTO introduce una definición preferente a la falla del pavimento en vez de aquellos basados en conceptos estrictos de falla estructural (por ejemplo deformación por agrietamiento). Simplemente se estableció que la función de cualquier camino es llevar seguro y suavemente el tránsito vehicular de un lugar a otro.

Este método de diseño evalúa la disminución de servicio de los pavimentos flexibles a partir de cargas, espesores de capas, valor soporte de la sub-rasante y las condiciones climáticas de la región.

Todos estos valores se evalúan en la ecuación siguiente:

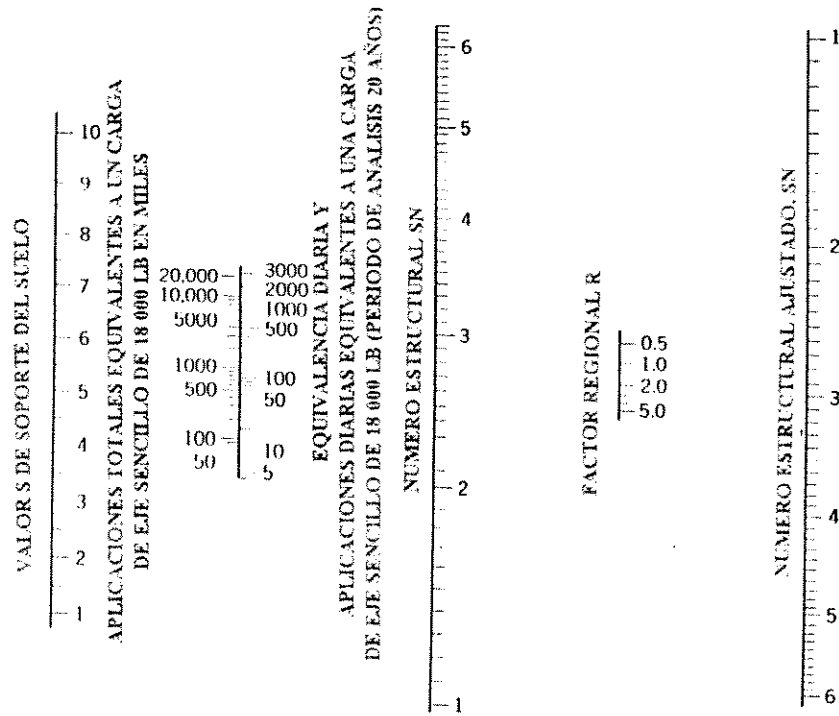
$$\log Wt18 = 9.36 \cdot \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log[(4.20 \cdot Pt)/(4.20 - 1.50)]}{0.40 + [1094 / (SN+1)^{5.19}]} + \log(1/R) + 0.372 \cdot (Si - 3.00) \quad (4.1)$$

donde:

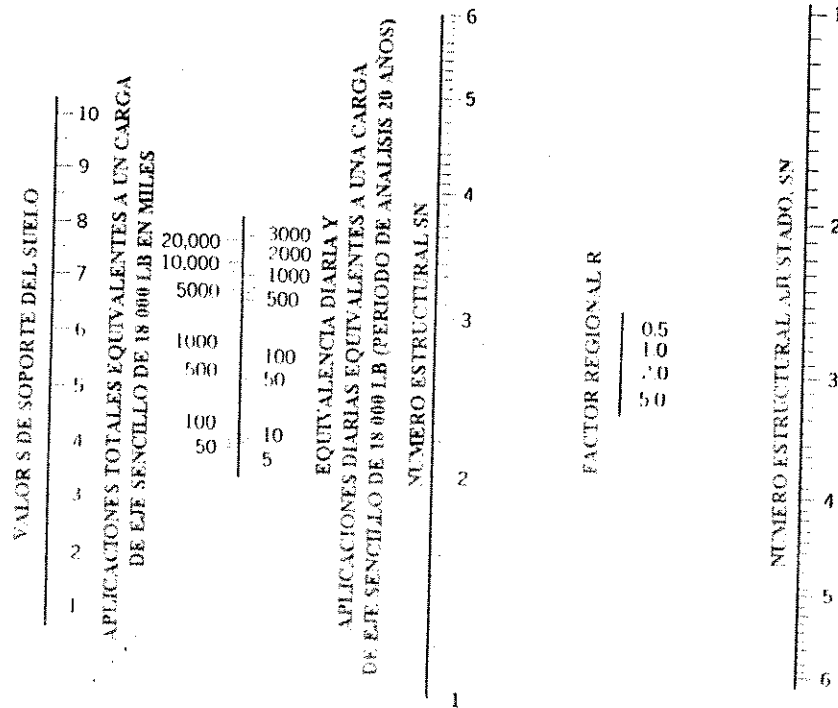
- Wt18 = Numero equivalente de ejes simples de 18,000 libras.
- Pt = Índice de capacidad para servicio.
- SN = Numero estructural del pavimento.
- R = Factor regional.
- Si = Valor soporte del suelo.

Por facilidad de calculo esta ecuación fue resuelta y presentada por la AASHTO por medio de nomogramas para diferentes índices de servicio, siendo los índices de servicio más usados, Pt = 2.5 para carreteras con alto volumen de tráfico y Pt = 2.0 para

GRÁFICA No. 4.1
NOMOGRAMA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES



GRÁFICA PARA UN ÍNDICE DE CAPACIDAD DE SERVICIO TERMINAL $P_t = 2.0$



GRÁFICA PARA UN ÍNDICE DE CAPACIDAD DE SERVICIO TERMINAL $P_t = 2.5$

Tomado de la Guía Internacional para el Diseño de Estructura de Pavimentos, de la AASHTO.

carreteras de menor volumen de tráfico, pero la variación en los resultados de la ecuación no es mayor de 0.3 pulgadas, por lo que generalmente se considera solamente el uso de un índice de servicio de 2.5.

Los factores de diseño antes mencionados se estudian con más detalle a continuación.

4.1.1.1 FACTORES DE DISEÑO

4.1.1.1.1 ÍNDICE DE CAPACIDAD PARA SERVICIO (Pt)

La capacidad de servicio de un pavimento se define como la capacidad de servir con el tráfico de camiones y automóviles, a altas velocidades y con alto volumen. Un procedimiento ideado para evaluación periódica de capacidad de servicio de los pavimentos, conocido como la Evaluación de Capacidad de Servicio Actual (PSR), utiliza el recurso de las evaluaciones individuales de un selecto grupo de expertos con larga experiencia en todos los aspectos de ingeniería de caminos y en diseño de pavimentos, así como en su construcción y rendimiento. Para la PSR, se usa una escala con el valor de 5 como el más alto índice de capacidad de servicio y de 0 como el más bajo. Adicionalmente un análisis estático fue hecho para correlacionar la PSR con varias medidas físicas del pavimento. Esta predicción de PSR de las medidas físicas está definida como el Índice Presente de Serviciabilidad Po. Un análisis de los resultados del Po para nuevos pavimentos flexibles de una prueba de caminos resultó en un Po inicial de 4.2.

La selección de un índice Pt, terminal de capacidad de servicio se basa en el índice más bajo que se tolera antes que sea necesaria la repavimentación o la reconstrucción. Se sugiere un índice de 2.5 como guía para diseñar caminos principales y de 2.0 para caminos con menores volúmenes de tránsito. Para caminos relativamente menores, si por consideraciones económicas se quiere minimizar el gasto inicial de capital, esto se puede lograr reduciendo el periodo de análisis de tránsito en vez de diseñar para un pt menor de 2.0.

4.1.1.1.2 TRÁFICO DE DISEÑO (W₁₈)

El procedimiento usado en la Guía Internacional de Diseño para Pavimentos Flexibles de la AASTHO es convertir las cargas axiales variables en una distribución de cargas de diseño, y expresar el volumen de tránsito como el número de repeticiones del eje de carga de diseño. La carga para diseño es una carga sobre un eje sencillo de 18 000 libras. Así, el tránsito se expresa como cargas equivalentes sobre un eje sencillo de 18 000 libras.

El procedimiento usado por el Instituto de Asfaltos es agrupar el tránsito de acuerdo al número de ejes y el número de llantas. De esta manera el tránsito también se expresará como cargas equivalentes sobre un eje sencillo de 18 000 lb. Las cargas mixtas de tránsito pueden convertirse en cargas equivalentes de ejes sencillo de 18 000 lb. con la ayuda de las tablas No, 4.1 y 4.2.

Las tabulaciones están en forma conveniente para conversión, ya que el número de ejes en cada grupo de carga puede multiplicarse por un factor apropiado a las aplicaciones para la carga equivalente sobre eje sencillo de 18 000 lb para grupo de carga, y una suma de éstos para todos los grupos es la aplicación de la carga equivalente sobre eje sencillo de 18 000 lb, que representa el tráfico total para el periodo de estudio.

En el capítulo No. 1 se dijo que el período de análisis de tráfico usado con frecuencia es de 20 años, el cual también es un período común en predicciones de este tipo para capacidad de diseño. Sin embargo, puede utilizarse cualquier periodo con este método de diseño, porque el tráfico se expresa como aplicaciones diarias o totales de la carga equivalente sobre un eje sencillo de 18 000 lb. Independientemente del período utilizado para el análisis, las aplicaciones totales de la carga equivalente sobre un eje sencillo de 18 000 lb son las repeticiones totales de carga que el pavimento puede soportar desde la abertura del camino al tráfico hasta el tiempo en que la capacidad de servicio del camino se reduce hasta el valor terminal seleccionado; esto es, $pt = 2.5$ o 2.0 .

Las cargas equivalentes sobre un eje, derivadas, representan los totales para todos los carriles de ambas direcciones del tráfico. Éste se debe distribuir por sentidos y por carriles para los propósitos de diseño. La distribución direccional, comúnmente se efectúa asignando el 50% del tráfico en cada sentido, a menos que las condiciones especiales justifiquen otra distribución.

4.1.1.1.3 DURACIÓN DEL PAVIMENTO

La vida útil de un pavimento puede definirse como el período durante el cual se espera que la estructura de pavimento continúe en función sin una pérdida apreciable de su valor soporte, y mantenga una condición superficial aceptable.

La vida útil del pavimento (no se confunda con el periodo de diseño del pavimento) puede extenderse indefinidamente a través de medidas de rehabilitación para su conservación, así como mediante la construcción planeada en etapas. La construcción por etapas consiste en aplicar capas sucesivas de pavimento de acuerdo con el diseño, tomando en cuenta la distribución de cargas de tráfico durante un tiempo programado.

El periodo de diseño es el tiempo seleccionado, en años para el cual el pavimento diseñado podrá soportar los efectos acumulativos del tránsito. Al final del periodo de diseño se puede esperar que el pavimento requiera una rehabilitación para mantener un alto nivel de servicio.

TABLA No. 4.1
FACTORES DE EQUIVALENCIA DE TRÁFICO
PARA PAVIMENTOS FLEXIBLE
Pt = 2.0

A. EJES SENCILLOS

Carga Axial Miles de Lb.	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
12	0.16	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17
14	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33
16	0.59	0.6	0.61	0.61	0.60	0.60
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.6
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.38	10.03	9.24	8.65	8.73	9.17
32	14.00	13.51	12.37	11.46	11.48	12.17
34	18.55	17.87	16.30	14.97	14.87	15.63
36	24.20	23.30	21.16	19.28	19.02	19.93
38	31.14	29.95	27.12	24.55	24.03	25.10
40	39.57	38.02	34.34	30.92	30.04	31.25

B. EJES TÁNDEM

Carga Axial Miles de Lb.	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
14	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
16	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
18	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
20	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10
22	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16	0.16
24	0.23	0.24	0.26	0.25	0.24	0.23
26	0.32	0.34	0.36	0.35	0.34	0.33
28	0.45	0.46	0.49	0.48	0.47	0.46
30	0.61	0.62	0.65	0.64	0.63	0.62
32	0.81	0.82	0.84	0.84	0.83	0.82
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83

Tomado de la Guía Internacional para el Diseño de Estructura de Pavimentos de la AASHTO.

TABLA No. 4.2
FACTORES DE EQUIVALENCIA DE TRÁFICO
PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES
Pt = 2.5

C. EJES SENCILLOS

Carga Axial Miles de Lb.	Número		Estructural	SN		
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002
6	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
8	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
10	0.08	0.10	0.12	0.10	0.09	0.08
12	0.17	0.20	0.23	0.21	0.19	0.18
14	0.33	0.36	0.40	0.39	0.36	0.34
16	0.59	0.61	0.65	0.65	0.62	0.61
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.31	9.55	7.94	6.83	6.97	7.79
32	13.90	12.82	10.52	8.85	8.88	9.95
34	18.41	16.94	13.74	11.34	11.18	12.51
36	24.02	22.04	17.73	14.38	13.93	15.50
38	30.90	28.30	22.61	18.06	17.20	18.98
40	39.26	35.89	28.51	22.50	21.08	23.04

D. EJES TÁNDEM

Carga Axial Miles de Lb.	Número		Estructural	SN		
	1	2	3	4	5	6
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
14	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
16	0.04	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
18	0.07	0.10	0.11	0.09	0.08	0.07
20	0.11	0.14	0.16	0.14	0.12	0.11
22	0.16	0.20	0.23	0.21	0.18	0.17
24	0.23	0.27	0.31	0.29	0.26	0.24
26	0.33	0.37	0.42	0.40	0.36	0.34
28	0.45	0.49	0.55	0.53	0.50	0.47
30	0.61	0.65	0.70	0.70	0.66	0.63
32	0.81	0.84	0.89	0.89	0.86	0.83
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49

Tomado de la Guía Internacional de Diseño para Estructura de Pavimentos de AASHTO.

4.1.1.1.4 FACTOR REGIONAL (R)

El factor regional se incluyó en la ecuación de diseño con el objeto de reflejar los factores climáticos y del ambiente, en condiciones diferentes de las de los ensayos de camino. Basados en información de ensayos de camino, los valores de R que pueden utilizarse como guía son:

Tabla No. 4.3

Descripción	Valores (R), adimensional
Material de sub-rasante congelados hasta una profundidad de 5 pulg. o más	0.2 - 1.0
Materiales de sub-rasante, secos, verano y otoño	0.3 - 1.5
Material de sub-rasante, húmedo, deshielo de primavera	4.0 - 5.0

Establecidos por los ensayos de camino de la AASHTO.

