

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO
PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE,
TRAMO: NAHULATE-RETALHULEU**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

JORGE ARTURO FIGUEROA MIRANDA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,997.

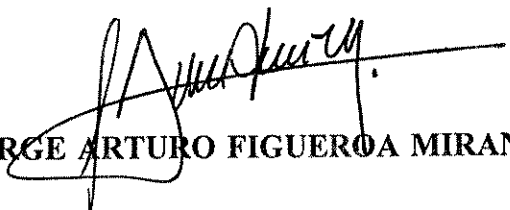
40
T(442)
L4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO
PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE,
TRAMO: NAHUALATE-RETALHULEU**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de abril de 1,997.


JORGE ARTURO FIGUEROA MIRANDA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
VOCAL PRIMERO: ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO: ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO: ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO: BR. VICTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL QUINTO: BR. WAGNER GUSTAVO LOPEZ CACERES
SECRETARIO: ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR: JORGE ALFREDO BAECHLI ALBUREZ
EXAMINADOR: GUSTAVO ADOLFO URREA LORENZINI
EXAMINADOR: MERCEDES OFELIA GARCIA MARROQUIN
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

Guatemala, 30 de Septiembre de 1,997.

Ingeniero
Edgar Daniel De León Maldonado,
Jefe del Area 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: **ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, NAHUALATE-RETALHULEU**, desarrollado por el estudiante Jorge Arturo Figueroa Miranda, 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 pavimentos, la doy por **APROBADA**, siendo ambos responsables del contenido, conclusiones y recomendaciones de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.



Gustavo Alfredo Hurtarte Aroche
Ingeniero Civil, Col # 994
ASESOR DE TESIS



FACULTAD DE INGENIERIA

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

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 07 de Octubre de 1,997.

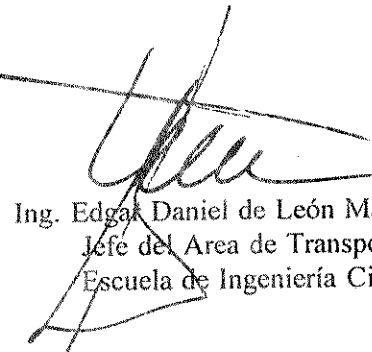
Ingeniero
Jack Douglas Ibarra,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil,
Facultad de Ingeniería,
USAC.

Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado: **ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, NAHUALATE-RETALHULEU**, desarrollado por el estudiante Jorge Arturo Figueroa Miranda, quien contó con la asesoría del ingeniero Gustavo Alfredo Hurtarte Aroche.

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 Area de Transportes
Escuela de Ingeniería Civil.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Gustavo Alfredo Hurtarte Aroche y del Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar de León M., del trabajo de tesis del estudiante Jorge Arturo Figueroa Miranda, titulado ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO: NAHULATE-RETALHULEU, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. ~~Jack Douglas Ibarra Solórzano~~



Guatemala, octubre de 1,997.

JDIS/bbdeb.

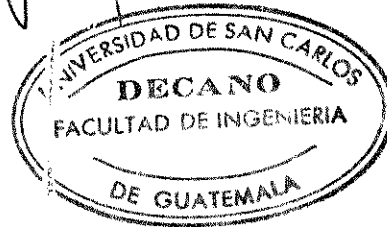


FACULTAD DE INGENIERIA

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 ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE, TRAMO: NAHULATE-RETALHULEU, del estudiante Jorge Arturo Figueroa Miranda, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
DECANO EN FUNCIONES



Guatemala, noviembre de 1,997

/bbdeb.

ACTO QUE DEDICO A

- MIS PADRES:** Aura Consuelo Miranda Morales
Carlos Enrique Figueroa Samayoa
- MIS ABUELOS:** María Antonia de Miranda
Alba Estela Samayoa
Ramiro Antonio Miranda
Arturo Figueroa
- MIS HERMANOS:** Jorge, Silvia, Werner e Ileana.
- MIS SOBRINOS:** Edwin Stuardo, Javier Alejandro, Werner Enrique y Marco Alexander.
- MI CUÑADA:** Blanca Elizabeth
- MIS TIOS Y PRIMOS:** Con cariño especial a Edwin Ricardo (Seco)
- A MIS AMIGOS:** Werner, Orlando, Hugo, Vinicio, Jaime, Max, Ernesto, Héctor, Mario, Byron, Estuardo, Luis, Edgar, Rolando, Jeaneth, Susan, Mynor, Brenda, Federico, Ma. del Carmen, Ileana, Ma. Luisa, Angela, Sandra.

AGRADECIMIENTOS A:

Tú Señor, porque Tú fidelidad, cada instante la veo reflejada en mi vida. Gracias Señor por concederme uno de los más grandes anhelos de mí corazón.

Mi madre, quien siempre estuvo dispuesta a dormir poco, a su paciencia, a su inagotable y constante amor. Desde lo más profundo de mi alma le agradezco lo que ha hecho por mí, espero en Dios que nos permita seguir compartiendo de sus bendiciones.

Ing. Gustavo Alfredo Hurtarte, por la desinteresada colaboración que me brindó con su asesoría y apoyo en la realización del presente trabajo.

La Empresa Cordón y Mérida Ings., por permitirme el desarrollo de este trabajo, a todo el personal de la misma, en especial al Ing. Carlos Cordón.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

A todos mis amigos y compañeros de estudio.

**ESTUDIO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO
PARA EL PROYECTO CA-2 OCCIDENTE,
TRAMO: NAHUALATE - RETALHULEU**

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	i.
GLOSARIO	iii.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	iv.
CAPITULO 1	
ANALISIS DEL TRANSITO Y DISPOSITIVOS DE CONTROL	1
1.1 Generalidades	2
1.1.a Estudios de volumen de vehículos	2
1.1.a.1 Métodos utilizados para el conteo de vehículos	3
1.1.a.2 Importancia de los estudios de volúmenes de vehículos	4
1.2 Análisis y proyección del tránsito	4
1.2.a Datos históricos	
1.2.b Tránsito actual de la carretera	
1.2.c Análisis y proyección de tránsito	
1.3 Dispositivos para el conteo del tránsito	6
1.3.a Función	10
1.3.b Uso	10
1.3.c Clasificación	10
1.3.d Requisitos	11
1.3.e Materiales	11
1.3.f Ubicación longitudinal	12
1.3.g Ubicación lateral	12
1.3.h Altura	13
1.3.i Conservación	13
1.3.j Descripción	13

CAPITULO 2

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN EL PROYECTO	17
2.1 Generalidades	17
2.1.a Características físicas de los suelos y su clasificación	17
2.1.b Capacidad de carga de los suelos	20
2.2 Ensayos de laboratorio de Suelos	22
2.2.a Análisis granulométrico (método mecánico)	23
2.2.b Límites de consistencia de Atterberg	24
2.2.c Índice de Grupo	27
2.2.d Ensayo de contenido de humedad	27
2.2.e Ensayo de peso unitario o densidad	28
2.2.f Determinación de la densidad de campo	31
2.2.g Ensayo California bearing ratio (CBR)	32
2.3 Determinación de las características del suelo en el Proyecto	34

CAPITULO 3

ANALISIS Y DISEÑO DEL PAVIMENTO	39
3.1 Generalidades	39
3.1.a Definición de pavimentos	39
3.1.b Tipos de Pavimentos	39
3.2 Teoría del Diseño de Pavimentos	41
3.2.a Factores de diseño	41
3.2.a.1 Clasificación y número de camiones	41
3.2.a.2 Período de diseño	41
3.2.a.3 Estimación EAL	41
3.2.b Factores de carga equivalente y EAL de diseño en el proyecto	42
3.3 Descripción del procedimiento y método de diseño para el cálculo de la estructura del pavimento	45
3.3.a Procedimiento basado en la deflexión representativa de rebote, DRR	45
3.3.b Método de la AASHTO	49
3.4 Análisis del pavimento en el proyecto	51
3.4.a Condiciones del pavimento existente	51
3.4.b Diseño de espesores del pavimento	52

CAPITULO 4

ACCIONES DE MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL TRAS LA REALIZACION DEL PROYECTO	63
4.1 Generalidades	63
4.2 Características generales del área	63
4.2.a Localización	64
4.2.b Características biofísicas	65
4.2.c Suelos y tierra	65
4.2.d Características socioeconómicas	68
4.3 Identificación y calificación de impactos ambientales de la región	70
4.3.a Impactos identificados en la fase de construcción	73
4.4 Acciones de mitigación de los impactos ambientales en la fase de rehabilitación del Proyecto	77
CONCLUSIONES	v.
RECOMENDACIONES	vi.
BIBLIOGRAFIA	vii.
ANEXOS	

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

INTRODUCCION

Con frecuencia se presenta la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido, en este caso el del proyecto CA-2 Occidente, Tramo entre Nahualate-Retalhuleu, a fin de decidir sobre la necesidad de rehabilitarlo.

El tramo de la carretera en estudio, se ubica en la región suroccidental del país y forma parte integral de la red vial. La CA-2 atraviesa el país del oriente al occidente, desde la frontera con El Salvador, hasta la frontera con México y se comunica con la Ciudad de Guatemala y los puertos del Pacífico y del Atlántico a través de la ruta CA-9, con la cual se intersecta en la ciudad de Escuintla. Actualmente la carretera cuenta con dos pistas de 3.60 m de ancho cada una y hombros de 1.20.

El proyecto consiste en la rehabilitación y mejoramiento de 36.79 km. El estudio consistirá fundamentalmente en el diseño de un recapeo en el tramo mencionado. Adicionalmente, se tiene contemplado ampliar el ancho de la sección transversal pavimentada, para conformar una sección típica tipo "B" (7.20 metros de ancho de calzada, con hombros pavimentados de 1.60 metros).

Por lo antes expuesto, este trabajo de tesis "Estudio del Diseño del Pavimento para el Proyecto CA-2 Occidente Tramo Nahualate-Retalhuleu", inicia con la investigación sobre la historia y proyección del tránsito, en el Capítulo 1.

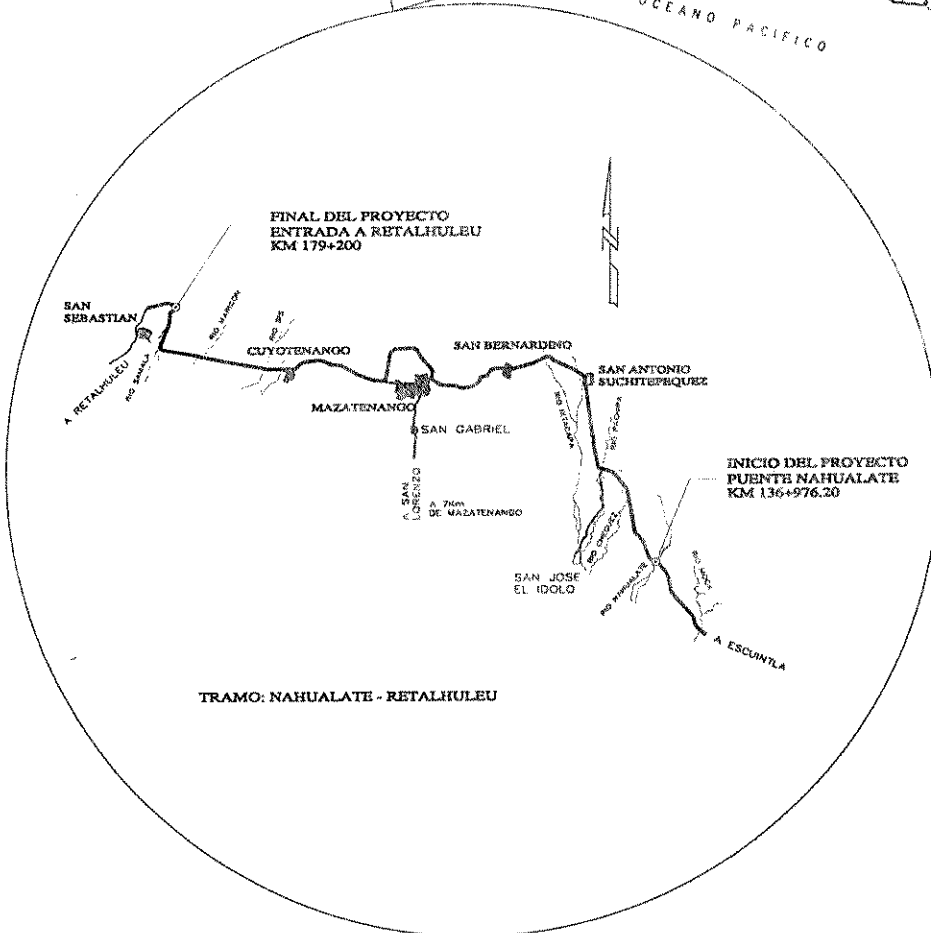
En el Capítulo 2, se reúnen conocimientos y diversidad de ensayos que se deben realizar para establecer las propiedades físicas y mecánicas del suelo donde posteriormente se hará la rehabilitación. El Capítulo 3 trata del diseño de pavimentos, en el que se describirá el procedimiento y el método utilizado, para posteriormente obtener el diseño del pavimento. Finalmente el Capítulo 4 versará del estudio del impacto ambiental, en el cual se definen los impactos actuales de la región, los impactos que conlleva la realización del proyecto y por último las acciones de mitigación de dichos impactos. En los anexos se encuentran cuadros y gráficas que contienen datos resumen de ensayos de laboratorio, como también de datos sobre tipo y conteo de vehículos para el estudio del tránsito.

A continuación en la Figura No. 1 se muestra la localización del proyecto bajo estudio, tanto a nivel nacional como regional.

LOCALIZACION A NIVEL NACIONAL



LOCALIZACION A NIVEL REGIONAL



**LOCALIZACION DEL PROYECTO
TRAMO:
NAHUALATE - RETALHULEU
FIGURA No.1**

GLOSARIO

Estación Permanente de Conteo

Es un punto dado de una carretera en donde se realizan conteos continuos de tránsito, anotando ininterrumpidamente, los volúmenes horarios de vehículos a lo largo de todo un año o más.

Estación Sumaria

Es un punto dado de una carretera en donde se realizan conteos continuos de tránsito, anotando ininterrumpidamente, los volúmenes horarios de vehículos a lo largo de 48 horas, en días laborables, una vez por año.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el volumen anual total de tránsito que circula por un punto, dividido por el número de días que tiene un año.

Cuero de Lagarto

Grietas interconectadas, que forman una serie de pequeños bloques, que dan la apariencia de piel de lagarto.

Deflexión

Es la suma de movimientos verticales descendentes de la superficie bajo la aplicación de una carga normalizada, aplicada a la superficie.

Deflexión de Rebote

La restitución vertical de la superficie, que ocurre en el pavimento, cuando una carga es removida.

Deflexión Representativa

Es el valor promedio de la medida de rebote, en la prueba de deflexión de un sector de carretera, tomando en cuenta la desviación estándar, ajuste por temperatura y el período crítico, según la época del año en que se hizo la prueba.

Viga Benkelman

Es el aparato utilizado para evaluar el desplazamiento vertical del pavimento flexible por efecto de una carga estandarizada, aplicada al pavimento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carretera CA-2 Occidente, tramo entre Nahualate y Tecún Umán, fue construida durante la década de los años cincuenta, utilizando como superficie de rodadura un doble tratamiento superficial, con 3 centímetros de espesor y hombros de terracería. Durante los cuarenta años transcurridos desde su construcción solamente el tramo Nahualate-Retalhuleu (tramo en estudio) fue rehabilitado, durante la década de los años setenta, colocando sobre la estructura del pavimento existente una base tratada con cemento y una nueva superficie de rodadura de concreto asfáltico de 5 centímetros de espesor y hombros con tratamiento superficial.

El problema consiste en analizar y estudiar la conveniencia de rehabilitar o reconstruir el pavimento del tramo entre Nahualate y Retalhuleu. Actualmente, la superficie de rodadura de este tramo, en general presenta agrietamientos del tipo cuero de lagarto, con una severidad media, en un alto porcentaje del área pavimentada, aunque en algunas zonas el daño ya es severo; también se observan unos pocos baches que han sido reparados, así como muchos daños en los hombros.

El pavimento de este tramo carretero está llegando al final de su vida útil, de manera que si no se rehabilita, se irá deteriorando en forma acelerada durante los próximos años. Conforme se incrementa el daño de la superficie de rodadura, se incrementan los tiempos y los costos de operación de los vehículos, tanto en combustible como en repuestos y reparaciones. En general, la rehabilitación de la Carretera, resulta importante para permitir una reducción en los tiempos de viaje, así como para reducir los costos de operación de los vehículos e incrementar la vida útil de una de las principales vías de comunicación del país.

CAPITULO 1



***Análisis del Tránsito
y Dispositivos de
Control***

ANALISIS DEL TRANSITO Y DISPOSITIVOS DE CONTROL

1.1 GENERALIDADES

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y 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 período de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los cuales 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.

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 especiales y temporales.

Las distribuciones especiales 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.

El impresionante crecimiento anual, manifestado durante los últimos años, en el número de vehículos para transporte de bienes y personas sobre las carreteras de Guatemala, se proyecta con una diversidad de consecuencias en los diferentes planos de la actividad nacional.

Una de ellas, notable por el esfuerzo financiero que implica para un país en proceso de desarrollo, es la necesidad de contribuir más y mejores vías para acomodar el tránsito que se intensifica y expande por todos los ámbitos del país.

La intensificación del tránsito plantea la exigencia de mejoras en las vías existentes; la expansión, a su vez, requiere la construcción de nuevas vías en todas direcciones; en ambas situaciones no conviene de manera alguna establecer limitaciones a la movilidad, porque ésta es un signo positivo de progreso.

La investigación sistemática de todos los antecedentes que se interpongan en una decisión futura, debe establecerse como algo indispensable. Estos elementos de juicio se obtienen de los recuentos volumétricos de tránsito, que miden el nivel de la demanda de los usuarios de una vía, profundizan en su estructura y reflejan las tendencias más significativas, sean éstas, referidas a períodos cortos de una hora o prolongados a años.

1.1.a Estudios de volumen de vehículos

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

A la par de los estudios de volumen de vehículos se hacen los estudios de velocidad, con el propósito de obtener datos que, después de ser tabulados, se usan para medir el grado relativo de eficiencia de un sistema completo de calles y carreteras de un país o la necesidad de dispositivos para el control de tránsito.

Las velocidades se pueden clasificar en:

a) Velocidad de Operación:

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

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

b) Velocidad de Diseño:

Es la máxima velocidad a la que permiten las curvas y las pendientes, escogidas en el diseño, circular con seguridad.

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

Respecto al límite máximo de la velocidad de diseño, éste depende del tipo de carretera escogido, en Guatemala, se han adoptado límites entre 30 y 120 KPH, con intervalos de 10 KPH.

Los criterios geométricos adoptados, dependen de la disponibilidad económica y del tránsito proyectado al que se dará servicio. El diseño se basa comúnmente en el pronóstico del volumen de tránsito a 20 años, a partir de la fecha en que se termina la construcción.

Las especificaciones para carreteras y puentes que se usan en Guatemala, están basadas en las de la American Association Of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.), las cuales tienen el propósito de servir como norma o guía para la preparación de especificaciones estatales y como referencia a los ingenieros en el diseño de carreteras.

Las especificaciones de velocidad, que se utilizan están basadas en características geométricas que determinan valores límites (pendientes, curvas y anchos de pista) recomendados por la A.A.S.H.T.O. y están definidas por el tipo de terreno (regiones llanas, onduladas o montañosas) y del tránsito promedio diario anual TPDA.

En general debe buscarse un balance entre las características óptimas de la carretera y el costo de la misma. Una carretera de alta velocidad requerirá de curvas amplias y pendientes bajas, lo que implica costos altos de expropiación.