En la mayoría de casos, la selección del valor propio de R debe estar basado en las condiciones locales de la carretera en combinación con el juicio del ingeniero. El factor regional puede no ajustarse correctamente en condiciones especiales, como las que se refieren a congelaciones severas o a otros problemas locales.

4.1.1.1.5 NUMERO ESTRUCTURAL

El número estructural SN es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de pavimento requerido para una combinación especificada del valor de soporte del suelo, total de cargas equivalentes sobre un eje sencillo de 18 000 lb, índice terminal de capacidad de servicio y el factor regional. El SN requerido debe convertirse a espesores reales de capa superficial, base y sub-base por medio de los apropiados coeficientes de capas, los cuales representan la resistencia relativa del material que se va a usar en cada una de éstas.

El SN para el pavimento entero puede obtenerse por

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \quad (4.2)$$

en donde a_1, a_2, a_3 = coeficientes de capa representativa de las capas superficial, de base y sub-base respectivamente.

D_1, D_2, D_3 = espesor real, en pulg, de las capas superficiales, de base y sub-base, respectivamente.

Los coeficientes de capas se asignan a los materiales utilizados en la estructura del pavimento a fin de convertir los números estructurales a peso real. El coeficiente de capa para un material expresa la relación empírica entre SN y el

espesor y es una medida de la capacidad relativa del material para funcionar como un componente estructural del pavimento. Los valores promedio de los coeficientes de capas para los materiales usados en los ensayos de camino de la AASHTO son como sigue:

Tabla No. 4.4

Descripción	Coefficiente
Capa superficial de concreto asfáltico	0.44
Capa de base de piedra triturada	0.14
Capa de sub-base de grava arenosa	0.11

Establecidos por los ensayos de camino de la AASHTO.

Los datos de la tabla No. 4.5 pueden utilizarse como guía para una serie de coeficientes de capas producidas por la AASTHO.

Tabla No. 4.5

Componente de Pavimento	Coefficiente
Capa superficial	
Mezcla de camino (baja estabilidad)	0.20
Mezcla en planta (alta estabilidad)	0.44*
Asfalto arenoso	0.40
Capa de base	
Grava arenosa	0.07**
Piedra triturada	0.14*
Tratada con cemento (cemento sin tierra)	
Resistencia de compresión a los 7 días	
650 lib/pulg ² o más	0.23**
400 lib/pulg ² hasta 650 lib/pulg ²	0.20
400 lib/pulg ² o menos	0.15
Tratado bituminoso	
Gradación gruesa	0.34**
Asfalto arenoso	0.30
Tratado con cal	0.15-0.30
Capa de sub-base	
Grava arenosa	0.11*
Arena o arcilla arenosa	0.05-0.10

* Establecido por los ensayos de camino de la AASHTO

** Este valor se ha estimado por las pruebas de caminos de la AASHTO, pero no la exactitud de aquellos factores marcados con *.

4.1.1.1.7 VALOR SOPORTE DEL SUELO

La manera arbitraria en la cual la escala de soporte del suelo fue introducida dentro del procedimiento de diseño de la AASHTO ha sido discutido previamente, debido a que este valor ingresado (S) no puede ser obtenido directamente por pruebas; cada diseñador usando esta guía debe establecer correlaciones entre pruebas de suelos estándar y el valor soporte del suelo. Este valor se basa en una escala empírica con valores de 0 a 10. S=3 representa suelos de arcillas limosos del lecho del camino, usados en los ensayos de caminos de la AASTHO), y S=10.0 representa una base de roca triturada que se emplea en los ensayos de caminos.

Las unidades de soporte del suelo, representadas por la escala para soporte, no tiene relación directa con ningún procedimiento de ensaye del suelo. Por tanto, es necesario establecer una correlación entre el soporte del suelo y algún procedimiento de ensayos a fin de que se utilice apropiadamente este método de diseño. En la gráfica No. 4.2 se ilustra la relación entre S y varios métodos comunes para establecer la resistencia de la sub-rasante.

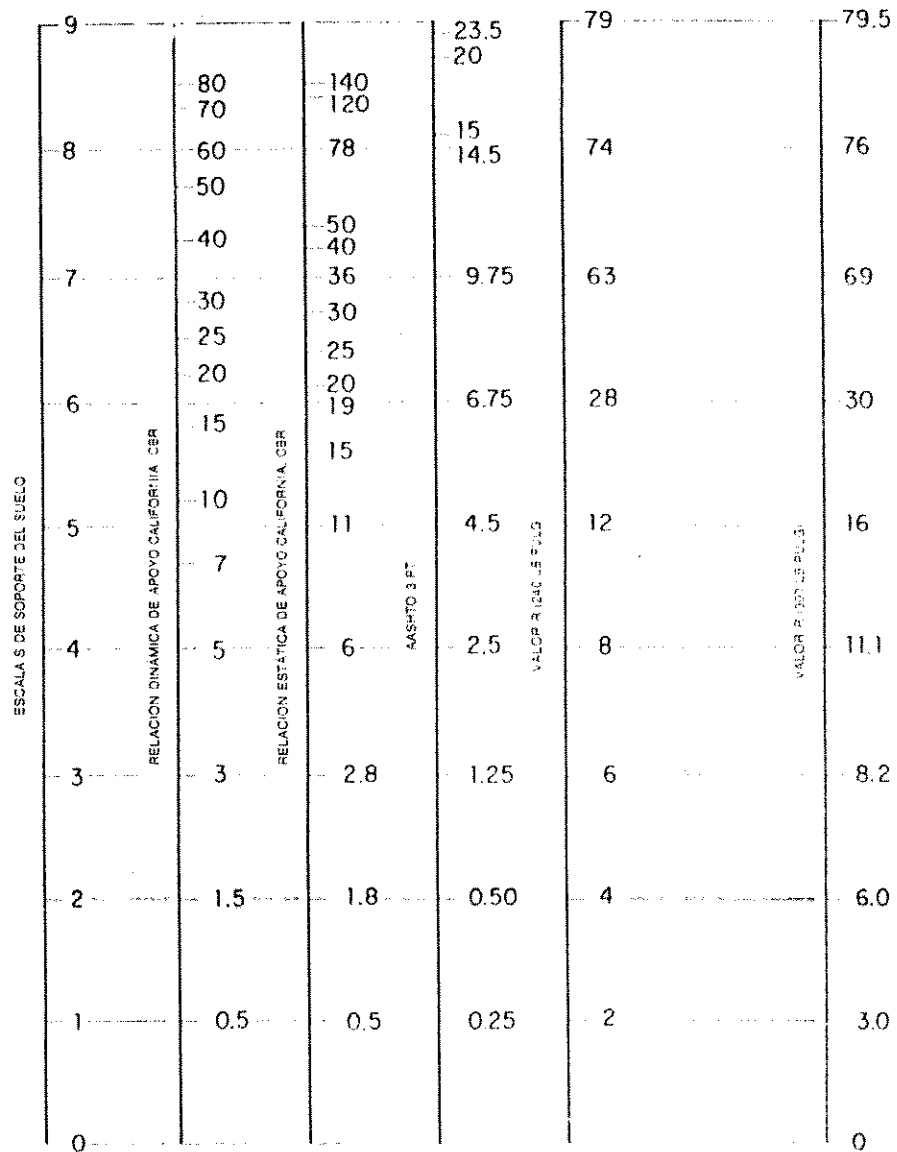
De manera general, una vez tomada la decisión respecto del Índice de Capacidad de Servicio Pt, y seleccionada la gráfica apropiada de diseño, se determina lo siguiente:

- a) Los valores representativos de soporte del suelo S para la sub-rasante.
- b) Las cargas totales o diarias equivalentes de eje sencillo de 18 000 lb para la vía de tránsito de diseño durante el periodo de análisis de éste. Como la selección de los factores de equivalencia de tránsito que se van a usar para convertir de tráfico mixto a total de cargas equivalentes sobre eje sencillo de 18 000 lb, depende del número estructural SN (tabla No. 4.1 y No. 4.2), este número debe suponerse para la conversión inicial. El uso de un SN de 3 para determinar factores de equivalencia de tránsito para eje sencillo de 18 000 lb en general, da resultados suficientemente exactos para los propósitos de diseño, aun cuando el SN final determinado sea muy diferente. Esta suposición comúnmente arroja una estimación conservadora de aplicaciones de carga equivalente sobre ejes sencillo de 18000 lb; pero, en general, el error resultante en SN no es importante.
- c) El factor regional R aplicable para la región.

La gráfica No.4.1 requiere dos aplicaciones de una regleta para cada solución. Primero, el valor de soporte del suelo de la sub-rasante (en la escala de la izquierda) y las cargas totales o diarias equivalentes sobre eje sencillo de 18 000 lb para el periodo de análisis de tráfico (la segunda escala) se usan para resolver el número estructural sin ajustar (escala del centro). Este número estructural sin ajustar se emplea con el factor regional seleccionado (cuarta escala) para resolver el SN de diseño (escala a la derecha) aplicable a la estructura total del pavimento. Los diseños convenientes son aquellas combinaciones de materiales, tipos y espesores que satisfacen la ecuación No. 4.2.

Si se dispone de varios tipos de materiales que se van a considerar para una o más de las capas de pavimento, el procedimiento previo puede utilizarse para preparar los diseños alternativos de iguales y totales números estructurales ajustados. Entonces, los

GRÁFICA No. 4.2
EQUIVALENCIA DE VALORES S DE SOPORTE DE SUELO



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

Tomado de la Guía Internacional para el Diseño de Estructura de Pavimentos, de la AASHTO.

diseños alternativos que resultan pueden compararse, y el diseño óptimo seleccionarse sobre la base de la economía y otras consideraciones aplicables.

4.1.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE DISEÑO

4.1.1.2.1 FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE Y CARGA POR EJE EQUIVALENTE (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 lb por eje). Con este propósito se recurrió a establecer las cargas máximas autorizadas, las frecuencias 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 para 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 (ver anexos). En base al mismo y utilizando los factores de carga equivalente (tabla No. 4.1 y 4.2) se preparó, para los tipos de vehículos que transitan por la carretera en estudio, la tabla No. 4.6, 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.

Tabla No. 4.6 Integración del EAL para Vehículos Autorizados por el Acuerdo Gubernativo 1084-92

Tipo Vehic.	Clasificación De Vehic.	Peso en el Eje Ton.					Peso Total en Ton.	Factor de Equivalencia de Carga SN= 5 Pt= 2.5 Sobre el Eje No.					EAL Del Vehic.	
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
1	Automóvil	1.0S	1.0S				2.0	0.0004	0.0004					0.0008
2	Pick-ups	1.6S	3.3S				4.9	0.0023	0.0251					0.0274
5	Microbuses	2.7S	3.1S				5.8	0.0098	0.0182					0.0280
6	Buses	5.0S	9.8S				14.8	0.1400	2.0326					2.1726
3	C2	5.5S	10.0S				15.5	0.1985	2.1800					2.3785
	C3	5.5S	16.5S				22.0	0.1985	1.4280					1.6265
	C4	5.0S	20.0U				25.0	0.1400	0.7230					0.8630
	T2-S1	5.0S	9.0S	9.0S			23.0	0.1400	1.4590	1.4590				3.0580
4	T2-S2	5.0S	9.0S	16.0T			30.0	0.1400	1.4590	1.2640				2.8630
	T3-S1	5.0S	16.0T	9.0T			30.0	0.1400	1.2640	1.4590				2.863
	T3-S2	5.0S	16.0T	16.0T			37.0	0.1400	1.2640	1.2640				2.668
	T3-S3	5.0S	16.0T	20.0U			41.0	0.1400	1.2640	0.7230				2.127
	C2-R2	5.5S	10.0S	7.0S	7.0S		29.5	0.1985	2.1800	0.5420	0.5420			3.4625
7	C3-R2	5.5S	16.5T	7.0S	7.0S		36.0	0.1985	1.4280	0.5420	0.5420			2.7105
	C3-R3	5.5S	16.5T	7.0S	10.0T		39.0	0.1985	1.4280	0.5420	0.1800			2.3485
7	T2-S1-R2	5.0S	9.0S	9.0S	7.5S	7.5S	38.0	0.1400	1.4590	1.4590	0.7150	0.7150		4.4880
	T3-S1-R2	5.0S	16.0T	9.0S	5.0S	7.5S	42.5	0.1400	1.2640	1.4590	0.1400	0.7150		3.7180
	T3-S1-R4	5.0S	16.0T	9.0S	10.0T	10.0T	50.0	0.1400	1.2640	1.4590	0.1800	0.1800		3.223
	T3-S2-R2	5.0S	16.0T	16.0T	5.0S	7.5S	49.5	0.1400	1.2640	1.2640	0.1400	0.7150		3.523
	T3-S2-R4	5.0S	16.0T	16.0T	10.0T	10.0T	57.0	0.1400	1.2640	1.2640	0.1800	0.1800		3.0280

EAL = Eje de Carga Equivalente

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

-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, correspondiente a los años 1992, 1993, 1994 y 1995. de esta manera, como se muestra en el tabla No. 4.7, se pudo establecer en promedio los porcentajes de cada tipo de vehículo pesado que utiliza la carretera.