En el Anexo se muestra el Cuadro No. 1.1-01, en el cual se presentan los valores de las velocidades de diseño en kilómetros por hora (KPH), dependiendo de las características geométricas de la carretera y del tipo de la misma, como también un cuadro de valores de diseño para anchos de calzada, peraltes recomendados, mínimas longitudes de transición y deltas mínimos, derecho de vía, etc., en éste se pueden observar los valores límites recomendados que deberá tener la carretera en su estado final.

1.1.a.1 Métodos utilizados para el conteo de vehículos

Conteos Mecánicos

Este tipo de conteos de vehículos son realizados en estaciones semipermanentes, una vez al año con duración de una semana, de día y de noche.

Conteos Manuales

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

De acuerdo con la metodología utilizada en la Dirección General de Caminos en los tipos de estaciones a analizar para el tramo en estudio se realizan conteos de doce horas continuas, en horario de 6:00 a las 18:00, horas una vez por año, de la manera siguiente:

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

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

Clasificación de vehículos para conteo de tráfico:

- I. Automóviles, Paneles y Jeeps
- II. Pick-ups
- III. Camiones de 2 ejes (C-2)
- IV. Camiones de 3 y más ejes (C-3)
- V. Microbuses
- VI. Autobuses
- VII. Motos, Tractores, etc.

Nota: A Partir de Junio de 1,994, Tipo VII Camiones de más de 3 ejes (T3-S2)

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

Por ello, se decidió, realizar una reclasificación de las categorías de vehículos, la cual fué tomada en consideración para establecer el tránsito actual en la carretera, en base a los conteos realizados.

La suma de las categorías III, IV y VI componen el *Tránsito Pesado*, cuya importancia es definitiva en los criterios de capacidad y diseño. Las categorías I, II, V y VII integran el *Tránsito Liviano*.

Es de suma importancia para el conteo de vehículos, en toda rehabilitación, incluir otras clases de tránsito como lo es el tránsito inducido y el tránsito desviado, los cuales pudieran presentarse al ejecutarse la rehabilitación del Proyecto.

1.1.a.2 Importancia de los estudios de volúmenes de vehículos

Siempre que se desea conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado, se realizan estudios de volúmenes de tránsito. Estos estudios varían desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta recuentos en lugares específicos tales como, puentes, túneles o intersecciones. Los aforos se realizan para determinar la composición y número de vehículos que viajan en cierta zona o a través de ella; para evaluar índices de accidentes; para servir como base en la clasificación de caminos; como datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos; para proyectar sistemas de control de tránsito; para elaborar programas de mantenimiento; para establecer prioridad y técnicas de construcción; para determinar el tránsito futuro y muchas otras aplicaciones.

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

1.2 ANALISIS Y PROYECCION DEL TRANSITO

El tránsito que actualmente hace uso de la carretera, así como su desenvolvimiento histórico y su variación estacional, consituyen la base del cálculo de las proyecciones del tránsito futuro.

Para establecer el tránsito normal, se estudiaron los datos históricos disponibles en la DGC, tanto para estaciones ubicadas sobre la carretera, como para otros caminos que entroncan con ella.

Estos conteos se compararon con conteos realizados durante el mes de Abril de 1,996 y luego fueron ajustados para tomar en cuenta la estacionalidad del tránsito.

1.2.a Datos Históricos

En vista del crecimiento actual de tránsito manifestado en los últimos años, la Dirección General de Caminos, por medio de su Sección de Estadística, de la Unidad de Planeamiento, efectúa las mediciones del tránsito por medio de una serie de estaciones de conteo, distribuidas por toda la red vial del país.

Para la CA-2 Occidente, en el tramo bajo estudio, se cuenta con tres estaciones de conteo y adicionalmente existen otras que pueden tener alguna relación con el tránsito de la carretera, por ubicarse en caminos y carreteras que entroncan con ella. Estas estaciones son las siguientes:

Estaciones Ubicadas en la Carretera Bajo Estudio

Estación	Tipo	Localización	Tramo
210	Sumaria	135+900	Río Bravo - San Antonio Suchitepéquez
211	B	155+980	San Antonio Suchitepéquez - Mazatenango
212	B	169+160	Mazatenango - Cuyotenango
213	A	179+970	Cuyotenango - Santa Cruz Muluá

Estaciones Ubicadas en Carreteras que Entroncan con la CA-2 Occidente en el Tramo Bajo estudio

Estación	Tipo	Localización	Tramo
0214	Sumaria	140+550	CA-2 Occidente - Chicacao
0218	Sumaria	165+500	Mazatenango - San Francisco Zapotitlán
0219	Sumaria	174+530	Cuyotenango - La Máquina

En el Anexo se muestran los Cuadros Nos. 1.2-01, 1.2-02, 1.2-03 y 1.2-04, los cuales muestran una serie histórica de conteos de tránsito realizados por la DGC entre 1,967 y 1,994, en las estaciones indicadas. No obstante, que éstos presentan períodos de hasta dos años sin información, en el caso de las estaciones sobre la CA-2 Occidente y de hasta seis años en las otras, en términos generales esto no dificulta su interpretación y análisis.

En general se considera que los resultados obtenidos del análisis del historial de tránsito especialmente las tasas de crecimiento, deben ser utilizados con cautela, haciendo algunos ajustes para restar los efectos razonables del tránsito durante el período de diseño. En este sentido, se considera razonable esperar que el tránsito de vehículos para transporte de carga crezca con tasas similares a las de crecimiento económico del país (5%); mientras que el transporte de pasajeros crezca con tasas similares al crecimiento poblacional (3%).

1.2.b Tránsito Actual de la Carretera

Para establecer la magnitud y las condiciones del tránsito actual, que servirán de base para las proyecciones del tránsito futuro, se realizaron conteos de tránsito. Esta actividad se realizó del 15 de Abril al 29 de Abril de 1996, en forma continua durante 14 días, en diferentes estaciones seleccionadas de común acuerdo con la Sección de Estadística de la Unidad de planeamiento de la DGC. Las estaciones seleccionadas fueron las siguientes:

Estación 210, Km 135+900, ubicada entre Río Bravo y San Antonio Suchitepéquez
 Estación 212, Km 169+160, ubicada entre Mazatenango y Cuyotenango

Los conteos en las dos estaciones se realizaron en forma simultánea, de las 13:00 horas del día 15 de Abril a las 13:00 horas del día 22 de Abril de 1996.

Los resultados de los conteos realizados se resumen en los cuadros siguientes. En éstos se muestra el tránsito promedio diario anual (TPDA) y el tránsito para cada una de las siete categorías de vehículos utilizados por la DGC y para cada uno de los siete días de la semana.

La información en el cuadro correspondiente revela que la mayor parte del tránsito en las estaciones seleccionadas está constituido por pick-ups y automóviles, seguidos por los camiones de dos ejes y los camiones de tres ejes. Los camiones de 4 ejes o más están constituidos en un 99% por camiones de cinco ejes (T3-S2, con un remolque), utilizados para el transporte de caña de azúcar. El tránsito de vehículos pesados, constituido por las categorías III, IV, VI y VII representa un porcentaje relativo muy alto del tránsito total, lo que corresponde con la categoría de la carretera.

Cuadro 1.2-05. Resumen de Conteos de Tránsito (Abril 1996), por Categoría

Estación No.	No de Vehículos Según Categoría							Todas las Categorías	% Vehículos Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
210	1,052	1,336	906	632	21	424	425	4,797	49.8
212	2,768	3,363	1,581	755	309	645	315	9,736	33.9

Categoría I: Automoviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más.

Categoría II: Pick-ups.

Categoría V: Microbuses.

Categoría III: Camiones de 2 Ejes.

Categoría VI: Buses.

De acuerdo al cuadro siguiente, el tránsito prácticamente se distribuye, de manera uniforme en todos los tramos, de lunes a sábado y se reduce durante el domingo.

Cuadro 1.2-06. Resumen de Conteos de Tránsito (Abril 1996), por Distribución Semanal

Estación No.	Días de la Semana							Todos los Días
	Lunes	Martes	Mier	Jueves	Viernes	Sábado	Dom	
210	692	702	689	681	796	695	541	4,797
212	1,270	1,330	1,325	1,599	1,595	1,665	943	9,736

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

Los resultados de los conteos realizados, en combinación con el historial de tránsito fueron utilizados para establecer el tránsito actual en las dos estaciones donde no se realizaron conteos, los resultados correspondientes se muestran en el Cuadro 1.2-07, a continuación:

Cuadro 1.2-07. Tránsito para las Cuatro Estaciones de Conteo del Proyecto.

Estación No.	No de Vehículos Según Categoría							Todas las Categorías	% Vehículos Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
210	1,052	1,336	906	632	21	424	425	4,796	49.8
211	1,766	2,275	730	596	37	654	370	6,428	36.6
212	2,768	3,363	1,581	755	309	645	315	9,736	33.9
213	1,653	2,208	1,157	575	39	379	247	6,258	37.7

Categoría I: Automoviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más.

Categoría II: Pick-ups.

Categoría V: Microbuses.

Categoría III: Camiones de 2 Ejes

Categoría VI: Buses.

1.2.c Análisis y Proyección de Tránsito

Para la estimación del tránsito futuro, se analiza el comportamiento del mismo en un período de tiempo determinado, estas proyecciones de tránsito se hacen, por lo general, a 20 años futuro, ya que se considera este número de años el período de diseño de un pavimento.

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 otras 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 del libre comercio con los países del norte o el desarrollo del puerto de Champerico, que pudieran dar lugar a un crecimiento no previsible del tránsito, se considera razonable mantener las tasas de crecimiento durante todo el período de diseño.

Para las categorías I, II, V y VI (transporte de pasajeros), se consideró una tasa máxima de 3.0% y una tasa mínima de 2.0% y para las categorías III, IV y VII (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 muestra en el Cuadro 1.2-08. a continuación:

Cuadro 1.2-08. Tasas de Crecimiento por Análisis de Regresión del Tránsito Histórico

A. Tasas Establecidas por Análisis de Regresión del Tránsito Histórico

Estación No.	No de Vehículos Según Categoría							TPDA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
210	2.15	4.38	0.12	7.98	1.85	1.65	1.68	2.49
211	1.83	5.06	0.24	7.38	- 4.80	4.18	3.17	2.60
212	3.48	6.45	1.92	8.18	- 1.23	4.62	6.09	4.33
213	2.54	5.72	1.94	7.56	4.29	2.53	4.30	3.62
Valores Externos Recomendables								
Tasa Máxima	3.00	3.00	5.00	5.00	3.00	3.00	5.00	5.00
Tasa Mínima	2.00	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00	3.00

B. Tasas de Crecimiento del Tránsito Adoptadas

Estación No.	No de Vehículos Según Categoría							TPDA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
210	2.15	3.00	3.00	5.00	2.00	2.00	5.00	3.00
211	2.00	3.00	3.00	5.00	2.00	3.00	5.00	3.00
212	3.00	3.00	3.00	5.00	2.00	3.00	5.00	4.33
213	2.54	3.00	3.00	5.00	3.00	2.53	5.00	3.62

Categoría I: Automoviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más.

Categoría II: Pick-ups.

Categoría V: Microbuses.

Categoría III: Camiones de 2 Ejes.

Categoría VI: Buses.

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

Se incluye entre otras clases de tránsito el tránsito inducido y el tránsito desviado que pudiera presentarse al ejecutarse la rehabilitación de la ruta del Proyecto.

La carretera bajo estudio constituye una de las arterias principales de la red vial nacional, que cuenta con un sistema de tránsito bien definido y recorre una zona donde la explotación agropecuaria y agro-industrial se encuentra bien desarrollada. Por ello no se considera que la rehabilitación de la carretera pueda inducir un incremento en el tránsito, en la producción agropecuaria o en otras generadoras de tránsito.

La ubicación de la carretera en estudio dentro de la red vial del país y los resultados del análisis histórico del tránsito, permiten asegurar que no existen rutas alternas que sugieran que una vez rehabilitada, la CA-2 Occidente tenga potencial para atraer tránsito de otras rutas, con excepción de condiciones no predecibles, que podrían dar lugar a que parte del tránsito de la CA-1 Occidente tomará la carretera en estudio.

Un ejemplo de tales condiciones podría ser la ocurrencia de un sismo que obstruyera el tránsito por la CA-1 Occidente durante algún período prolongado, como de hecho ocurrió en 1976.

Los resultados del análisis realizado para el tránsito a lo largo de los 20 años del período de diseño, se presentan en términos del volumen de tránsito promedio anual (TPDA) y del nivel de servicio de la ruta entre Nahualate y Retalhuleu. Este último, define la condición de operación de los vehículos que transitan por la carretera y de acuerdo con la Highway Research Board (HRB), de los Estados Unidos, puede variar desde una condición de flujo libre (nivel de servicio A), hasta una condición de flujo forzado que no permite rebasar ni exceder una velocidad de unos 30 o 35 km/hora a la hora pico (nivel de servicio F).

El volumen de tránsito del TPDA (tránsito promedio diario anual) y el tránsito para cada una de las siete categorías de vehículos durante los 20 años del período de diseño, así como los porcentajes de vehículos pesados, se presenta en el Anexo, en los Cuadros Nos. 1.2-09, 1.2-10, 1.2-11 y 1.2-12.

A continuación en el Cuadro No. 1.2-13, se presenta en forma resumida el tránsito esperado en el año 2018 en cada una de las estaciones de conteo.

Cuadro No. 1.2-13 Resultados de las Proyecciones del Tránsito para el Año 2018

No. Estación	Vehículos Según Categoría							Todas las Categorías	Vehículos Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
210	1896	2891	1960	2089	36	741	1404	11016	56.2
211	3084	4924	1579	1969	63	1416	1223	14258	43.4
212	5992	7281	3422	2495	540	1395	1038	22163	37.7
213	3244	4781	2504	1989	84	741	816	14069	42.4

Categoría I: Automoviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más.

Categoría II: Pick-ups.

Categoría V: Microbuses.

Categoría III: Camiones de 2 Ejes.

Categoría VI: Buses.

Los resultados que se presentan en el cuadro anterior para el volumen de tránsito promedio diario, muestran que en la Estación 212 (Mazatenango-Cuyotenango), el tránsito excederá de 22,000 vehículos por día; en las Estaciones 210 (Río Bravo-San Antonio Suchitepéquez), 211 (San Antonio Suchitepéquez-Mazatenango), y 213 (Cuyotenango-Santa Cruz Mulúa) variará entre 11,000 y 14,500.

1.3 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRANSITO

1.3.a Función

Los dispositivos para el control del tránsito constituyen los elementos físicos que se utilizan en su regulación, orientando al usuario de las vías, para que guiándose por las indicaciones, se comporte con corrección y seguridad. De esta manera se logra que el tránsito sea más expedito y se reduzca el número de accidentes. Las funciones específicas pueden describirse así:

- i. Dar a conocer determinadas restricciones e indicar en forma concisa y clara ciertas disposiciones legales.
- ii. Advertir la existencia de posibles peligros.
- iii. Establecer el derecho de paso de las corrientes vehiculares y el sentido de la vía.
- iv. Guiar a los usuarios en su recorrido por las vías.

La señal vial es uno de los dispositivos más antiguos para regular el tránsito, logra su objetivo transmitiendo al usuario su mensaje por medio de leyendas o símbolos. Como cualquier otro dispositivo de control de tránsito, debe utilizarse solamente donde se justifique, según lo determinen los estudios técnicos realizados.

En algunas ocasiones resulta difícil determinar, si una señal es imprescindible o no, así como cuál es la más apropiada. En tales casos, la decisión dependerá del juicio y experiencia del ingeniero responsable.

1.3.b Uso

Se utilizan principalmente para prevenir a conductores y peatones sobre peligros existentes en las vías públicas, orientándolos en sus recorridos por éstas; señalan en forma oportuna ciertas disposiciones de las leyes o reglamentos de tránsito, así como regulaciones específicas que se interpongan al tránsito, en una vía pública o en parte de la misma; y para regular el derecho de paso a la circulación vehicular.

Los tamaños recomendados generalmente para las señales, sirven en carreteras de tipo convencional (un carril para cada sentido del tránsito) y con velocidades máximas permitidas de conformidad a las características geométricas y topográficas. En vías de tránsito rápido debe aumentarse el tamaño de las placas.

1.3.c Clasificación

Según la función que desempeñan, los dispositivos se clasifican en tres categorías:

1.3.c.1 Reglamentarios

Tienen como función señalar a los usuarios las disposiciones de la reglamentación del tránsito vigente o suministrarles las indicaciones para que actúen en determinada forma. La transgresión de las indicaciones de estos dispositivos constituye delito.

Se emplean con el propósito de prevenir a los conductores de ciertas condiciones peligrosas, existentes o potenciales, en las vías o adyacentes a ellas. Las señales de prevención exigen precaución de parte del conductor, ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe maniobras que redunden en su beneficio y en el de otros conductores y peatones. Las advertencias de peligro son de gran ayuda para el conductor, muy

valiosas en la prevención de accidentes y facilitan el tránsito. Sin embargo, el uso de estas señales debe limitarse al mínimo necesario.

1.3.c.2 Preventivos

Cumplen con la misión de prevenir a los usuarios de las vías sobre los peligros existentes y de su naturaleza.

1.3.c.3 Informativos

Tienen como objeto guiar al conductor hacia el lugar de destino, proporcionándole toda aquella información que pueda serle de utilidad.

1.3.d Requisitos

Para que puedan cumplir eficazmente su propósito las señales deben reunir los siguientes requisitos fundamentales: ser necesarias, atraer la atención, tener claridad y sencillez, estar ubicadas adecuadamente e infundir respeto.

Para el desempeño correcto de su función todo dispositivo debe cumplir los siguientes cinco requisitos:

- i. Satisfacer una necesidad importante. Cuando se coloca un dispositivo donde no se requiere, resulta ineficaz y confunde a los usuarios.
- ii. Atraer la atención. Todo dispositivo debe ser advertido por el público; cuando esto no sucede resulta completamente ineficaz.
- iii. Transmitir un mensaje claro y conciso. La indicación transmitida por un dispositivo debe ser de fácil comprensión para que sea rápidamente interpretada.
- iv. Infundir respeto al conductor. Es necesario que los dispositivos combinen adecuadamente sus características básicas, de modo tal que los usuarios sean compelidos de acatar la indicación del dispositivo.
- v. Brindar el tiempo suficiente para reaccionar. El dispositivo debe ubicarse de manera que el usuario, al advertirlo, tenga suficiente tiempo y espacio para maniobrar su vehículo en la forma dispuesta al mensaje.

El requisito de desempeñar una función necesaria se llena, solamente si las señales se colocan en aquellos lugares que por sus propias condiciones, exijan o ameritan su instalación. Una señal que comunique un mensaje equivocado o innecesario provoca serios problemas a los usuarios.

1.3.e Materiales

Existe una gran cantidad de materiales que se pueden utilizar eficazmente en las señales. Su selección depende de la experiencia que se posea. El progreso tecnológico ha desarrollado nuevos y satisfactorios materiales, principalmente en lo que se refiere a iluminación y reflectorización.

Los materiales utilizados en toda la estructura de las señales debe garantizar que éstas se mantengan

en una posición adecuada y permanente, a pesar del efecto producido por el viento.

Es muy importante que para cada clase de dispositivo se utilicen siempre los mismos colores. De esta manera, al distinguir el usuario los colores de un determinado dispositivo, inmediatamente lo asocia con la idea general del mensaje que transmite.

El código de utilización de colores utilizado es el siguiente:

ROJO:	Alto, Prohibición y Reglamentación
VERDE:	Paso Permitido y Orientación Direccional
AZUL:	Servicios Auxiliares para Conductores
AMARILLO:	Prevención General
NEGRO:	Reglamentación e Información
BLANCO:	Reglamentación e Información

1.3.f Ubicación Longitudinal

Señales de Reglamentación:

Las señales de reglamentación se colocarán en el mismo lugar o en las proximidades donde exista la restricción o prohibición y se colocarán de manera que ofrezcan la mayor visibilidad posible al conductor.