Tabla No. 4.7 Vehículos Controlados en la Estación de Puerto Barrios

Tipo de Camión	1992		1993		1994		1995		TOTAL	
	No.	%.	No.	%.	No.	%.	No.	%.	No.	%.
C-2	3,984	10.17	5,341	10.17	3,379	9.30	4,164	8.97	16,868	9.67
C-3	1,978	5.05	2,652	5.05	1,920	5.28	2,050	4.41	8,600	4.92
C-4		0.00		0.00		0.00		0.00	0	0.00
C2-R-2	6	0.02	8	0.02		0.00		0.00	14	0.01
C3-R2		0.00	3	0.01		0.00		0.00	3	0.00
C3-R-3	2	0.01		0.00		0.00		0.00	2	0.00
T2-S1	14	0.04	19	0.04		0.00	7	0.02	40	0.02
T2-S2	4	0.01	5	0.01		0.00	2	0.00	11	0.01
T3-S1	9	0.02	12	0.02	10	0.03	7	0.02	38	0.02
T3-S2	32,945	84.07	44,163	84.07	30,813	84.79	39,992	86.11	147,913	84.76
T3-S3	246	0.63	330	0.63	216	0.59	222	0.48	1,014	0.58
T2-S1-R2		0.00		0.00		0.00	1	0.00	1	0.00
T3-S1-R2		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
T3-S2-R2	1	0.00	1	0.00		0.00		0.00	2	0.00
T3-S2-R3		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
T3-S2-R4		0.00		0.00	1	0.00		0.00	1	0.00
Total	39,189	100.00	52,534	100.00	36,339	100.00	46,445	100.00	174,507	100.00

En el cuadro anterior se puede observar que entre los vehículos pesados, los tipos T3-S2, pertenecientes a la categoría 4 representan más del 50% del total, mientras que los tipos C-2 y C-3, representan respectivamente el 10% y el 5% del total de los vehículos pesados, seguidos por los T3-S3 con el 0.6%. Los otros tipos de vehículos transitaron por la carretera en porcentaje muy bajos.

En la tabla No. 4.8, se presenta la información anterior, agrupando los vehículos de acuerdo al número de ejes, a fin de establecer las proporciones de los mismos en la integración del factor de carga equivalente aplicable a cada categoría de vehículos.

**Tabla No. 4.8 Vehículos Controlados en la Estación de Puerto Barrios
Clasificados por Número de Ejes**

Tipo de Vehículo	1992		1993		1994		1995		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Camiones de 2 Ejes										
C-2	3,984	10.17	5,341	10.17	3,379	9.30	4,164	8.97	16,868	9.67
C-3	1,978	5.05	2,652	5.05	1,920	5.28	2,050	4.41	8,600	4.93
C-4		0.00		0.00		0.00		0.00	0	0.00
Total										
Camiones de 3 Ejes										
T2-S1	14	0.04	19	0.04		0.00	7	0.02	40	0.03
T2-S2	4	0.01	5	0.01		0.00	2	0.00	11	0.01
T3-S1	9	0.02	12	0.02	10	0.03	7	0.02	38	0.02
T3-S2	32,945	84.07	44,163	84.07	30,813	84.79	39,992	86.11	147,913	84.76
T3-S3	246	0.63	330	0.63	216	0.59	222	0.48	1,014	0.58
Total			44,529							
Camiones de 4 Ejes o más										
C2-R2	6	0.02	8	0.02		0.00		0.00	14	0.01
C3-R2		0.00	3	0.01		0.00		0.00	3	0.00
C3-R3	2	0.01		0.00		0.00		0.00	2	0.00
T2-S1-R2		0.00		0.00		0.00		0.00	0	0.00
T3-S1-R2		0.00		0.00		0.00	1	0.00	1	0.00
T3-S2-R2	1	0.00	1	0.00		0.00		0.00	2	0.00
T3-S2-R3		0.00		0.00		0.00		0.00	0	0.00
T3-S2-R4		0.00		0.00	1	0.00		0.00	1	0.00
Total										
TOTAL	39,189		52,534		36,339		46,445		174,507	

- 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 cada una de las siete categorías de vehículos utilizados en los conteos de tránsito. Esta integración se muestra a continuación en la tabla No. 4.9. Cabe indicar que para los automóviles, pick-ups, microbuses y buses, por tratarse de unidades no sujetas al control de pasaje, se seleccionaron los factores de carga equivalente de uso común para diseño de pavimentos.

Tabla No. 4.9 Carga por Eje Equivalente, EAL para los distintos tipos de Vehículos de la Clasificación de la DGC

Tipo de Vehículo	Procedimiento de Integración	EAL
Automóvil	Valor tomado directamente de la tabla No. 4.6	0.0008
Pick-ups	Valor tomado directamente de la tabla No. 4.6	0.0274
Microbuses	Valor tomado directamente de la tabla No. 4.6	0.0280
Buses	Valor tomado directamente de la tabla No. 4.6	2.1726
Camiones de 2 Ejes	$(C2*2.3785+C3*1.6265+C4*0.8630)/100$	0.3102
Camiones de 3 Ejes	$(T2-S1*3.058+T2-S2*2.8630+T3-S1*2.863+T3-S2*2.668+T3-S3*2.127)/100$	2.2755
Camiones de 4 Ejes o más	$(C2-R2*3.4625+C3-R2*2.7105+C3-R3*2.3485+T3-S1-R2*3.7180+T3-S2-R2*3.523+T3-S2-R4*3.0280)/100$	0.0003

NOTA: En la integración se debe sustituir el tipo de vehículo por el porcentaje correspondiente, tomado de la tabla No. 4.8

-Carga por Eje Equivalente: De acuerdo con los requerimientos del programa que aplica la metodología del Instituto de Asfaltos los factores de carga equivalente indicados en la tabla No. 4.9 fueron aplicados al tránsito proyectado en el Capítulo No. 1, estableciendo así el EAL correspondiente tanto diario, como anual, desde el presente hasta el final del período de diseño, como se muestra en la tabla No. 4.10. No obstante que los factores de carga equivalente se aplicaron a cada uno de los tipos de vehículos, en la tabla No.4.10, los resultados se agruparon de acuerdo al número de ejes y número de llanta, en la forma requerida por el programa. Los valores obtenidos de esta forma representan las cargas de diseño para la estructura del pavimento.

Tabla No. 4.10 Ejes de Carga Equivalentes (EAL)

Año	2 Ejes, 4 Llantas FEC= 0.0187 (1)		2 Ejes, 6 Llantas FEC= 1.2414 (2)		3 Ejes FEC= 2.2755 (3)		5 Ejes FEC= 0.0003 (4)		IPDA	EAL
	No.	%.	No.	%.	No.	%.	No.	%.		
1996	1020	66.83	381	24.98	70	4.59	55	3.61	1526	237,739
1997	1050	66.88	391	24.92	72	4.60	57	3.61	1570	244,328
1998	1081	66.93	402	24.86	74	4.60	58	3.62	1616	251,116
1999	1114	66.97	412	24.80	77	4.61	60	3.62	1663	258,083
2000	1147	67.02	423	24.74	79	4.62	62	3.63	1711	265,263
2001	1181	67.06	435	24.68	81	4.62	64	3.63	1761	272,637
2002	1216	67.11	446	24.62	84	4.63	66	3.64	1813	280,222
2003	1253	67.16	458	24.57	86	4.63	68	3.64	1866	288,021
2004	1290	67.20	471	24.51	89	4.64	70	3.65	1920	296,042
2005	1329	67.24	483	24.45	92	4.65	72	3.65	1976	304,297
2006	1368	67.29	496	24.40	95	4.65	74	3.66	2034	312,788
2007	1409	67.33	510	24.34	98	4.66	77	3.67	2093	321,523
2008	1452	37.37	523	24.29	101	4.67	79	3.67	2154	330,507
2009	1495	67.42	537	24.24	104	4.67	82	3.68	2217	339,755
2010	1540	67.46	552	24.18	107	4.68	84	3.68	2282	349,259
2011	1586	67.50	567	24.13	110	4.68	87	3.69	2349	359,039
2012	1633	67.54	582	24.08	113	4.69	89	3.69	2418	369,106
2013	1682	67.58	598	24.02	117	4.70	92	3.70	2488	379,450
2014	1732	67.62	614	23.97	120	4.70	95	3.70	2561	390,091
2015	1784	67.66	631	23.92	124	4.71	98	3.71	2636	401,038
2016	1837	67.70	648	23.87	128	4.72	101	3.71	2713	412,309
2017	1892	67.74	665	23.82	132	4.72	104	3.72	2793	423,903
2018	1948	67.78	683	23.77	136	4.73	107	3.72	2875	435,831

Procedimiento: Para los vehículos de 2 ejes y 4 llantas, sumamos los vehículos de las categorías 1, 2 y 5 tomados de la proyección del tránsito total (Cap. No.1) así, $257+629+134=1020$; y así para cada uno de los tipos de ejes y número de llantas; luego cada categoría sumada se multiplica por el factor de equivalencia de carga (FEC), siendo estos: $1020*0.0187=19.74+ 472.97+ 159.29 + 0.0165=651.35*365= 237,739$. (este ejemplo es para el año de 1996, hacer lo mismo para los siguientes).

- NOTAS: (1) Incluye vehículos de la categoría 1,2 y 5.
 (2) Incluye vehículos de la categoría 3 y6.
 (3) Incluye vehículos de la categoría 4
 (4) Incluye vehículos de la categoría 7

Carga por Eje Equivalente (EAL) total: 7,040,280 aplicaciones (Sunatoria de 1998 a 2018)

Ejes Equivalentes para el diseño: $7,040,280/2$: 3,520,140 aplicaciones.

4.1.1.2.2 PERÍODO DE DISEÑO

El período de diseño definido para esta vía es de 20 años a partir de 1998.

4.1.1.2.3 ÍNDICE DE SERVICIO

Se ha adoptado un índice de servicio de 2.5 dadas las condiciones previstas para esta carretera.

4.1.1.2.4 FACTOR REGIONAL

Las características climáticas del proyecto, se define como un clima cálido húmedo, con invierno seco; y de acuerdo a al tipo de suelos encontrados, se estableció un factor regional igual a 1.00

Para el diseño del pavimento se propondrá una capa de base de piedra o grava triturada y una carpeta de rodadura de concreto asfáltico mezclado en planta (método convencional), por lo que se considera oportuno en este capítulo, previo a entrar al diseño estructural, hacer unas observaciones sobre la calidad de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento, así como las característica de los mismo.

4.2 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CALIDAD DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LAS DIFERENTES CAPAS DEL PAVIMENTO

4.2.1 SUB-RASANTE

a) Materiales Inapropiados para Sub-Rasante: (1) Suelos clasificados como A-8 según AASHTO M 145, que son altamente orgánicos, constituidos por materiales vegetales, parcialmente carbonizadas o fangosos; su clasificación se basa en inspección visual y no depende de pruebas de laboratorio; se componen de materia orgánica parcialmente podrida; generalmente tiene textura fibrosa; color café oscuro o negro y olor a podredumbre; son altamente compresibles y tiene muy baja resistencia. Además basura o impurezas, que pueden ser perjudiciales para la cimentación del pavimento.

(2) Las rocas aisladas, mayores de 10 cm, que se encuentran incorporadas en los 30 cm superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

b) Materiales Apropiado para Sub-Rasante: Son suelos de preferencia granulares con menos de 3% de hinchamiento en ensayo AASHTO T 193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se está reacondicionando y que además, no sean inadecuados para sub-rasante de acuerdo al inciso anterior.

4.2.2 SUB-BASE

La capa de sub-base debe estar construida por suelo de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los requisitos siguientes:

a) **Valor Soporte:** El material debe tener un CBR, AASHTO T-193, mínimo de 30, efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación, AASHTO T 180, o bien un valor R, AASHTO T 190, mayor de 50.

b) **Piedras Grandes y Exceso de Finos:** El tamaño máximo de las piedras que contenga el material de sub-base, 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 más del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 200.

c) **Plasticidad y Cohesión:** El material de sub-base debe de tener las características siguientes:

(1) **Plasticidad:** La porción que pasa el tamiz No. 40, no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T 9, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 25, determinados ambos, sobre muestras preparadas en húmedo, AASHTO T 146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

(2) **Equivalente de Arena:** No debe ser mayor de 25, determinado por el método AASHTO T 176.

d) **Impurezas:** El material de sub-base debe estar razonablemente exento de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa de sub-base puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

4.2.3 CAPA DE SUB-BASE ESTABILIZADA

a) **Requisitos de los materiales a estabilizar:** Los suelos a estabilizar pueden ser los existentes en la sub-rasante previamente preparada y reacondicionada; suelos seleccionados de bancos aprobados por el Delegado Residente, para utilizarse, ya sea en su estado natural, mezclando varios de ellos, o en combinación con los suelos de la sub-rasante. Los suelos a estabilizar no deben de contener piedras mayores de 5 cm, materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas en la sub-base estabilizada puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

No se debe utilizarse para la sub-base estabilizada, los suelos que estén comprendidos dentro de los materiales inapropiados para sub-rasante, a menos que se trate de estabilización con cal; ni los que tengan un índice de plasticidad determinado por el método AASHTO T 90, mayor de 20, ni más de 70% de partículas que pasen el tamiz No. 200, según AASHTO T 11 cuando se usa cal o cemento. Estos límites se reducen a un máximo de 15 de índice de plasticidad y a no más de 50% de partículas más finas que el

tamiz No. 200 cuando se usa un material bituminoso. No deben utilizarse además suelos que contengan mica talco en cantidades que afecten la adecuada estabilización.

b) Requisitos para los materiales estabilizadores: De acuerdo a 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 siguientes requisitos:

(1) Cal Hidratada: De preferencia debe utilizarse cal hidratada que llene los requisitos de AASHTO M 216, Tipo I.

(2) Lechada de Cal: Debe llenar los requisitos siguientes:

- Composición Química: El contenido de sólidos debe consistir de un mínimo de 70% en peso, de óxido de calcio y magnesio.

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

Tabla No. 4.11

Tamiz No.	Máximo Residuo Retenido
6	0.00%
10	1.00%
30	2.50%

(3) Grado de Lechada: Debe corresponder a uno de los grados siguientes:

-Grado 1: El contenido de sólidos secos no debe ser mayor de 31% del peso total de la lechada.

-Grado 2: El contenido de sólidos secos no debe ser mayor de 35% del peso total de la lechada.

(3) 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 Y; y la graduación de la granza determinada por el método AASHTO T 27 debe estar dentro de los límites siguientes:

Tabla No. 4.12

Tamiz No.	Porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada.
3/8"	100
40	60
200	45

La granza de cal debe además, estar libre de impurezas como fragmentos de madera, grumos de arcilla y sustancia que afecten su efectividad como material estabilizador.

(4) 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 24 horas.