Señales de Prevención:

Las señales de prevención deben colocarse antes del lugar de peligro a las siguientes distancias del mismo:

- i. En zonas urbanas, de 50 a 100 metros
- ii. En zonas rurales, de 50 a 100 metros para caminos de baja velocidad; de 100 a 150 para carreteras de velocidad media y de 150 a 200 metros en vías de alta velocidad.

Estas señales se colocarán al lado derecho de la vía, en la dirección del tránsito, a una distancia de 1.80 a 3.60 metros del borde del pavimento y a una altura máxima sobre éste de 1.5 metros (para zonas rurales).

Señales Informativas:

Las señales informativas se colocarán en y antes de las intersecciones, y en puntos situados a lo largo de las carreteras. Cuando se requieren señales de prevención y de información en sitios cercanos, las de prevención deben preceder a las de información en una distancia no menor a 60 metros y estarán situadas de tal modo que no impidan la visibilidad de éstas.

1.3.g Distancia Lateral

La distancia lateral mínima de las señales con respecto al borde del pavimento son las siguientes:

- i. En zonas urbanas, la distancia del borde de la acera hasta la proyección vertical de la arista más cercana de la señal, debe ser de 0.30 metros.

- ii. En zonas rurales, la distancia del borde del pavimento hasta la proyección vertical de la arista más cercana de la señal, es de 1.80 metros. El máximo puede llegar hasta 3.60 metros.

1.3.h Altura

La altura máxima es la siguiente:

- i. En zonas urbanas, la altura desde la acera hasta el borde inferior de la señal, es de 2.0 metros.
- ii. En zonas rurales, la altura desde el pavimento hasta el borde inferior de la señal es de 1.20 metros; para las señales de ALTO es de 1.50 metros.
- iii. Para señales elevadas (aquellas que se emplean cuando se considera que las señales laterales no son efectivas), debe ser de 4.50 metros sobre el nivel del pavimento, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales.

1.3.i Conservación

Todas las señales de tránsito deben conservarse permanentemente limpias, legibles y en correcta posición; las que han sido dañadas deberán reemplazarse inmediatamente.

El mantenimiento negligente provoca pérdida de autoridad de los dispositivos; las señales dañadas, sucias o inclinadas, resultan inefectivas y desacreditan a las dependencias responsables de ellas por descuido en la conservación.

Es indispensable establecer un control riguroso de inspección, limpieza y reemplazo de señales, debiendo realizar estas operaciones por lo menos dos veces al año. Los programas de inspección deben incluir la revisión nocturna de los dispositivos para determinar su efectividad. Es aconsejable suministrar instrucciones a los empleados de carreteras, a la policía de tránsito y a otros organismos del gobierno para que reporten a la dependencia encargada de la señalización, cualquier daño al respecto.

1.3.j Descripción

A continuación se describen algunas de las señales utilizadas en el Proyecto:

DESCRIPCION DE SEÑALES RESTRICTIVAS

Alto:

Se utiliza para indicar al conductor que debe detener su vehículo antes de entrar a una vía principal o con prioridad de paso, de acuerdo con lo que exijan los reglamentos de tránsito. La señal ALTO debe colocarse en los siguientes casos:

- i. En el cruce de dos vías principales, cuando resulte difícil la aplicación de la regla general del derecho de paso.
- ii. En la intersección de una vía secundaria con una principal.

- iii. En el cruce a nivel de una calle o carretera con un ferrocarril.
- iv. En intersecciones urbanas en donde la posibilidad de accidentes amerite su instalación.

Esta señal lleva fondo color rojo (de preferencia acabado mate) con letras y filete blancos.

Ceda el Paso

Se utiliza para indicar aquellos casos en que un conductor debe ceder el paso a los vehículos que circulan por la vía en que está entrando. Siempre se colocará sobre la vía de menor volumen de tránsito. Se justifica en las siguientes situaciones:

- i. En la intersección de una vía con otra secundaria, siempre que haya suficiente distancia de visibilidad y no resulte necesario que los vehículos paren obligatoriamente en todo momento.
- ii. En la vía de acceso a una calle o carretera de alta velocidad.
- iii. En toda intersección donde exista un problema especial y que por medio de un estudio de ingeniería se compruebe su necesidad.

Esta señal llevará fondo blanco con una franja perimetral de 5 cms. de ancho, de color rojo y el mensaje en negro.

Velocidad Máxima

Se emplea para indicar a los conductores la velocidad máxima a la cual podrán circular los vehículos en una calle o carretera dada. También se utiliza para indicar a los usuarios la velocidad máxima al aproximarse a curvas, escuelas, colegios, parques públicos, etc.

Velocidad Mínima

Se utiliza para indicar a los conductores la velocidad mínima a la cual podrán circular los vehículos en una calle o carretera dada.

DESCRIPCION DE SEÑALES PREVENTIVAS

Curva Pronunciada (Derecha):

Se utiliza para indicar la proximidad de toda curva hacia la derecha con un radio menor de 60 metros, o que teniendo un ángulo central mayor de 45° posea radios entre 60 y 120 metros.

Cuando la velocidad debe reducirse en un 50% o más al entrar a la curva, podrá usarse una señal de Velocidad Máxima debajo de ésta.

Curva Pronunciada (Izquierda):

Se utiliza para indicar la proximidad de toda curva hacia la izquierda de acuerdo con las condiciones

descritas para la señal de Curva Pronunciada (Derecha).

Curva Peligrosa (Derecha)

Se utiliza para indicar la proximidad de toda curva hacia la derecha con radio entre 60 y 440 metros y un ángulo central menor de 45°. Cuando éste sea mayor de 45° se debe usar esta señal si los radios están comprendidos entre 120 y 440 metros.

Curva Peligrosa (Izquierda):

Se utiliza para indicar la proximidad de toda curva hacia la izquierda de acuerdo con las condiciones descritas para la señal Curva Peligrosa (Derecha).

Curvas Pronunciadas en Sentido Contrario (Derecha):

Se utiliza para indicar la proximidad de dos curvas pronunciadas en sentido contrario; separadas por una tangente menor de 120 metros, la primera tiene dirección hacia la derecha.

Curvas Pronunciadas en Sentido Contrario (Izquierda):

Se utiliza para indicar la proximidad de dos curvas pronunciadas en sentido contrario; la primera tiene dirección hacia la izquierda, y de acuerdo a las condiciones descritas para la señal Curvas Pronunciadas en Sentido Contrario (Derecha).

Curvas Peligrosas en Sentido Contrario (Derecha):

Se utiliza para indicar la proximidad de dos curvas peligrosas en sentido contrario, la primera hacia la derecha, separadas por una tangente menor de 60 metros.

Curvas Peligrosas en Sentido Contrario (Izquierda):

Se utiliza para indicar la proximidad de dos curvas peligrosas en sentido contrario, la primera hacia la izquierda, separadas por una tangente menor de 60 metros.

Carretera Sinuosa Derecha e Izquierda:

Se utiliza para indicar la proximidad de tres o más curvas sucesivas, ya sean "pronunciadas" o "peligrosas", separadas entre sí por tangentes menores de 60 metros, siendo la primera hacia la derecha y la segunda hacia la izquierda.

Estas se colocarán al cominezo de la primera curva. Con anticipación a ellas debe colocarse una señal, de Curva Pronunciada o Peligrosa para avisar la existencia dela primera curva, según corresponda.

Pendiente Peligrosa:

Se emplea para indicar la proximidad de una pendiente peligrosa descendente en la cual se requiera frenar constantemente, de preferencia con el motor. Se puede usar esta señal con el símbolo invertido para indicar una pendiente ascendente.

Carretera Resbaladiza:

Sirve para indicar a los conductores la proximidad de un tramo de la carretera que bajo ciertas condiciones, pueda tener una superficie resbaladiza.

Zona Escolar:

Se usa para indicar la proximidad de un edificio escolar o de lugares cercanos de cruce habitual de escolares. Cuando en ellos se imparten cursos nocturnos, esta señal debe ser reflectiva. Se puede complementar esta con una señal de Velocidad Máxima colocada debajo del mismo poste.

DESCRIPCION DE SEÑALES INFORMATIVAS

Identificadores de Rutas:

Se utilizan en carreteras numeradas, principalmente en intersecciones para identificarlas. Para lograr este propósito se complementan con varios tipos de señales auxiliares (de cruce, de dirección, etc.) y se forman ensambles de cruce o de dirección. Las señales con escudo identifican carreteras CENTROAMERICANAS o NACIONALES. Las señales que muestran un círculo identifican las llamadas DEPARTAMENTALES. Los escudos o círculos pueden inscribirse en placas cuadradas de 45 cms. de color negro.

Nombre de Población:

Se usa para indicar el nombre de una ciudad o población próxima. La longitud puede aumentarse en múltiplos de 30 cms. hasta un máximo de 2.30 metros.

Nombre de un Río:

Sirve para indicar la proximidad de un río próximo.

Señales Elevadas:

Se emplean cuando se considera que las señales laterales no son efectivas. Generalmente su uso se justifica en los siguientes casos:

Para controlar el tránsito en un carril dado.

En carreteras de dos o más carriles en un solo sentido, con un alto volumen de tránsito.

En carreteras de alta velocidad.

En intersecciones de carreteras importantes.

En intersecciones de autopistas con otras carreteras.

El ancho de las placas debe ser uniforme en toda señal.

CAPITULO 2

***Determinación de
las Propiedades
Físicas del Suelo en
el Proyecto***

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN EL PROYECTO

2.1 GENERALIDADES

La carretera es una unidad completa y su adecuado funcionamiento y una larga duración estarán supeditados al buen comportamiento de cada una de sus partes. Es por lo tanto de vital importancia que su rehabilitación y/o construcción sea perfectamente vigilada; cada parte de ella, estará sometida a las pruebas de un laboratorio serio, técnico e integral, de acuerdo con las especificaciones en vigor. Los ensayos de laboratorio, de las muestras obtenidas en la sub-rasante, para saber qué clase de suelo se tiene, su valor soporte, su resistencia a las cargas que actuarán sobre ellos, la calidad de materiales que la sub-base, base, capa de rodadura, un contenido de humedad óptimo de agua, una compactación adecuada, son los elementos que influyen directamente en la rehabilitación y/o construcción de la carretera, y si son controlados por el laboratorio, contribuyen a forjar una buena obra, económica y con la seguridad que tendrá larga duración.

Así pues, se recomienda que durante todo el proceso de rehabilitación del tramo carretero, cada una de sus partes esté sometida a estrictos ensayos de laboratorio que den una garantía del proyecto a realizarse. El diseño económico, racional y bien programado de un proyecto de carreteras, no estará completo, si el estudio de suelos y materiales no forma parte del mismo.

A continuación se describen algunos de los sistemas y ensayos utilizados para el análisis de los suelos en una carretera para su rehabilitación, que servirán para determinar las propiedades y características de las distintas capas estructurales (Sección 2.3) que conforman el pavimento existente del Proyecto en estudio.

2.1.a Características Físicas de los Suelos y su Clasificación:

Características Físicas de los Suelos:

Por su origen, su composición, forma de agruparse los suelos presentan diversas características las cuales son: Textura, Estructura, Consistencia, Color, Compacidad, Cementación y Composición Química. Las principales características de los suelos son: Textura, Estructura y Consistencia.

Textura:

Constituye la finura del material, la uniformidad del suelo formado y las proporciones en que cada tamaño se presenta. Como es diferente para cada suelo su forma de definirse es diferente, así: lisa, arenosa, angular y otros. Para la confirmación de la textura de un suelo, se procede por medio del análisis mecánico.

Estructura:

Indicará la distribución de las partículas de un suelo que se agrupan en su estado natural. Esta depende de las propiedades físicas y también de la textura del suelo.

Consistencia:

Está representada en los cambios de volúmenes, movimientos del agua en el interior del suelo, elasticidad y capacidad de carga del suelo, todo ello variando según el contenido de humedad. Se mide por medio de los límites de consistencia de Atterberg.

Clasificación de los Suelos:

Existen varios métodos de clasificación de suelos, el conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), el de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO), el Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el Sistema de la ASTM y el Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FAA). Todos los sistemas de clasificación de interés para el ingeniero geotécnico utilizan los límites de Atterberg (por lo menos los límites líquido y plástico) con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo.

En todos los sistemas de clasificación es absolutamente esencial acompañar el símbolo de clasificación con la descripción debida del suelo, pues el símbolo particular de grupo es demasiado amplio y general como criterio de clasificación para suelos específicos.

A continuación se definen los sistemas de clasificación utilizados en el Proyecto, en los cuales el sistema utilizado son los de la AASHTO y el sistema USCS.

SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS DE LA AASHTO

En el Anexo, en el Cuadro No.2.1-01 se muestra el sistema de clasificación de la AASHTO en forma de tabla. La Figura No.2.1-01 mostrada en el Anexo provee una forma de utilizar los límites plástico y líquido para obtener la clasificación de los suelos entre los grupos A-4 y A-7, para los cuales el hecho de tener más de un 35% de material mas fino que el tamiz No.200, es un factor esencial de clasificación. Este factor puede tambien utilizarse para obtener la clasificación de subgrupo de los suelos titulados A-2, para los cuales el hecho de tener menos del 35% del material mas fino al tamiz No.200, es un factor esencial de clasificación. La designación de los subgrupos en el grupo A-2 se logra determinando si el suelo es A-2 clasificado de acuerdo con su análisis granulométrico, pero tiene propiedades plásticas (w_l y w_p) características de los suelos A-4, A-5, A-6 ó A-7. El Cuadro No. 2.1-01 se utiliza procediendo de izquierda a derecha hasta encontrar el primer tipo de suelo que tenga las propiedades del suelo en consideración. El suelo tipo A-8 (no se muestra) se clasifica visualmente como turba (material excesivamente orgánico).

El sistema de clasificación de la AASHTO utiliza además un índice de grupo para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo. El índice de grupo, se calcula de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$GI = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd ; \text{ de donde:}$$

- a = porcentaje de material más fino que el tamiz No.200, mayor que el 35% pero menor que el 75%, expresado como un número entero positivo ($1 \leq a \leq 40$).
- b = porcentaje de material que pasa el tamiz No.200, mayor que 15% pero menor que 55%, expresado como un número entero positivo ($1 \leq b \leq 40$).
- c = porción del límite líquido mayor que 40 pero no mayor que 60, expresada como un número positivo entero ($1 \leq c \leq 20$).
- d = porción del índice de plasticidad mayor que 10 pero no excedente de 30, expresada como un número positivo entero ($1 \leq d \leq 20$).

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (USCS)

Los elementos esenciales del sistema de clasificación fueron propuestos inicialmente por Arturo Casagrande (1942) y adoptados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para la construcción de aeropuertos. El Cuadro No. 2.1-02 mostrado en el Anexo presenta los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

Básicamente un suelo es:

El material se considera grueso si se retiene más del 50%		No. 200	El material se considera fino si pasa más del 50%	
es retenido		0.075 mm	pasa	
Grava	Arena		Limo o Arcilla	
Si más del 50% de la fracción gruesa queda retenida en tamiz No. 4	Si más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4		El Suelo fino es: Limo (M) Arcilla (C) Orgánico (O)	

A continuación se consideran estas subdivisiones con más detalle:

1. Gravitas o arenas son:

GW, GP, SW o SP

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz No.200; G = grava; S = arena; W = bien gradada; P = pobremente gradada. La designación bien gradada o pobremente gradada depende de dos valores característicos para Cu y Cc definidos para el ensayo granulométrico y valores numéricos como se muestra en el Cuadro No. 2.2-02.

2. Gravitas y Arenas son:

GM, GC, SM o SC

Si más del 12% del material pasa a través del tamiz No.200; M = limo; C = arcilla. La designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción menor al tamiz No.40.

3. Las gravitas y las arenas se pueden clasificar en:

GW-GC	SW-SC	GP-GC	SP-SC
GW-GM	SW-SM	GP-GM	SP-SM

si entre 5 y 12% del material pasa a través del tamiz No.200.

4. Los suelos de grano fino (más del 50% pasa el tamiz No.200) son:

ML, OL ó CL

si los límites son menores que 50%; M = limo; O = suelos orgánicos; C = arcilla.

5. Los suelos de grano fino son:

MH, OH, ó CH

si los límites líquidos son superiores a 50%; H = mayor que 50%.

Los límites líquido y plástico se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz No. 40 de todos los suelos, incluyendo gravas, arenas y suelos finos. Estos límites se utilizan con la carta de plasticidad (cuadro A de Casagrande) para determinar el prefijo M, O ó C, dependiendo de la localización de las coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

Una descripción visual del suelo debe siempre incluirse conjuntamente con el símbolo unificado para completar la clasificación igual que en el sistema AASHTO.

2.1.b Capacidad de Carga de los Suelos

Suelo Base:

Sobre el suelo base (terreno natural), se deben colocar los materiales del pavimento, siendo por lo tanto la cimentación de la carretera; motivo por lo que debe ser examinado cuidadosamente. En muchos casos, el terreno natural no ofrece condiciones aceptables de estabilidad, por lo que debe ser removido, tal es el caso de las turbas o materia orgánica.

En el laboratorio, se puede estudiar los materiales que se van a usar en los terraplenes, los que convienen que estén dentro de las siguientes condiciones:

Índice Plástico deseable entre 6 y 9, pero nunca mayor de 20.

Límite Líquido deseable entre 25 y 35, pero nunca mayor de 40.

Por lo inestable y compresible, nunca se deberá usar un material A-8 o sea vegetal o turba; si no fuera posible quitar el material malo por lo menos deberá colocarse encima una capa de material mejor, de un espesor no menor de 1.5 m.

Cuando es necesario mejorar las condiciones (CBR, Límites) de un material limoso o arcilloso, conviene adicionalrle un rellenedor o " filler ", éste será un material fino, arenoso o limoso.

Sus características pueden ser las siguientes:

Pasa tamiz No. 10	100%
Pasa tamiz No. 200	menos del 10%
Límite Líquido	100%
Límite Plástico	100%

En muchas ocasiones el terreno natural, o bien el material usado para el terraplén tienen un valor soporte bajo, dando lugar esto a que en el diseño del pavimento la capa de sub-base resulte de mucho espesor; para subsanar esto se emplea el material selecto en restitución del material de sub-base, excepto 15 cms. en la parte superior; para determinar el espesor total, se hace en base del valor soporte (CBR) del material del terraplén.

Con la sustitución parcial del material de la sub-base por material selecto, se obtiene una economía en el costo global del pavimento, pues se está sustituyendo un material más costoso pero de calidad superior, por otro menos costoso y de menor calidad, sin embargo, la sub-base por su valor soporte mayor, puede dar a la larga economía requerida por su mayor duración.

En estos casos, se recomienda que el material selecto sea localizado lo más próximo posible al lugar donde se necesita, para disminuir los costos de acarreo.

Las características del material selecto estarán dentro de los siguientes límites:

Límite Líquido no será mayor de 40

El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 no será mayor que 2/3 de lo que pasa el tamiz No. 40

El valor Índice Plástico no será mayor de 15

El valor Soporte (CBR) no menor de 15%

Se recomienda no usar los Suelos A-5, A-7 y A-8.

Sub-Base:

Sus elementos principales en lo que a tipos de suelos se refiere, deberán estar integradas por gravas y arenas seleccionadas y que sus propiedades las haga estables, con arcillas de características apropiadas y en cantidades tales como para hacerlas inadecuadas para material de base; esto se puede lograr con los suelos: A-1, A-2 y A-3. Todo debe estar dentro de lo lógico-económico, es decir si se pueden conseguir económicamente, en caso contrario, será mejor localizar una fuente del mejor material posible.

Base:

Constituida principalmente por material granular bien graduado. Puede ser obtenido de grava de río, o bien de antiguos depósitos de grava de ríos. Por medio de trituración se pueden conseguir que llenen las especificaciones requeridas; sucede en muchas construcciones de carreteras o bien de rehabilitaciones de las mismas, que los depósitos de grava de río no son encontrados dentro de los límites que el planeamiento económico señala, para este caso se deberá buscar una cantera de roca sólida y triturar material, así como un banco rellenedor (filler), con cuyo material se deberá mezclar con el de la cantera y obtener material que reúna las condiciones buscadas.