(5) Cemento Portland: Debe utilizarse cemento Portland que llene los requisitos de la norma AASHTO M 85-63 para el tipo especificado. Con la aprobación previa por escrito por el Ingeniero puede utilizarse otra clase de cemento o cemento a granel.

c) Requisitos del Agua: El agua a utilizar en las operaciones de estabilización, debe ser clara, libre de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, vegetales o demás sustancias que puedan ser perjudiciales para la efectividad de la estabilización, según el tipo de producto estabilizador utilizado.

d) Requisitos para el Material Estabilizador: A menos que las disposiciones especiales lo indiquen de otra forma, el material estabilizado debe llenar los requisitos siguientes:

(1) Valor soporte: El material de sub-base ya estabilizado debe tener un valor R, determinado por el método AASHTO T 190, mayor de 55; o bien un CBR determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 40, efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación, determinada por el método AASHTO T 180, T 220 ó T 134, dependiendo del material estabilizador; y un hinchamiento máximo de 1%, en el ensayo efectuado según AASHTO T 193.

(2) Resistencia a Compresión: El material de sub-base ya estabilizado debe tener una resistencia a compresión no confinada determinada por el método AASHTO T 220 para cal o ASTM D 1632 y D 1633, para cemento, mayor de 350 lib/pulg² a la edad de 7 días.

(3) Plasticidad y Cohesión: El material ya estabilizado con cal o cemento, debe tener un límite líquido determinado por el método AASHTO T 89, no mayor de 20; y un índice de plasticidad determinado por el método AASHTO T 90, no mayor de 4. El equivalente de arena determinado según AASHTO T 176, no debe ser menor de 30.

4.2.4 BASE DE GRAVA O PIEDRA TRITURADA

El material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, trituradas y mezcladas con material de relleno, de manera que el producto obtenido, corresponda a uno de los tipos de graduación aquí estipulados y llene además los requisitos siguientes:

a) Valor Soporte: El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 90%, efectuado sobre muestra triturada, a 95 % de compactación AASHTO T 180, o bien un valor R, AASHTO T 96, de acuerdo a las Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

b) **Abrasión:** La porción de agregado, retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 50 a 500 revoluciones, según AASHTO T 96.

c) **Caras Fracturadas, y Partículas Planas o Alargadas:** No menos del 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4 deben tener por lo menos una cara fracturada; ni más del 20% en peso pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) **Impurezas:** El material de base o piedra triturada, debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basuras, terrones de arcillas o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base, pueden causar a criterio profesional, fallas en el pavimento.

e) **Graduación:** El material para capa de base de grava o piedra triturada, debe llenar los requisitos de graduación, determinada según AASHTO T 27 y T 11, para un de los tipos que se establecen a continuación:

Tabla No. 4.13 Tipo de Graduación para el Material

Tamiz No.	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de abertura Cuadrada					
	Tipo "A" 2" Máximo		Tipo "B" 1 1/2" Máx.		Tipo "C" 1" Máximo	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1 1/2"			100	100		
1	65-85	70-90	70-95	70-100	100	100
3/4"	50-80	50-75	55-85	60-90	70-100	70-100
3/8"				45-75		50-80
4	30-60	25-60	30-60	30-60	35-65	35-65
10				20-50		25-50
40	10-25	7-30	10-25	10-30	15-25	15-30
200	3-10	0-15	3-10	5-15	3-10	5-15

Tomado de las Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

f) **Plasticidad y Cohesión:** El material de base de grava o piedra triturada, 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 características siguientes:

(1) **Plasticidad:** La porción que pasa el tamiz No. 40, no debe tener un índice de plasticidad, AASHTO T 90, mayor de 3 y un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 25, determinados ambos sobre muestras preparadas en húmedo, AASHTO T 146.

(2) **Material más Fino de 0.075 mm:** El porcentaje que pasa el Tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

(3) **Equivalente de Arena:** No debe ser menor de 40, determinado según AASHTO T 176.

g) **Material de Relleno:** Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarles características

adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de roca, u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen el tamiz No. 10.

4.2.5 BASE GRANULAR

El material de base granular debe consistir de preferencia en piedra o grava clasificadas sin triturar, o solamente con trituración parcial, combinadas con arena y material de relleno para formar un material de base granular que llene los siguientes requisitos:

a) **Valor Soporte:** Debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 70% efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación, determinada por el método AASHTO T 180 y un hinchamiento máximo de 0.5% en el ensayo efectuado según AASHTO T 193, o bien un valor R, determinado por el método AASHTO T 190, mayor de 65.

b) **Abrasión:** La porción de agregado retenida en el Tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 á 500 revoluciones.

c) **Partículas Planas o Alargadas:** No más del 25% en peso del material retenido en el tamiz No. 4, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) **Impurezas:** El material de base granular debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura, terrones de arcillas o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base granular puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

e) **Graduación:** El material para base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinados por los métodos AASHTO T 27 y T 11, para el tipo que se indique en las disposiciones especiales, de los que se estipulan a continuación.

Tabla No. 4.14 Tipo de Graduación

Tamiz No.	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de abertura Cuadrada					
	Tipo "A" 2" Máximo		Tipo "B" 1 1/2" Máx.		Tipo "C" 1" Máximo	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1 1/2"			100	100		
1	70-90	60-85			100	100
3/4"			60-90			
4	25-60	20-50	30-60	20-50	35-65	40-70
40					15-30	
200	3-15	3-10	5-15	3-10	5-15	3-15

Tomado de las Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

f) **Plasticidad y Cohesión:** La fracción de material que pasa el tamiz No. 4, incluyendo el material de relleno, no debe tener en la porción que pasa el tamiz No. 40, un índice de

plasticidad mayor de 6, determinado por el método AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 25, según AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestras preparada en húmedo, de conformidad con AASHTO T 146. El equivalente de arena no debe ser menor de 30, según AASHTO T 176.

g) Material de Relleno: Cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico u otro material con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz No. 10.

4.2.6 CAPA DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

Estos materiales deben consistir en piedra, grava o arena de río solamente clasificadas sin triturar; cuando así lo indiquen las disposiciones especiales, se puede requerir trituración parcial o total de la piedra o grava, en todo caso, los materiales pétreos pueden combinarse con material de relleno, en proporciones adecuadas, para formar un material para estabilizar; que llene los requisitos siguientes.

a) Abrasión: La porción de material retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste de abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 a 500 revoluciones. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente puede permitirse un porcentaje de desgaste mayor, pero en ningún caso, más de 60 a 500 revoluciones.

c) Desintegración del Sulfato de Sodio: No debe tener una pérdida de peso mayor de 15% al ser sometido cinco ciclos, en el ensayo efectuado según AASHTO T 104.

d) Caras Fracturadas y Partículas Planas o Alargadas: Cuando se requiera piedra o grava triturada, no menos del 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4, deben de tener por lo menos, una cara fracturada. En todo caso, no más del 20% en peso, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

e) Impurezas: El material a estabilizar debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base estabilizada con cemento portland, pueda causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

f) Graduación: El material a estabilizar debe cumplir con los requisitos de graduación determinado por el método AASHTO T 27 y T 11 para uno de los tipos que se establecen a continuación, según lo que indiquen las disposiciones especiales.

Tabla No. 4.15 Graduación del Material Triturado

Tamiz No.	Porcentaje por Peso que pasa un Tamiz de abertura cuadrada		
	Tipo "A" 2" Máx.	Tipo "B" 1 1/2" Máx.	Tipo "C" 1" Máx.
2"	100		
1 1/2"		100	
1"	70-90	70-100	100
3/4"	50-85	60-90	70-100
3/8"		45-75	50-80
4	25-60	30-60	35-65
10		20-50	25-50
40	7-30	10-30	15-30
200	3-15	5-15	5-15

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

Tabla No. 4.16 Graduación del Material sin Triturar o Parcialmente Triturado

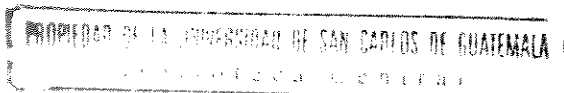
Tamiz No.	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de abertura Cuadrada						
	Tipo "A" 2" Máximo		Tipo "B" 1 1/2" Máx.		Tipo "C" 1" Máximo		Tipo "D" 1/2" Máx.
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1
2"	100	100					
1 1/2"			100	100			
1"	70-90	60-85			100	100	
3/4"			60-90				100
3/8"							75-100
4	25-60	20-50	30-60	20-50	35-65	40-70	40-80
10							25-70
40					15-30		6-35
200	5-15	3-10	5-15	3-10	5-15	3-15	3-15

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

g) Plasticidad: La fracción de material a estabilizar que pasa el tamiz No. 4 incluyendo el material de relleno, no debe tener, en la porción que pasa el tamiz No. 40, un índice de plasticidad mayor de 9, AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 30, AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestras preparadas en húmedo de conformidad con el método AASHTO T 146. El equivalente de arena no debe ser menor de 25, AASHTO T 176. El porcentaje que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

h) Peso: El material a estabilizar debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad, y su peso unitario determinado según AASHTO T 19, no debe ser menor de 60 libras/pie³.

y) Material de relleno: Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra en forma natural en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría, éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, arena pómez, polvo de roca, limo inorgánico u otro material, con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz No. 10.



4.2.7 CAPA DE RODADURA

4.2.7.1 MEZCLA ASFÁLTICA CON PIEDRA O GRAVA

El agregado pétreo debe de consistir en piedra o grava de buena calidad, solamente clasificada sin triturar, o cuando así lo requieran la disposiciones especiales y los planos, deberán triturarse y combinando el producto obtenido, con arena pétreo y polvo de roca, naturales o de trituración, según el caso. El agregado pétreo debe llenar los requisitos siguientes:

a) **Abrasión:** La porción del agregado retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 40 a 500 revoluciones, AASHTO T 96.

b) **Desintegración al Sulfato de Sodio:** El agregado no debe tener una pérdida de peso mayor de 15% al ser sometido a cinco ciclos en el ensayo AASHTO T 104.

c) **Caras Fracturadas y Partículas Planas o Alargadas:** Cuando se use piedra o grava trituradas, no menos del 40% por peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4, deben tener por lo menos una cara fracturada. En todo caso no más del 15% en peso, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud de cinco veces el espesor promedio de dicha partícula.

d) **Impurezas:** El agregado no tiene que tener material vegetal, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la mezcla asfáltica con piedra o grava puedan producir, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

e) **Graduación:** El agregado pétreo, listo para ser mezclado con material bituminoso, debe cumplir con los requisitos de graduación determinadas según AASHTO T 27 y T 11, para uno de los tipos establecidos, según lo indiquen las disposiciones especiales, dependiendo si es mezcla en planta o en el camino, de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla No. 4.17 Tipo de Graduación para Agregado de Mezcla Asfáltica

Tamiz No.	Porcentaje por Peso que pasa en Tamiz de Abertura Cuadrada									
	Tipo "A" 1/2" Máximo		Tipo "B" 1" Máximo			Tipo "C" 3/4" Máximo			Tipo "D" 1/2" Máximo	
	A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2
1 1/2"	100	100								
1	90-100	70-100	100	100	100					
3/4"	40-75	50-80	90-100	70-100	80-100	100	100	100		
1/2"	10-35				70-90	90-100	70-100	80-100	100	100
3/8"	5-25	25-50	20-55	35-60	60-80	40-70	45-75	70-90	70-100	80-100
4	0-20	10-30	0-10	15-35	50-70	0-15	20-40	50-70	20-40	55-75
8	0-10	5-20	0-5	5-20	35-50	0-5	5-20	35-50	5-20	35-50
30					19-30			18-29		18-29
50					13-23			13-23		13-23
100								8-16		8-16
200		0-4		0-4	0-8			4-10	0-4	4-10

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

f) Características de Plasticidad: La fracción de agregado que pasa el tamiz No. 40, incluyendo el polvo mineral, no debe tener un índice plástico mayor de 6, AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 25 según AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestras preparada en húmedo AASHTO T 146. El equivalente de arena no debe ser menor de 40, AASHTO T 176.

g) Peso: El agregado debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y su peso unitario, AASHTO T 19, no debe ser menor de 70 lib/pie³.

h) Resistencia al Desvestimiento: Las partículas de agregado debe ser de tal naturaleza que al recubrirlas completamente con material bituminoso del tipo y grado a usarse en la mezcla asfáltica, no presente evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70% de las partículas perfectamente cubiertas con material bituminoso al efectuar el ensayo por inmersión en agua a 60 grados centígrados, de acuerdo a las Especificaciones Generales de la Dirección General de Caminos..

4.2.7.2 CONCRETO ASFÁLTICO

El agregado pétreo debe consistir en piedra o grava triturada de buena calidad combinadas con arena, polvo de roca, naturales o de trituración y polvo mineral, para formar un agregado clasificado que llene los requisitos siguientes:

a) Abrasión: La porción de agregado retenida en el tamiz No. 8, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, AASHTO T 96, no mayor de 40 a 500 revoluciones.

b) Desintegración al Sulfato de Sodio: El agregado retenido en el tamiz No. 8, no debe tener una pérdida de peso mayor de 10% al ser sometido a cinco ciclos, AASHTO T 104.

c) Caras fracturadas y Partículas Planas o Alargadas: No menos del 90% por peso, de las partículas retenidas en el tamiz No. 8 deben tener por lo menos una cara fracturada. No menos del 75% por peso, de las partículas retenidas en el tamiz No. 8 deben tener por lo menos dos caras fracturadas. no más del 8% por peso, pueden ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) Impurezas: El agregado Pétreo no debe contener material vegetal, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro del concreto asfáltico, puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

e) Peso: El agregado pétreo debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y su peso unitario AASHTO T 19 no debe ser menor de 85 lib/pie³.

f) Graduación: El agregado pétreo elaborado, listo para ser mezclado con asfalto, debe llenar los requisitos de graduación determinada según AASHTO T 27, T 11 y T 37, para uno de los tipos establecidos en las Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.

g) Características de plasticidad: La fracturación de agregado que pasa el tamiz No. 40 incluyendo el polvo mineral, no debe tener un índice de plasticidad mayor de 4, AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 20 AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo AASHTO T 146. El equivalente de arena AASHTO T 176, no debe ser menor de 35.

4.2.6 TRATAMIENTO ASFÁLTICO SUPERFICIAL

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

a) Abrasión: No debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión AASHTO T 96, mayor de de 35 a 500 revoluciones.

b) Desintegración al Sulfato de Sodio: No deben tener una pérdida de peso mayor de 12% al ser sometido a cinco ciclos, en el ensayo AASHTO T 104.

c) Caras Fracturadas, Partículas Planas o Alargadas: No menos del 75% en peso, de las partículas del agregado deben de tener por lo menos una cara fracturada, ni más del 10% en peso, podrán ser partículas, planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) Impurezas y Polvo: Deben de 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.

e) Peso: Los agregados deben ser razonablemente uniformes en calidad y densidad y su peso unitario, AASHTO T 19 no debe ser menor de 80 lib/pie³.

f) Graduación: Los agregados pétreos deben cumplir con los requisitos de graduación, AASHTO T 27, para los tipos seguidamente establecidos, dependiendo de que el tratamiento asfáltico superficial esté compuesto de 1,2 o 3 capas, según lo indiquen las disposiciones especiales.

**Tabla No. 4.18 Tipo de Graduación
Tipo 1 Agregado para primera aplicación**

Tipo y Grado	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de Abertura Cuadrada						
	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8
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

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

**Tabla No. 4.19 Tipo de Graduación
Tipo 2 Agregados para segunda aplicación**

Tipo y Grado	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de Abertura Cuadrada						
	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 100
2-A	100	65-100	0-30		0-1		
2-B		100	85-100	10-30	0-10	0-5	0-2

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

**Tabla No. 4.20 Tipo de Graduación
Tipo 3 Agregado para tercera aplicación**

Tipo y Grado	Porcentaje por Peso que Pasa un Tamiz de Abertura Cuadrada					
	3/8"	No. 4	No. 10	No. 16	No. 40	No. 100
3-A	100	45-70	0-20	0-4		
3-B	100	70-100	10-50		0-5	0-1

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

Nota: Si el tratamiento superficial es en una capa, se deben usar graduaciones 1-D. Si es en dos capas, hay dos alternativas: (1) Graduación 1-C con 2-B, la combinación más usada. (2) Graduación 1-A con 3-A. Y finalmente, para Tratamiento Superficial en tres capas, también hay dos combinaciones: (1) Graduación 1-A, 2-A y 3-B. (2) Graduación 1-B, 2-B y 3-A.

4.2.7 RIEGO DE IMPRIMACIÓN

En este numeral se describirá lo relativo a la calidad de los materiales del riego de imprimación, para lo cual se sugiere ver el capítulo No. 5.

a) Material Bituminoso: El tipo, grado, especificaciones y temperatura de aplicación para el material bituminoso, debe ser uno de los establecidos en la tabla siguiente, a menos que lo indiquen de otra forma las disposiciones especiales.

Tabla No. 4.21

Tipo y Grado de material Bituminoso	Especificaciones	Temperatura de Aplicación	
		F ^o	C ^o
1) Asfaltos Líquidos RC-70; MC-30; MC-70 RC-250; MC-250	AASHTO M 81, M 82	120-160	49-71
	AASHTO M 81, M 82	160-200	71-93
2) Alquitrán RT 2 RT 3	AASHTO M 52	60-125	16-52
	AASHTO M 52	80-150	27-66

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

b) Material Secante: El material secante debe estar constituido por arena natural o de trituración, con las siguientes características:

(1) Granulometría.

Tabla No. 4.22

Tamiz No.	Porcentaje en Peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada.
3/8"	100
4	90-100
200	0-7

Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

(2) Plasticidad: La porción que pasa el tamiz No. 4 no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T 90 mayor de 6, el límite líquido AASHTO T 89 no debe ser mayor de 25, ambos determinados sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146.

(3) Impurezas: El material secante no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias que pueden incrustarse dentro de la superficie imprimida, causando deterioro en la misma.

4.2.10 RIEGO DE LIGA

En este numeral se describirá lo relativo a la calidad de los materiales del riego de liga para lo cual se sugiere ver el capítulo No. 5.

El tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación, para el material bituminoso de riego de liga, debe ser uno de los establecidos en la tabla siguiente, a menos que lo indiquen de otra forma las disposiciones especiales.

Tabla No. 4.23

Tipo de Grado de Material Bituminoso	Especificaciones	Temperatura de Aplicación	
		F ^o	C ^o
1) Asfaltos Líquidos RC-70	AASHTO M 81	120-160	49-71
2) Emulsiones * SS-1, SS-1h CSS-1, CSS-Ah	AASHTO M 140 AASHTO M 128	75-130	24-55
3) Alquitranes RTCB-5, RTCB-6	AASHTO M 52	60-120	16-49
4) Cemento Asfáltico 85-100 Penetración AC-20	AASHTO M 20 AASHTO M 226	290-400	143-204

* Se debe diluir al 50% con agua. Para efectos de pago se deben medir sólo la emulsión sin diluir. Tomado de las Especificaciones Generales Para la construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.

4.3 DISEÑO DE ESPESORES DEL PAVIMENTO

4.3.1 ESPESORES MÍNIMOS DE LAS CAPAS (AASHTO)

Los procedimientos de diseño que establecen espesores de capas de pavimento, también toman en consideración los requerimientos de construcción para colocar las capas de éste. Por ejemplo, es impracticable construir capas de pavimento en espesores de menos de $1 \frac{1}{4}$ a $1 \frac{1}{2}$ veces el tamaño del agregado más grande de la mezcla. Si se toman en cuenta los tamaños del agregado usado normalmente, la guía para los espesores prácticos y mínimos que pueden aplicarse generalmente es como sigue:

Tabla No. 4.24

Capa de Pavimento	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Capa superficial	2	5
Capa de Base	4	10
Capa de Sub-Base	4	10

Tomado de la AASHTO.

4.3.2 ESPESOR DE LA BASE, SUB-BASE Y CAPA DE RODAMIENTO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS.

a) **Capa de Sub-Base:** 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 centímetros ni mayor de 70 centímetros. Los espesores de sub-base requeridos deben ser los indicados en los planos y/o disposiciones especiales, o los resultantes del diseño de pavimento, para cada tramo correspondiente.

b) **Capa de Base:** El espesor de la capa a tenderse no debe ser mayor de 30 centímetros ni menor de 10 centímetros.

c) **Capa de Rodamiento:** Esta capa además de evitar que se desgaste o se desintegre la capa de base por el tránsito de vehículos, contribuye adicionalmente a aumentar la capacidad soporte del pavimento si su espesor es mayor de 2 pulgadas (5 centímetros), pero en ningún caso mayor de 6 pulgadas (15 centímetros).

4.3.3 DISEÑO DE ESPESORES POR TRAMOS

Tramo No.1

Procedimiento de diseño:

- a) Se definirá un nivel de servicio de 2.5 dadas las condiciones previstas para esta carretera.
- b) Se establecerá un periodo de diseño de 20 años ya que se considera este numero de años el periodo de diseño de un pavimento.
- c) Para el diseño del espesor se utilizará la gráfica No. 4.1, nomograma para el diseño de pavimentos flexibles, para un índice de capacidad de servicio terminal $P_t=2.5$.

Una vez tomada la decisión respecto del índice terminal de capacidad de servicio P_t y seleccionada la gráfica apropiada de diseño, se determina lo siguiente:

1. Valores representativos de soporte del suelo para la sub-rasante: según la gráfica No. 2.4 el CBR óptimo de diseño es de 3.75%, este valor se busca en la gráfica No. 4.2 en la escala de Relación soporte de Apoyo California, CBR, luego se lee el valor correspondiente en la escala de Soporte del Suelo; el valor así obtenido será el valor soporte de suelo (S_i) de diseño, siendo este igual a 3.40.
2. Cargas totales o diarias equivalentes de eje sencillo de 18000 libras para la vía de tránsito de diseño durante el periodo de análisis de éste: como la selección de los factores de equivalencia de tránsito que se van a utilizar para convertir de tráfico mixto a total de cargas equivalentes sobre eje sencillo de 18000 libras, dependen del número estructural SN, este número debe suponerse para la conversión inicial. De acuerdo a la tabla No. 4.10 el número de carga de ejes equivalentes es de $3.52E6$ aplicaciones.
3. Factor regional R aplicable para la región: siendo éste para el diseño igual a 1.0
4. El número estructural final de diseño: para obtener este número se hará uso de la gráfica No. 4.1; Ésta requiere de dos aplicaciones de una regleta para cada solución. Primero, el valor de soporte del suelo de la sub-rasante (en la escala de la izquierda) y las cargas totales o diarias equivalentes sobre ejes sencillo de 18000 libras para el período de análisis de tráfico (la segunda escala) se usan para resolver el numero estructural sin ajustar (escala del centro). Este número estructural sin ajustar se emplea con el factor regional seleccionado (cuarta escala) para resolver el SN de diseño (escala a la derecha) aplicable a la estructura total del pavimento. Para el diseño el numero estructural quedo igual a 4.54.

De acuerdo a los materiales propuestos para los espesores, los coeficientes de capas son : ($a_1=0.44$, $a_2=0.14$ y $a_3=0.11$). La ecuación No. 4.2 queda de la siguiente manera:

$$SN = 0.44D_1 + 0.14D_2 + 0.11D_3$$

Se establecerá que el material de sub-base tendrá un CBR de 30 y la capa de base un CBR de 80, para todos los tramos de acuerdo a la tabla No. 2.1.

Para poder establecer las tolerancias, se tiene que para el material de sub-base, $S=6.80$ y para la base $S=9.00$, según gráfica No. 4.2. Los valores respectivos de SN para estas dos capas obtenidas de la gráfica No.4.1 son 2.85 y 2.07 respectivamente. Así para

estas condiciones alguna estructura del pavimento propuesta debe tener un SN mayor o igual a 4.54 por encima de la sub-rasante, un SN mayor o igual a 2.85 por arriba de la sub-base y un SN mayor o igual a 2.07 por arriba del curso de la base. De este modo el espesor mínimo de la carpeta de rodadura será: $D1_{\min} = (SN \text{ base})/a1 = 2.07/0.44 = 5''$.

Para establecer el espesor mínimo de la capa de base, se partirá de que por arriba de la capa de sub-base debe haber un SN mayor o igual a 2.85, de esta manera: $a1D1 + a3D3 > SN \text{ sub-base}$. Entonces; $0.44*5'' + 0.14*D3 > 2.85$, para un valor mínimo de 5'' se satisface la desigualdad.; Tomando en cuenta estos valores mínimos a continuación se presentan los espesores propuestos para cada capa del pavimento.

Material	Espesor	Fac. Capa	$D_i * a_i$
Carpeta Rod.	5''	0.44	2.20
Base	6''	0.14	0.84
Sub-Base	14''	0.11	1.54

Como se puede notar espesores propuestos satisfacen las condiciones anteriormente descritas, ya que: $2.20+0.84=3.04$ es mayor a 2.85, 2.20 es mayor a 2.15 y $2.20+0.84+1.54 = 4.58$ es mayor a 4.55. El espesor total para estos tramos es de 25 pulgadas (64 centímetros).

b) Tramo No. 2 y No. 4:

Para estos tramos, el procedimiento de diseño del espesor será el mismo que se describió anteriormente por lo que se omitirán los pasos.

-Período de diseño	20 años
-Índice de serviciabilidad	2.5
-No. de ejes equivalentes (EAL)	3.52E6
-Factor Regional R	1.00
-Sub-rasante CBR	4.75
-Sub-base CBR	30
-Base CBR	80
-Valor S de soporte del suelo	3.85
-Numero estructural SN	4.28

Material	Espesor	Fac. Capa	$D_i * a_i$
Carpeta Rod.	5''	0.44	2.20
Base	6''	0.14	0.84
Sub-Base	12''	0.11	1.32

Los espesores propuestos para este tramo satisfacen las condiciones dadas para el diseño. $2.20+0.84+1.32=4.36$ es mayor a 4.28. El espesor total para este tramo es de 23 pulgadas (58 centímetros).

c) Tramo No. 3:

- Período de Diseño	20 años
- Índice de Serviciabilidad inicial	2.50
- No. de Ejes Equivalentes [EAL]	3.52E6
- Factor Regional [R]	1.00
- Sub-Rasante C.B.R.	4.00
- Sub-Base C.B.R.	30.00
- Base C.B.R.	80.00
- Valor [S] de Soporte del Suelo	3.50
- Número Estructural [SN]	4.48

Material	Espesor	Fac. Capa	Di*ai
Carpeta Rod.	5"	0.44	2.20
Base	6"	0.14	0.84
Sub-Base	13.10"	0.11	1.44

Los espesores propuestos para este tramo satisfacen las condiciones dadas para el diseño. $2.20+0.84+1.44=4.48$ es igual a 4.78. El espesor total para este tramo es de 24 pulgadas (61 centímetros).

4.3.4 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL PAVIMENTO FLEXIBLE

Para la superficie de rodadura se colocará una Capa de Concreto Asfáltico mezclado en caliente y en planta, ya que ésta es la más usada en pavimentos flexibles, debido a que su resistencia es muy alta al corte y a la compresión, recomendable para tránsito pesado. La mezcla en frío es muy utilizada en trabajos de mantenimiento, recomendable para tránsito liviano. La capa de rodadura de espesor fijo de 5" pulgadas (13 centímetros) a lo largo de todo el proyecto y con una graduación tipo (D-3), la cual se extenderá sobre el ancho completo de la Base.

La capa de Base será de grava o piedra triturada, tendrá un espesor fijo de 6 pulgadas (15 centímetros) a lo largo de todo el proyecto. El material de la Base debe depositarse sobre la sub-base previamente preparada y aceptada, ya sea directamente con camiones de volteo, tendiéndolo con motoniveladora; o por medio de equipo especial que asegure su distribución en una capa de material uniforme y sin segregación, en una sola operación y que lo acondicione en un ancho no menor de 3 metros, de acuerdo a lo estipulado a las Especificaciones Generales para el Diseño de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos y la AASHTO.