Los materiales para la capa de base, pueden ser A-1 y A-2; se especifica un CBR mayor de 70%; un Límite Líquido no mayor de 25; un Índice de Plasticidad no mayor de 6; y que el porcentaje (%) que pasa el tamiz 200 no sea mayor de la mitad del porcentaje (%) que pasa el tamiz 40. La abrasión o porcentaje de desgaste de la grava o piedra no debe ser mayor de 50, según el método de Los Angeles.

En el caso de yacimientos explorados de material para terraplenes (prestamos), se recomienda hacer un perfil de suelo y proceder a analizar cuántos metros cúbicos son necesarios en cada localización. Se busca un yacimiento que tenga aproximadamente esa cantidad y que esté lo más cerca posible del punto donde el material de préstamo se va a usar para disminuir el sobre acarreo. Si no existieran yacimientos cercanos, se buscarán los mas próximos posibles, aunque estén fuera de la línea de la carretera y haya que construir accesos.

Si se requiere material selecto la exploración debe hacerse de acuerdo a la cantidad deseada y la explotación del banco será determinada según la cantidad de sub-base a construir y por el valor soporte del material, que se ha seleccionado. Los yacimientos de material selecto o para sub-base, deben buscarse a una distancia máxima deseable de uno 4 a 5 Kms. del lugar en que se va a usar, para que el sobre acarreo no sea grande.

2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

En toda rehabilitación y/o construcción de una carretera, se debe tener un conocimiento completo de los ensayos o pruebas que se llevan a cabo durante la misma. Ensayos, tales como el Contenido de Humedad, Límites de Consistencia, Próctor, etc. De la buena ejecución de ellos dependerá en gran parte, el buen diseño y funcionamiento de la carretera.

A continuación se da una breve descripción de los ensayos más importantes que se llevan a cabo en el laboratorio de suelos para el estudio del diseño de un pavimento en la rehabilitación de una carretera. Los ensayos, pueden reunirse en los tres grupos siguientes:

1. Para la Clasificación General de los Suelos:

Análisis Granulométrico

Límites de Consistencia de Atterberg

Límite Líquido

Límite Plástico

Índice de Grupo

2. Para el Control de la Consistencia

Ensayo de Contenido de Humedad

Determinación del Peso Unitario o Densidad Máxima (Próctor) y Humedad Optima

Determinación de la Densidad de Campo para obtener el porcentaje de Compactación

3. Para Determinar la Resistencia del Suelo

Ensayo de California Bearing Ratio (CBR) o Relación de Soporte California

2.2.a Análisis Granulométrico (Método Mecánico)

En la clasificación de los suelos para usos de ingeniería se acostumbra utilizar algún tipo de análisis granulométrico. Una parte importante de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques, y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico. La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aún cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente.

Los suelos muy finos son fácilmente arrastrados en suspensión por el agua que circula a través del suelo y los sistemas de subdrenaje usualmente se colman con sedimentos rápidamente a menos que sean protegidos adecuadamente por filtros de material granular debidamente gradado.

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada.

Para obtener esto se determina la cantidad de material que pasa de un tamiz con una malla dada, pero es retenido en un siguiente tamiz, cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la anterior y se relaciona esa cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste de partículas de muchos tamaños, todos los cuales son menores al tamaño de la malla del tamiz en el cual fué retenido. El tamiz No. 200 (0.075 mm) es el tamiz más pequeño en la práctica. Para mallas de tamaño inferior a este tamiz es difícil permitir el paso libre de agua. Para estos casos el análisis granulométrico se lleva a cabo por medio del análisis del Hidrómetro, el cual es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm. El principal objetivo del método del hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm), ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz No. 200 no es utilizada como criterio de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa de la forma de dicha curva.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva. Para poder comparar suelos y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de granos presentes, y como una masa de suelos típica puede tener partículas que varíen entre tamaños de 2.0 mm y 0.075 mm. las más pequeñas (tamiz No. 200), por lo cual sería necesario recurrir a una representación logarítmica para los tamaños de las partículas.

La serie de tamices (comúnmente 6 o 7) consiste generalmente en un grupo de tamices seleccionados de forma que la abertura de la malla de cada tamiz sea el doble de la abertura de la malla anterior de abajo hacia arriba como 6, 12, 24 mm o 0.075, 0.150, 0.300 mm, etc. Por conveniencia y debido a razones prácticas tales como la disponibilidad de tamices, y al tamaño de la serie misma, o a la necesidad de introducir tamices de control como los números 4, 100, 200 u otros tamaños, es necesario algunas veces omitir algunos tamaños de tamiz, por ejemplo se podría usar la serie No. 10, 30, 50, 100, 200, en lugar de la serie 10, 20, 40, 80, 160, etc. Para analizar suelos finos, debe ponerse siempre un tamiz No. 200 al final de la serie; una serie para analizar arena que debe utilizarse como agregado para hormigones, debe siempre terminar en el tamiz No. 100.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D₁₀, D₈₅, D₆₀, etc. El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente, de la partícula del suelo y el subíndice (10, 85, 60) denota el porcentaje de material más fino.

Una indicación de la variación (o rango) del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad C_u , definido como:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Un valor grande en este parámetro C_u indica que los diámetros D_{60} y D_{10} difieren en tamaño apreciable. El coeficiente de concavidad C_c es una medida de la forma de la curva entre D_{60} y D_{10} , y se define de la siguiente forma:

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$$

Valores de C_c muy diferentes de uno (1.0) indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D_{10} y el D_{60} . Los diámetros correspondientes al D_{15} y al D_{85} pueden utilizarse para determinar la capacidad del suelo para ser utilizado en diseño de filtros para una presa.

2.2.b Límites de Consistencia de Atterberg

Los límites líquido y plástico son sólo dos de los cinco límites propuestos por A. Atterberg, científico sueco.

Estos límites son:

1. *Límite de Cohesión.* Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse unas con otras.
2. *Límite de Pegajocidad.* Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula. Esta condición tiene importancia práctica para el ingeniero agrícola pues se relaciona con la capacidad del suelo de adherirse a las cuchillas o discos del arado cuando se cultiva el suelo.
3. *Límite de Contracción:* Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción del suelo.
4. *Límite Plástico:* Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar al suelo como material no plástico.
5. *Límite Líquido:* Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al flujo viscoso.

Los límites líquido y plástico han sido ampliamente utilizados, principalmente con objetivos de identificación y clasificación de suelos. El límite de contracción ha sido útil en varias áreas geográficas donde el suelo sufre grandes cambios de volumen entre su estado seco y su estado húmedo.

Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados arbitrariamente, entre ellos los ya mencionados (límite líquido, límite plástico y límite de contracción). El primero fija el cambio entre el estado líquido y el plástico; el segundo entre el plástico y el semisólido, y finalmente, el tercero entre los estados semisólido, quebradizo y el sólido de gran resistencia.

Límite Líquido:

Para establecer valores definidos, reproducibles de estos límites se propuso que el límite líquido se definiera arbitrariamente como el contenido de humedad al cual una masa de suelo húmedo, colocada en un recipiente en forma de cápsula de bronce, separada en dos por la acción de una herramienta para hacer una ranura patrón, y dejada caer desde una altura de 1 cm, sufra después de dejarla caer 25 veces una falla o cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm entre los cuales se cuentan:

- i. Tamaño de la masa de suelo contenido en la cápsula de cobre (espesor y cantidad)
- ii. Velocidad a la cual se le dan los golpes (debería ser de 120 revoluciones por minuto)
- iii. Tiempo de reposo del suelo en la cazuela antes de comenzar la cuenta de golpes y estado de limpieza de la cazuela antes de colocar la pasta de suelo para el ensayo.
- iv. Tipo de material utilizado como base del aparato o sea superficie contra la cual se debe golpear la cazuela (comúnmente se utiliza caucho duro).
- v. Humedad de el laboratorio y rapidez con la cual se hace el ensayo.
- vi. Ajuste o calibración de la altura de caída de la cazuela (debe ser aproximadamente 1 cm).
- vii. Tipo de herramienta utilizada para hacer la ranura (la recomendada por la ASTM o la llamada Tipo Casagrande).
- viii. Condición general del aparato del límite líquido.

El límite líquido (*WL*) es también afectado marcadamente por el tipo de suelos y otros factores adicionales. Para intentar reducir estas variables en el ensayo, se han desarrollado y se utilizan aparatos patrón así como herramientas patrón para hacer la ranura.

Para controlar la velocidad de golpeado del recipiente, se debe rotar la manivela a una velocidad aproximada de 120 r.p.m., o sea a una tasa de 120 golpes por minuto.

Los ensayos de límites de Atterberg deben hacerse sobre suelos tamizados a través de la malla No.40. Comúnmente, el suelo traído del campo se encuentra en un estado de humedad demasiado alto para pasar a través de la malla No.40. Es entonces (y sugerido por la norma ASTM D421-58, "Preparación Seca de Muestras de Suelo para Análisis Granulométrico y Determinación de Constantes de Suelo") necesario secar al aire el suelo para obtener la fracción de suelos que pasa el tamiz No.40 en la mayoría de los casos. El secar al horno la muestra de suelo para preparar el material que debe tamizarse, disminuye generalmente el valor registrado en pruebas de límite líquido y plástico y por consiguiente, debe evitarse como procedimiento. El secar al aire el suelo como preparación de la muestra disminuye el límite líquido entre el 2% y el 6% de su valor real. Para evitar este problema, se recomienda, cuando sea posible, utilizar para el ensayo el material que parezca pasar por el tamiz No.40, de acuerdo con una inspección visual y comenzar el ensayo con este material con su contenido de humedad natural. La mayoría de los suelos secados al aire recuperan sus límites líquidos originales, luego de mezclarlos con agua, un tiempo de curado de 24 a 48 horas, antes del ensayo.