La capa de Sub-Base será colocada sobre la Sub-Rasante previamente reacondicionada, tendrá un espesor variable, según Valor Soporte de la CBR de la Sub-Rasante, pero en ningún caso será menor de 10 centímetros ni mayor de 25 centímetros. Según las Especificaciones Generales, cuando el espesor de la Sub-Base es mayor de 30 centímetros el material debe ser colocado en dos o más capas, nunca menores de 10 centímetros, no permitiéndose la colocación de la capa siguiente, antes de comprobar la compactación de la inmediata anterior. El material suelto de Sub-Base colocado, debe corresponder en cantidad, al espesor de la capa a tender en el ancho total establecido en la

sección típica de pavimentación, Especificaciones Generales para el Diseño de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos así como también las dadas por la AASHTO, tomando en cuenta reducción de volumen por la compactación.

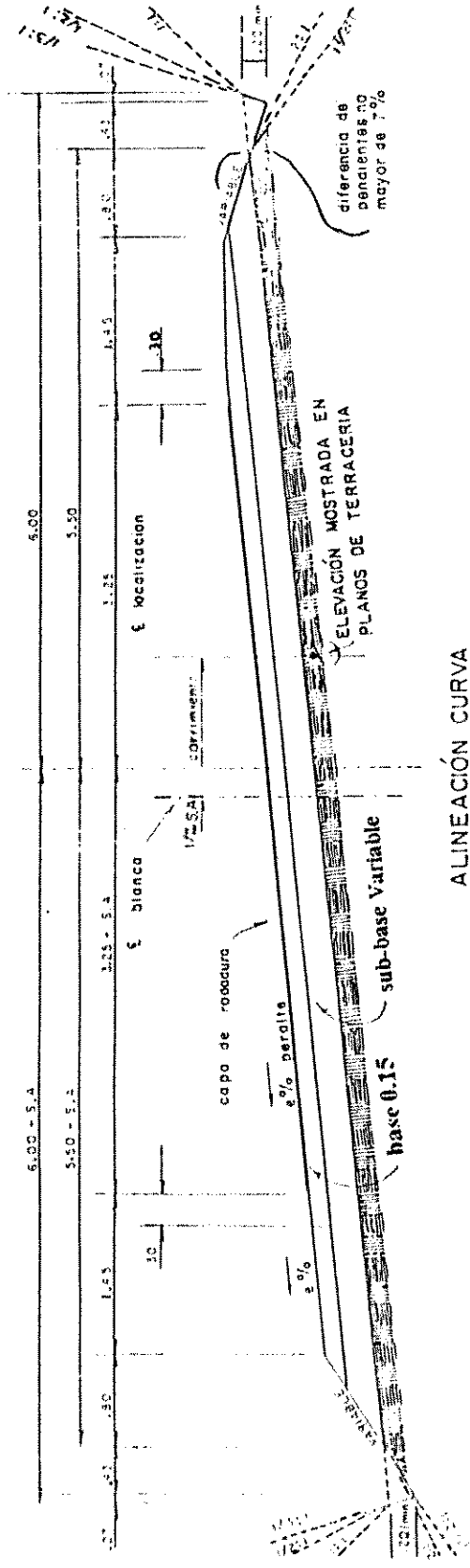
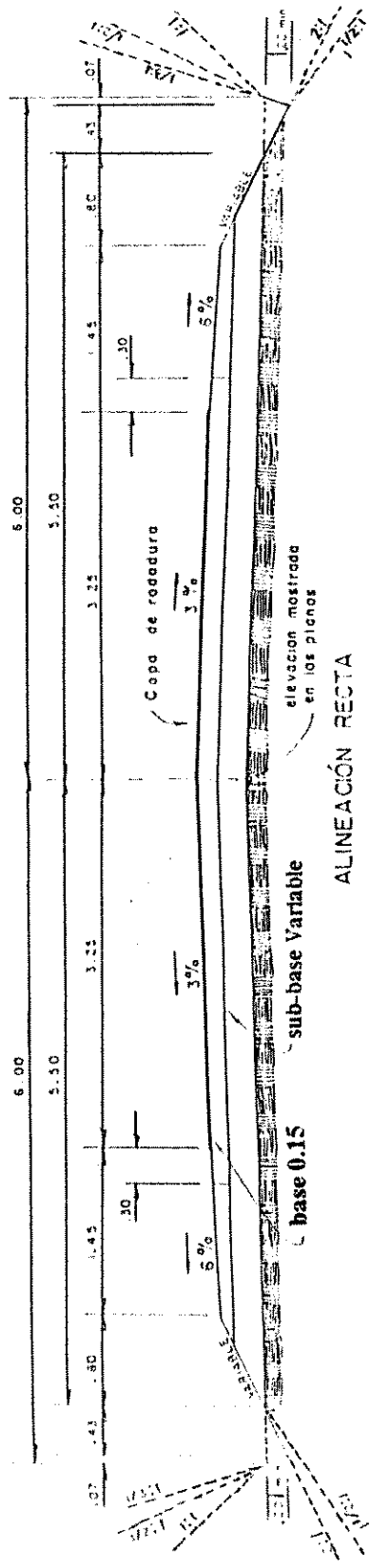
4.3.4.1 SECCIÓN TÍPICA

La sección típica de pavimentación, es la representación gráfica de un corte transversal que muestra en proyección vertical, las pendientes, espesores, dimensiones y composición de las capas de la estructura del pavimento, hombros, cunetas, contracunetas, etc., de una carretera. Estas secciones se clasifican desde categoría tipo "A" hasta tipo "G", dependiendo del ancho de calzada a utilizar.

La carretera en estudio actualmente tiene una longitud de 45.218 kilómetros, con las características de una sección típica "D", con un ancho de calzada e 6.00 metros y superficie de rodadura de tierra.

Con la pavimentación de la carretera, se mejorarán las características físicas de la carretera, tales como: el alineamiento vertical y horizontal, la carpeta de rodadura, drenaje mayor y menor, así como otros aspectos técnicos relacionados con la ingeniería del proyecto, ajustándose a una sección típica "C", con un ancho de calzada de 6.50 metros.

PROYECTO: CA-11, VADO HONDO - EL FLORIDO
 SECCIÓN TÍPICA TIPO "C"
 PAVIMENTO FLEXIBLE



CARRETERA TIPO "C"

ANCHO DE CALZADA	6.50 m
ANCHO DE TERRACERIA CORTE	12.00 m
RELLENO	11.00 m
ANCHO DE DERECHO DE VIA	25.00 m

SECCIÓN TÍPICA
 DEPARTAMENTO DE CARRETERAS
 ESCALA — 1:50

CAPÍTULO No. 5

ESTIMACIÓN DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

5.1 GENERALIDADES

Al proyectar un pavimento, debe elegirse la sección que presente una combinación óptima de cualidades técnicas y costo. Debe empezarse por estudiar varias soluciones comparables, teniendo en cuenta todos los materiales disponibles, realizando a continuación un análisis económico para determinar cuál es la solución más satisfactoria.

Este análisis se realiza usualmente refiriéndose al costo anual por kilómetro durante el período establecido para la amortización de la inversión. Si no existe una diferencia evidente entre dos o más soluciones, deben proponerse todas estas como alternativas de diseño. Tomando en este caso la solución que más se adapte a las condiciones del lugar en donde se construirá el pavimento.

Frecuentemente, resulta menor el costo anual de un pavimento proyectado para su construcción por etapas que si se especifica la construcción de la estructura completa desde el primer momento. La economía se debe principalmente a la mayor duración de la estructura con una inversión aproximadamente igual.

Otra ventaja de la construcción por etapas se debe a la intensidad del tráfico que utiliza el pavimento. Para establecer el proyecto inicial debe estimarse la intensidad del tráfico, de manera que el aplazamiento de las últimas etapas de la construcción haga posible lograr una adaptación mejor al tráfico real que utiliza la carretera, ya que es posible realizar correcciones en el proyecto aumentando o disminuyendo el espesor final. Si es posible disminuir este espesor porque el tráfico es inferior al que se estimó previamente, se logra una economía en la construcción, mientras que si es necesario incrementarlo, se logra ahorro al evitar las averías que producirían las cargas excesivas.

5.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

Para la construcción de pavimentos flexibles, se sigue una serie de trabajos o renglones, los cuales se describen a continuación.

5.1.1.2 REACONDICIONAMIENTO DE LA SUB-RASANTE

Ésta es la operación que consiste en escarificar, homogeneizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la sub-rasante de una carretera previamente construida, efectuado cortes y rellenos, no mayores de 20 centímetros de espesor; con el objeto de regularizar, mejorando mediante estas operaciones las condiciones de la sub-rasante, como cimiento de la estructura del pavimento.

Las operaciones de construcción de la sub-rasante son las siguientes:

- a) Limpieza
- b) Delimitación de tramos a Reacondicionar
- c) Escarificación, Tendido y conformación
- d) Compactación

La sub-rasante reacondicionada se debe aceptar para efectos de pago, hasta que se encuentre debidamente cubierta con el material de sub-base, en el ancho total de la sub-rasante indicado en las secciones típicas de pavimentación. No se permite que la sub-rasante ya reacondicionada, quede sin recubrir con sub-base, en una distancia mayor de 2 kilómetros.

La medida se debe hacer del número de kilómetros lineales, con aproximación de tres decimales, de sub-rasante reacondicionada, debidamente construida y aceptada de acuerdo a lo indicado en las disposiciones especiales, Especificaciones Generales de la DGC y planos correspondientes.

El pago se debe hacer de acuerdo al número de kilómetros medido como se indica en el párrafo anterior por el precio unitario de contrato, correspondiente a Reacondicionamiento de sub-rasante, una vez que esta halla sido construida y aceptada conforme a planos, Especificaciones Generales de la Dirección General de Caminos y disposiciones especiales.

5.1.1.2 CAPA DE SUB-BASE

Este trabajo consiste en la obtención, explotación, acarreo, tendido, humedecimiento, mezcla, conformación y compactación del material de sub-base; el control de laboratorio y operaciones necesarias para construir en una o varias capas, una sub-base del espesor compactado requerido, sobre la sub-rasante previamente preparada y reacondicionada; todo de acuerdo a lo indicado en los planos, ajustándose razonablemente a los alineamientos horizontal y vertical, y secciones típicas de pavimentación, dentro de la tolerancia estipulada.

La medida de la sub-base se debe hacer del número de metros cúbicos de capa de sub-base, con aproximación de dos decimales, medidos y compactados, en su posición final y satisfactoriamente construido. El volumen debe determinarse por procedimientos analíticos y dentro de los límites y dimensiones indicados en las secciones típicas de pavimentación y alineamientos horizontal y vertical mostrado en los planos. La longitud debe medirse sobre la línea central de la carretera, en proyección horizontal.

El pago se debe hacer de acuerdo al número de metros cúbicos medidos como se indicó anteriormente por el precio unitario de contrato, una vez que la capa de sub-base halla sido construida satisfactoriamente como lo establecen las Especificaciones y debidamente cubiertos con capa de base y hombros.

5.1.1.3 CAPA DE BASE

Este trabajo consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración de la piedra o grava, combinándolas con material de relleno para formar un material clasificado; el apilamiento y almacenamiento, el transporte, tendido, mezcla, humedecimiento, conformación y compactación del material; la regulación del tránsito; así como el control de laboratorio de todas las operaciones necesarias para construir la base de grava o piedra triturada, en una o varias capas, conforme lo indicado en los planos, y ajustándose razonablemente a los lineamientos horizontal y vertical y secciones típicas de pavimentación.

La aceptación para efectos de pago, de la capa de base de piedra triturada, se debe efectuar hasta que ésta se encuentre debidamente imprimada, en el ancho total de la base, indicado en las secciones típicas de pavimentación.

La medida se debe hacer del número de metros cúbicos, con aproximación de dos decimales, de capa de base de grava o piedra triturada, medidos ya compactados, en su posición final en la carretera y satisfactoriamente construida de acuerdo a las Especificaciones Generales de la Dirección General de Caminos. La longitud debe hacerse sobre la línea central de la carretera en proyección horizontal.

El pago se debe hacer de acuerdo al número de metros cúbicos medidos como se indicó anteriormente por el precio unitario de contrato, una vez que esta capa halla sido construida satisfactoriamente, y que esté debidamente imprimada.

5.1.1.4 RIEGO DE IMPRIMACIÓN

Se llama así a las aplicaciones de un asfalto líquido de baja viscosidad en una superficie absorbente; sus principales funciones son: A) Impermeabilizar las bases, penetrando no menos de un centímetro y llenando sus vacíos. B) Endurecer y proteger las bases. C) Aumentar la adherencia entre las bases y las capas superiores; y permita además mayor margen de tiempo para colocar la carpeta final. Aunque los riegos de imprimación cumplan con todas las funciones anteriores, no es conveniente que los vehículos transiten mucho tiempo sobre ellos, pues no tienen la suficiente resistencia para esa finalidad.

Este trabajo consiste en la delimitación y preparación de la superficie a imprimir, barriéndola y humedeciendo previamente; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento y esparcimiento, por medio de tanque distribuidor a presión, del material bituminoso; el control del tránsito, proyección y señalización del área imprimada; el suministro, transporte, distribución y compactación del material secante; el barrido y mantenimiento de la superficie imprimada hasta que se coloque la capa inmediata superior.

Previamente a la aplicación de la imprimación, debe de removerse de la superficie a tratar, todo el material suelto y extraído por medio de barrido, utilizando barredora mecánica, escoba giratoria y fuelle mecánico (Instrumento para recoger aire y lanzarlo con dirección determinada). Tanto la escoba como el fuelle deben ser adecuados para lograr una limpieza eficiente, sin dañar la superficie. El fuelle debe se capaz de ajustarse para

que sople, del centro al borde exterior de la carretera. Todo este equipo debe estar provisto de sistemas con ruedas de llantas neumáticas.

Después que la superficie halla sido barrida, se procede a inspeccionar visualmente a fin de observar si no presentan grietas, descascarados o exceso de material fino o humedad que puedan perjudicar la penetración uniforme del material bituminoso.

Cabe indicar que no se permite efectuar riego 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. La humedad del campo se puede determinar, secando el material o por el método usando carburo AAHSTO T 217. Se debe tomar una muestra cada 10,000 galones, para controlar si el material bituminoso cumple con los requisitos establecidos en el capítulo No. 4 de este trabajo.

La medida se debe hacer de acuerdo al número de galones (U.S.A.) tipo de los Estados Unidos de América a la temperatura de 60°F (15.6°C), ordenados, con aproximación de dos decimales, del material bituminoso para imprimación satisfactoriamente aplicados y aceptados dentro de las tolerancias establecidas.

El pago debe hacerse de acuerdo al número de galones, medidos como se indicó anteriormente por el precio unitario de contrato, correspondiente a Riego de Imprimación.

5.1.1.5 RIEGOS DE LIGA

Se les llama así a las aplicaciones muy ligeras de asfalto, cuyo objeto es aumentar la adherencia entre una capa existente y una nueva.

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

Previamente a la aplicación del riego de liga, debe removerse de la superficie a tratar, todo el material suelto y extraño por medio de barrido, utilizando barredora mecánica, escoba giratoria y fuelle mecánico, Tanto la escoba como el fuelle deben estar diseñados especialmente para lograr una limpieza eficiente sin dañar la superficie. El fuelle debe ser capaz de ajustarse para que sople del centro al borde exterior de la carretera. Todo este equipo debe estar provisto de sistema con ruedas de llantas neumáticas. En el caso de que a pesar del barrido, persistan áreas con arcillas o limo fuertemente adheridas o restos de excrementos de animales, será necesario un lavado con agua a presión y cepillar estas áreas; las partes lavadas deberán haber secado totalmente antes de aplicar el riego de liga.

No se permiten Riegos de Liga cuando la temperatura sea menor de 15°C, esté lloviendo o cuando la humedad de la superficie a tratar sea tal que perjudique la acción ligante del material y obstaculice la adherencia entre las dos superficies; de preferencia debe pasarse una unidad secadora antes de aplicar el riego de liga.

La aceptación del Riego de Liga, para efectos de pago se debe efectuar, hasta que esté cubierta totalmente con la capa bituminosa inmediata superior.

La medida se debe hacer por en número de galones tipo de los Estados Unidos de América, a la temperatura de 60°F, con aproximación de dos decimales, de material bituminoso sin diluir para Riego de Liga, ordenados, satisfactoriamente aplicados y aceptados dentro de las tolerancias.

El pago se debe hacer por el número de galones, medido como se indico anteriormente, al precio unitario de contrato, correspondiente a Riego de Liga.

5.1.1.6 HOMBROS

Dadas las condiciones de los suelos altamente erosionables, se ha previsto para los hombros la misma estructura de pavimento, así mismo las cunetas deben ser revestidas convenientemente para su protección.

5.1.1.7 CONCRETO Y CEMENTO ASFÁLTICO

Este trabajo consiste en: la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración de piedra o grava mezclándolas con arena y polvo mineral, para formar un agregado pétreo clasificado; la obtención, almacenamiento, suministro y aplicación del polvo mineral; el apilamiento, almacenamiento, acarreo, aprovisionamiento, preparación y calentamiento del agregado pétreo; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento y aplicación del cemento asfáltico; la elaboración de la mezcla de concreto asfáltico en planta fija; el transporte, tendido, conformación y compactación de la mezcla asfáltica; y la regulación del tránsito; así como el control de laboratorio durante todas las operaciones necesarias para construir el concreto asfáltico en una o varias capas, de conformidad con lo indicado en los planos y ajustándose razonablemente a los alineamientos horizontal y vertical.

La mezcla transportada a la carretera debe colocarse y tenderse a una temperatura, mínima de 265°F (130°C), con máquina pavimentadora autopropulsada especial para este tipo de trabajo, que permita ajustar el espesor y el ancho a tender, el cual no debe ser menor de 3 metros, asegurando un esparcimiento uniforme en una sola operación. El espesor de cada capa no debe ser mayor de 6 pulgadas (15 centímetros). La longitud máxima de los tramos de tendido y el espesor, deben estar condicionados al equipo de compactación de que se dispongan y a las pérdidas de temperatura que sufra la mezcla. El espesor de la capa nunca debe ser menor del doble del tamaño máximo del agregado.

La mezcla de concreto asfáltico debe ser rechazada, si la temperatura en el momento de descarga en la carretera es menor de la temperatura de tendido, con la tolerancia establecida. Se debe aceptar, hasta que está se encuentre, en el ancho total de

superficie indicado en las secciones típicas de pavimentación, debidamente compactada y dentro de las tolerancias establecidas.

Cuando las Disposiciones Especiales así lo estipulen expresamente, la medida se debe hacer de número de toneladas de 2 000 libras (907.18 Kg), con aproximación de dos decimales de concreto asfáltico.

El pago se debe hacer por el número de toneladas, medido como se indicó anteriormente, satisfactoriamente construidas y aceptadas como lo establecen los planos, Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales, al precio unitario de contrato, correspondiente al concreto asfáltico.

La medida del cemento asfáltico se debe hacer del número de galones, tipo de los Estado Unidos de América, a la temperatura de 60°F, con aproximación de dos decimales, de cemento asfáltico.

El pago del cemento asfáltico se debe hacer por el número de galones, medidos como se indicó anteriormente, satisfactoriamente aplicados y aceptados como lo establecen los planos, Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales al precio unitario de contrato correspondiente a Cemento Asfáltico para Concreto Asfáltico.

5.2 RECURSOS REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para desarrollar el proyecto, éste requiere de recursos económicos, los cuales son: recursos humanos (profesional y técnico); y recursos materiales (maquinaria, equipo y derecho de vía).

De acuerdo a la sección típica de la carretera bajo estudio, el derecho de vía es de 25 metros, área que se define de acuerdo al reglamento de derecho de vía de la Dirección General de Caminos.

Con maquinaria moderna cualquier tipo de construcción asfáltica puede reducirse esencialmente a un proceso mecánico. La finalidad de las especificaciones es fijar los diversos pasos indispensables en el proceso, para que se obtengan resultados uniformemente buenos. Para conseguir esta finalidad la tendencia es conseguir nuevos tipos de maquinaria y mejorar aún más los ya disponibles. Las especificaciones de construcción deben promover este progreso y utilizar las ventajas tan pronto como aparezcan. A continuación se detalla la maquinaria y equipo a utilizarse en el proceso de ejecución del proyecto.

a) Reacondicionamiento de la Sub-Rasante

- 1 tractor D6
- 1 Rodillo vibratorio pata de cabra.
- 2 Motoniveladora de 140 G
- 1 Bomba de Agua de 4"
- 1 Regadora (2,000 Galones)

b) Capa de Sub-Base

Limpia y Explotación de Sub-Base

- 1 Tractor D8
- 2 Cargador 930

Colocación y Compactación de Sub-Base

- 2 Compactadoras C-550
- 5 Motoniveladora 140 G
- 4 Vibracompactadora Raygo 440
- 1 Regadora (2,000 Gls.)
- 1 Bomba de agua de 4"
- 1 Camión de servicio

c) Capa de Base

Limpia y Explotación de la Base

- 2 Tractor D8
- 1 Cargador 930
- 2 camiones de volteo de 10 M³

Trituración de Base

- 2 Plantas de trituración medianas
- 2 Cargadores 930
- 2 Soldadoras
- 2 Compresoras

Preparación de la Mezcla

- 2 Plantas mezcladoras
- 5 Calderas
- 2 Básculas Plataformas
- 2 Cargadores 930
- 4 Camiones de volteo

Colocación y Compactación

- 2 Distribuidor de Mezcla
- 2 Compactadoras neumáticas de 25 ton.
- 2 Vibrocompactadoras
- 2 Compactadoras de rodillo
- 15 Camiones de Volteo 8M³

d) Riego de Imprimación
Colocación

- 1 Distribuidora de Asfalto
- 2 Barredora-Sopladora
- 2 Regadoras (2.000 Gls.)
- 2 Bombas de agua de 4"
- 5 Camiones de volteo 5M³
- 1 Tanque de depósito en Caliente.

e) Concreto Asfáltico
Preparación de la Mezcla

- 2 Plantas mezcladoras
- 5 Calderas
- 2 Báscula Plataforma
- 2 Cargadores 930
- 4 Camiones de volteo

Colocación y Compactación

- 2 Distribuidoras de mezcla
- 2 Compactadoras neumáticas de . 25 ton
- 2 Vibrocompactadoras
- 2 Compactadoras de rodillo
- 15 Camiones de volteo 8M³

f) Cemento Asfáltico
Preparación de la Mezcla

- 6 Tanques depósito en caliente.

Materiales

- Cemento Asfáltico AC/85-100
- Toneles aditivos anti-stripping
- Galones de Kerosene
- Galones de Diesel
- Pita, papel y cepillo

g) Riego de Liga
Preparación de la Mezcla

- 1 Distribuidora de asfalto
- 2 Barredora Sopladora

- 2 Regadora (2,000 Gls)
- 2 Bomba de agua de 4"
- 5 Camiones de volteo 5M³
- 1 Tanque deposito en caliente.

5.3 COSTO DEL PAVIMENTO

Nº.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNI- DAD	CANTIDAD (Q.)	
				UNITARIO	TOTAL
PAVIMENTO					
Longitud: 41.544 Sección típica "C"					
1	Reacondicionamiento de la sub-rasante	41.54	Km.	69,365.7 1	2,881,451.59
2	Capa de Sub-Base	113,037.00	M ³	89.97	10,169,938.89
3	Capa de Base	68,895.00	M ³	231.52	15,950,570.40
4	Riego de Imprimación	135,619.00	Gal.	18.02	2,443,854.38
5	Concreto Asfáltico	55,116.00	Tons.	140.84	7,762,537.44
5	Cemento Asfáltico para Concreto Asfáltico	793,665.00	Gal.	11.32	8,984,287.20
7	Riego de Liga	49,614.00	Gal.	17.08	847,407.12
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN PARA EL AÑO DE 1996					49,040,047.02

CONCLUSIONES

- Los factores más importantes en la proyección de una carretera o calle, son el volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, su variación, su tasa de crecimiento y su composición.
- La calidad, naturaleza, espesor y composición por seleccionarse para una estructura de camino, dependen de las condiciones de cimentación, de la disponibilidad local del material, de los costos relativos, del tránsito proyectado, del mantenimiento del tránsito durante la construcción y de los métodos de construcción de la localidad y de si se está considerando la construcción por etapas.
- El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas, cuando dicho terreno presenta diferentes contenidos de humedad
- Las características de los materiales utilizados influirán en el espesor de cada una de las capas componentes del pavimento y, por lo tanto, en el espesor total.
- Para el diseño de pavimento se utilizará el método que se plantea en la Guía Internacional de Diseño para Estructura de Pavimentos de la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. Este método se considera confiable ya que toma en consideración factores importantes como lo son: Estudios de tránsito, Valor Soporte (C.B.R.) del terreno de fundación, cualidades de los materiales, pérdida de nivel de servicio del pavimento, factores climáticos y del ambiente.
- Los métodos empleados en Guatemala para el diseño y selección del pavimento, son adoptados de otros países y, por lo tanto, concebidos para las condiciones y requerimientos propios del lugar de origen. Al hacer uso de ellos, el ingeniero deberá tener en cuenta que las condiciones no son, necesariamente, iguales en Guatemala y que el empleo de dichos métodos estará condicionado a la clase de información local con que se cuente.
- Una de las principales funciones de la sub-base es reducir el costo del pavimento, disminuyendo el espesor de la base, que se construye, por lo general, con material de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas.
- Otra función de la sub-base es proteger la base aislándola de la terracería, ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico y cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de sub-base el material de la terracería se introducirá en la base, pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las

condiciones de humedad, a la vez disminuirá la resistencia estructural de ambos materiales cuando se usan gravas de río o piedra triturada en la base.

- Una de las principales funciones de la base es absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir los esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación.
- La función primordial de la capa de rodamiento será proteger la base, impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua que pudieran saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además evita que se desgaste o se desintegre la capa de base por el tránsito de vehículos, contribuye adicionalmente a aumentar la capacidad soporte del pavimento si su espesor es mayor de 2 pulgadas.

RECOMENDACIONES

- Actualmente, en Guatemala, se ha intensificado la construcción de obras civiles; por lo cual se ha incrementado la demanda de profesionales conocedores de la materia. Por lo tanto se recomienda que la Facultad de Ingeniería, a través de la Escuela de Ingeniería Civil, profundice y actualice el curso de pavimentos, dando a conocer en el mismo los diferentes métodos y criterios para el diseño estructural de pavimentos.
- Para seleccionar el espesor del pavimento, realizar previamente un estudio de varias soluciones comparables, teniendo en cuenta todos los materiales disponibles, realizando a continuación un análisis económico para determinar cuál es la solución más conveniente.
- Debido al crecimiento en el tránsito en Guatemala, es necesario que se fortalezcan los estudios para determinar los índices de crecimiento vehicular, para así poder hacer las proyecciones básicas y poder tener datos recientes y reales para el diseño de espesor de un pavimento.
- Realizar supervisión estricta, en la construcción de cada capa estructural del pavimento, apegándose a lo que indican las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos y otros aplicables.

BIBLIOGRAFÍA

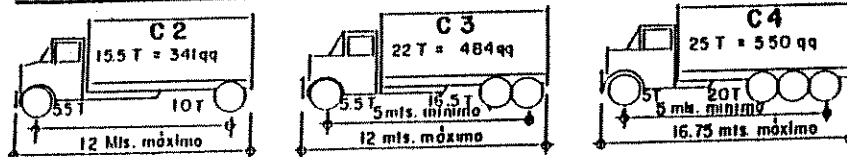
- MONCAYO V., Jesús. MANUAL DE PAVIMENTOS. Segunda Edición. México. Editorial Continental. Mayo 1983.
- MERRITT, Frederick S. INGENIERÍA DE CAMINOS. MERRITT, Frederick S. MANUAL DEL INGENIERO CIVIL, VOL. III. Tercera Edición. México. McGraw-Hill. Junio 1993.
- AASHTO., American Association Of State Highway And Transportation Official. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIAL AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING, PART I. Sixteenth Edition. 1993.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, Ministerio de Comunicaciones y Obras Publicas. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES. Guatemala, 1975
- CÁRDENAS GRESALAES, James, INGENIERIA DE TRÁNSITO, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES. Séptima Edición, México, Editorial Alfaomega S.A., 1994.
- 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.
- YODER, E.J.; WITCZAK, M.W., PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. Second Edition, A Wiley-Intersciencie-Plublication, 1975.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE GUATEMALA
BIBLIOTECA CENTRAL

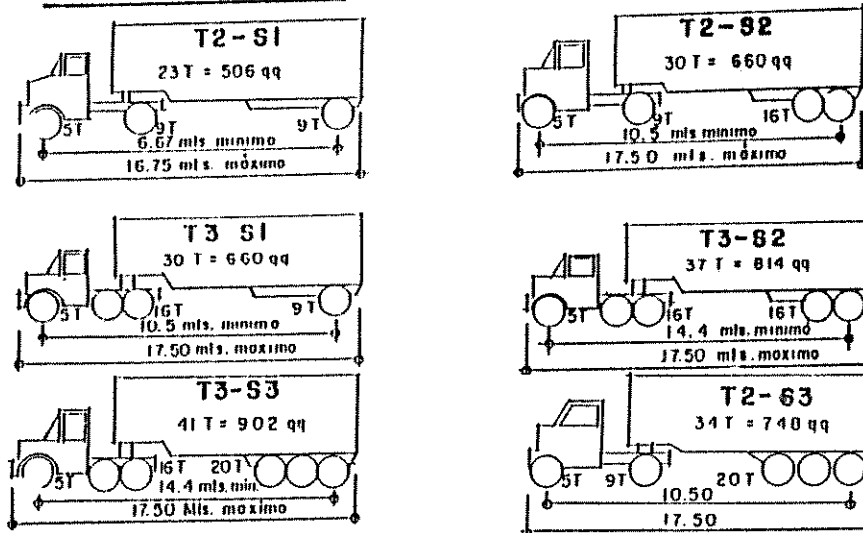
ANEXOS

PESOS Y DIMENSIONES POR TIPO DE VEHÍCULO ACUERDO GOBERNATIVO 1084-92

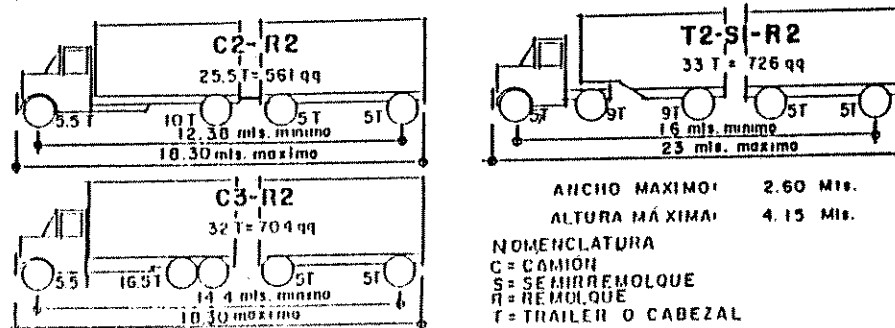
VEHICULOS DE 2 EJES



VEHICULOS DE 3 EJES

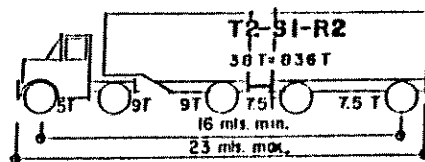
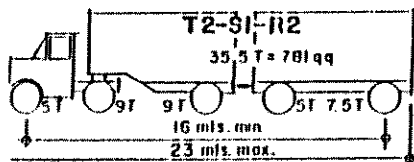
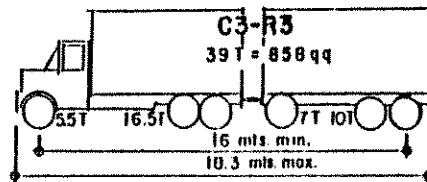
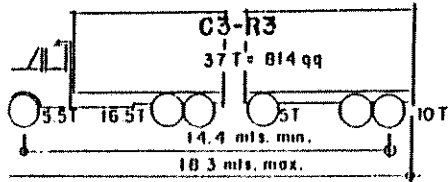
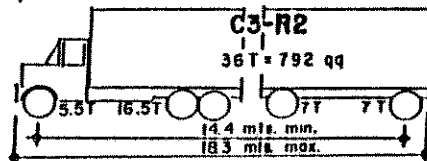
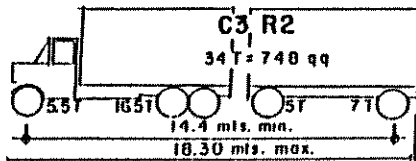
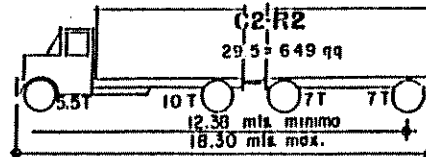
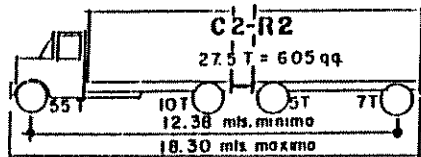
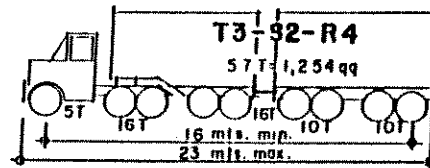
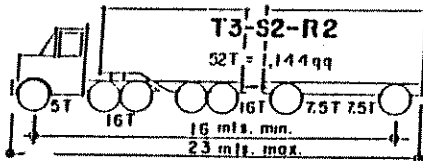
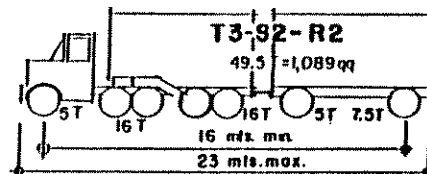
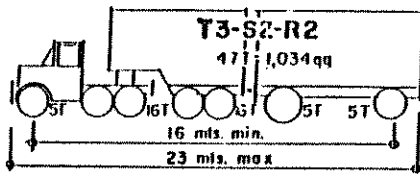
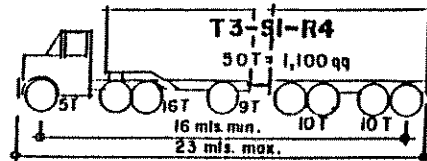
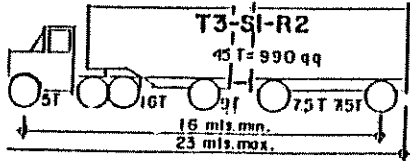
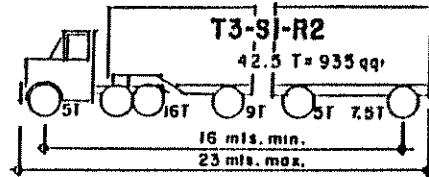
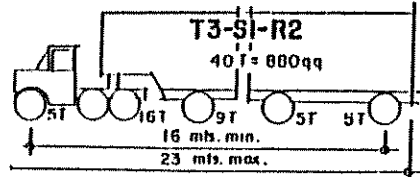


VEHICULOS DE 4 o MÁS EJES



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

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



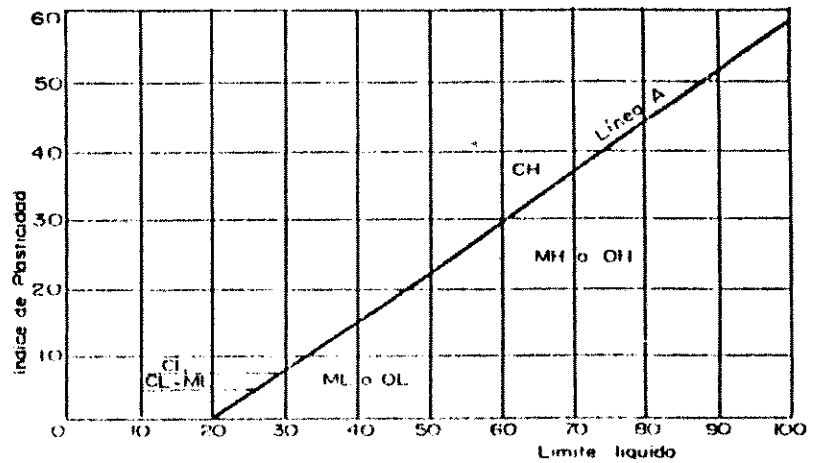
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
(Proceder de izquierda a derecha)

Grupo	Suelos Granulares : 35% ó menos pasa malla # 200			Suelos Arcillosos y Limosos: Más de 35% pasa malla # 200			
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	
Sub-grupo	A-1-a	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-5*	A-7-6*
% Pasa							
Malla # 10	50 Máx.						
Malla # 40	30 Máx.						
Malla # 200	15 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	36 Min	36 Min.
Plasticidad							
Fracc. Pasa malla # 40		40 Máx.	41 Min.	40 Máx.	41 Min.	40 Máx.	41 Min.
LL		10 Máx.	10 Máx.	11 Min.	11 Min.	11 Min.	11 Min.
IP	6 Máximo.		N.P.			8 Máx.	20 Máx.
L de G.	0	0	0	4 Máx.		12 Máx.	
Materiales Constitutivos	Fragmentos de piedra, grava y arena.	Grava y/o arena, limosa	Arena fina.	Grava y/o arena, arcillosas.	Suelos limosos.	Suelos limosos.	Suelos arcillosos.
Calidad (Sub-rasante)	Excelente a buena			Regular a Mala			

*A-7-5: IP menor o igual a LL—30
*A-7-6: IP mayor que LL—30

GRÁFICOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE GRUPO (I.G.)

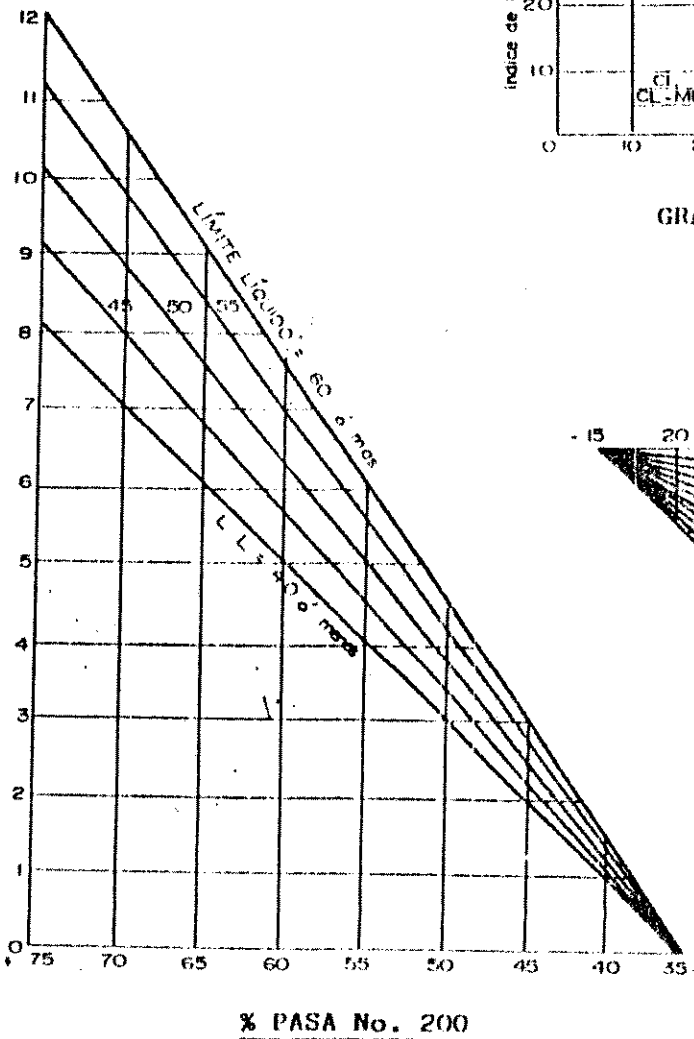
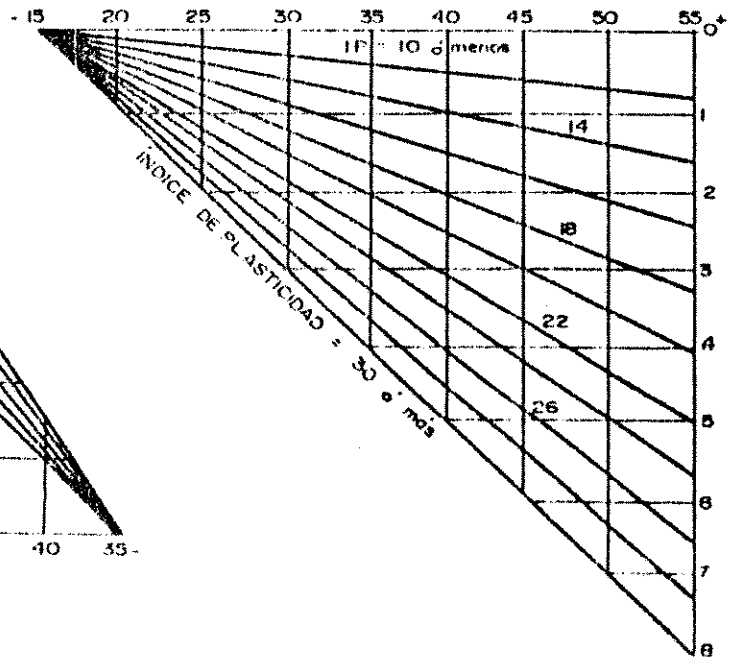
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SUELOS



GRÁFICA DE PLASTICIDAD

NOMOGRAMA No. 2

% PASA No. 200



% PASA No. 200

NOMOGRAMA No. 1

ÍNDICE DE GRUPOS (I.G.) = Suma de las lecturas en las escalas verticales de los nomogramas 1 y 2.