Se estableció que el límite líquido se define para el contenido de humedad a la cual es necesario dar 25 golpes a la cazuela para cerrar en una longitud de 12.7 mm la ranura hecha por la herramienta patrón. Es

necesario recurrir a un gráfico en el cual se representa la variación del número de golpes necesario para cerrar la ranura en una escala logarítmica contra el contenido de humedad correspondiente en una escala aritmética, el lugar geométrico de los puntos resultantes insinúa una variación de tipo lineal. Con este fenómeno establecido, se vuelve relativamente sencillo establecer el contenido de humedad en el límite líquido de una forma indirecta. Solo es necesario entre 3 y 6 puntos a diferentes contenidos de humedad, conjuntamente con el número de golpes necesarios para cerrar la ranura correspondiente, colocar estos datos en un diagrama semilogarítmico, y establecer la proyección lineal insinuada por dicho punto para el contenido de humedad correspondiente a una cuenta de 25 golpes (límite líquido del suelo). Parece que dicha relación lineal solamente se mantiene cierta a lo largo de un ciclo gráfico semilogarítmico (entre 10 y 100 golpes). Es evidente que mientras más cercano alrededor de la cuenta de 25 se encuentre el intervalo de puntos experimentales, mayor será la confiabilidad del valor extrapolado de la tendencia experimentalmente.

Límite Plástico:

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se resquebraja, cuando se enrolla a un diámetro de 3 mm o aproximado. Esta prueba es bastante más subjetiva (dependiendo del operador) que el ensayo del límite líquido pues la definición del resquebrajamiento del cilindro de suelo así como del diámetro de 3 mm están sujetas a la interpretación del operador. El diámetro puede establecerse durante el ensayo por comparación con un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. Con la práctica, se encuentra que los valores del límite plástico pueden reproducirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratoristas dentro de un rango del 1 al 3%.

De los ensayos de los límites de consistencia y del gráfico del L.L. se pueden determinar varios índices interesantes:

El Índice de Plasticidad: (Ip)

El más importante y usado es igual a la diferencia numérica entre LL y Lp,

$$I_p = LL - L_p$$

El Índice de Escurrimiento: (Ic)

Es igual a la pendiente de la curva de escurrimiento. Numéricamente, es igual a la diferencia entre el contenido de agua a los 10 y a los 100 golpes, o entre 1 y 10 golpes.

Índice de Tenacidad: (It)

Es el cociente que resulta de dividir el índice plástico por el índice de escurrimiento:

$$I_t = I_p / I_c$$

Índice de Contracción: (Icont)

Es igual a la diferencia entre el Lp y Lc (Límite de Contracción).

$$I_{cont} = L_p - L_c$$

Con un estudio comparativo de los límites y el índice plástico, se pueden hacer la distinción entre arcillas y los suelos no plásticos, así como su dosificación de acuerdo con la plasticidad del material.

2.2.c Índice de Grupo

Todos los suelos que tienen un comportamiento similar se encuentran ubicados dentro de un mismo grupo y representados por un índice llamado Índice de Grupo.

Los elementos que intervienen para clasificar un suelo para un grupo determinado son: su grado de plasticidad y el porcentaje de material fino que pasa el tamiz No. 200.

Para los diferentes suelos, la variación de sus índices de grupo es el siguiente:

Suelo	Índice de Grupo
Granulares	De 0 a 4
Limosos	De 8 a 12
Arcillosos	De 11 a 20

De donde se ve que cuanto más alto es el valor del índice, peor es la calidad del material. Es por ello que, para diseñar espesores de pavimentos, a mayor Índice de Grupo corresponde mayor espesor.

2.2.d Ensayo de Contenido de Humedad

La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Como una definición ,

$$w = (W_w / W_s) * 100, \text{ por ciento}$$

de donde, W_w es el peso de agua presente en la masa de suelos y W_s es el peso de los sólidos en el suelo. Podría definirse el contenido de humedad como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra.

El suelo debe secarse en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante; mientras haya agua presente para evaporar, el peso continuará disminuyendo en cada determinación que se haga en la balanza. En general no es muy práctico hacer varias medidas del peso para determinar si se ha obtenido un estado de peso constante en la muestra; lo que se hace es suponer que después de un período de horneado de 12 a 18 horas (a menudo durante la noche), la muestra se encuentra en estado de peso constante y dicho peso se registra como el del suelo seco más el del recipiente.

Es práctica común retirar del horno las muestras para contenido de humedad y pesarlas inmediatamente (se debe utilizar un par de pinzas o guantes de asbesto pues se encuentran demasiado calientes). Si por alguna razón no es factible pesar las muestras secas inmediatamente, es necesario poner la tapa del recipiente tan pronto se haya enfriado lo suficiente para manipularla y/o colocar el recipiente de suelo seco en un desecador eléctrico de manera que el suelo no absorba agua de la atmósfera del laboratorio.

La temperatura de 110 °C en el horno es demasiado alta para ciertos suelos orgánicos (turberas), para ciertas arcillas, y para algunos suelos tropicales. Estos suelos contienen agua de hidratación levemente adherida, o agua molecular, que podría perderse a estos niveles de temperatura, dando como resultado un cambio en las características del suelo. La ASTM sugiere secar estos suelos a una temperatura de 60 °C.

Para lograr una determinación confiable del contenido de humedad de un suelo se recomienda utilizar la siguiente cantidad mínima de muestra húmeda (muestra representativa):

Tamaño máximo de las partículas de muestra (95-100 m para el tamiz dado)	Peso mínimo recomendado de la muestra (g)
No. 4 (4.75 mm)	100
No. 40 (0.420 mm)	10 a 50
12.5 mm	300
50.0 mm	1000

2.2.e Ensayo de Peso Unitario o Densidad

Un suelo está formado por diferentes tamaños de partículas, estas partículas tienen formas diversas, existiendo entre ellas espacios intergranulares que se denominan vacíos, los que pueden estar ocupados por aire, agua o ambos a la vez.

Si una masa de tierra se presenta en estado suelto, su volumen es mayor que si está comprimida, es decir, su volumen de vacíos es mayor, el cual se puede reducir a base de una acción de comprimir la masa de la tierra; a esta operación se le denomina Compactación.

En resumen, se puede decir que el objetivo principal de la compactación de un suelo es mejorar sus propiedades y, en particular, aumentar su resistencia y su capacidad de carga, reducir su compresibilidad y disminuir su aptitud para absorber agua.

Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, debido a que si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

En 1933, R.R. Proctor presentó cuatro artículos en la Revista Engineering New Record, los cuales sirvieron de base para los ensayos de compactación usados actualmente (llamados algunas veces ensayos de Proctor o simplemente "Proctor").

El ensayo estándar consiste en tomar 3 kg de suelo, pasarlos a través del tamiz No.4, añadir agua, y compactarlos en un molde de 944 cm³ en tres capas de 25 golpes por capa de un martillo de compactación de 24.5 N con caída de 0.305 m en el suelo. Esto libera una energía nominal de compactación (en kilo-joules o kJ) al suelo de:

$$CE = [3(25)(24.5)(0.305) / (9.44)(10E-4)(1000)] = 593.7 \text{ kJ/m}^3$$

Luego de compactada de esta manera la muestra es removida del molde y desbaratada nuevamente hasta obtener grumos de tamaño aproximado del tamiz No.4, de acuerdo con estimación visual; se toman muestras para contenido de humedad, se añade más agua, se mezcla cuidadosamente el suelo, y se procede a compactar nuevamente el suelo en el molde. Esta secuencia se repite un número de veces suficiente para obtener datos que permitan dibujar una curva de densidad seca contra contenido de humedad con un punto de pendiente 0 (un valor máximo) y suficientes puntos alrededor de ese máximo para definir adecuadamente su localización. La ordenada de este diagrama es la densidad seca. La ordenada máxima de este diagrama se conoce como la densidad máxima, y el contenido de humedad al cual se presenta esta densidad se denomina contenido de humedad óptimo (CHO).

Para que un ensayo sea estándar, los resultados deben ser reproducibles, y el hecho de usar muestras frescas cada vez o reutilizar la muestra compactada en el siguiente punto, produce diferencias grandes en los valores máximos de densidad seca.

Cuando se trabaja con suelos secados al aire, a menos que la primera muestra se mezcle con el primer incremento de contenido de humedad y se le permita un curado (toda la noche por ejemplo), los resultados pueden traducirse en unos puntos erráticos (en lugar de una curva continua) en la parte seca de la curva. La falta de curado también puede desplazar el contenido de humedad óptimo (CHO) a la derecha (tiende a aumentarlo) de la curva densidad contra humedad. Algunos suelos pueden dar una curva "errática" en la parte seca como una característica del suelo.

Si el cilindro de suelos no es compactado en tres incrementos aproximadamente iguales, los puntos de la curva también se mostrarán erráticos, es decir, no caerán en una curva continua a cada lado del óptimo.

Para evitar tener que compactar en un gran número de cilindros y teniendo en cuenta que 5 puntos bien espaciados determinan muy bien la curva, es deseable comenzar el ensayo a un contenido de humedad entre 4 y 5% cercano al CHO. Añadiendo entonces 2% de humedad (por peso) en cada ensayo sucesivo, el último punto se encontrará 4 a 5% de humedad dentro del lado húmedo del pico de la curva. Para ayudar en la determinación de la humedad del punto de comienzo, se presenta la Figura No. 2.2-01. Este gráfico permite estimar el CHO dentro de un $\pm 2\%$ de confiabilidad si existe razonable exactitud en la determinación de los valores de límites líquido y plástico.

El molde de compactación debe colocarse sobre una superficie que no vibre durante el proceso de compactación, de manera que la energía de compactación no se pierda en producir desplazamientos de la base. La ASTM recomienda hacer descansar el molde sobre una base consistente de un cilindro o bloque rígido de concreto, con una masa de por lo menos de 90 kg (200 lb.).

El procedimiento original de Proctor se ha modificado algo utilizando un martillo de caída controlada como "25 golpes de un martillo en caída libre desde una altura de 0.305 m"; originalmente Proctor estableció, 25 golpes firmes de 12" de desplazamiento. La forma común de presentar los datos consiste en hacer una curva de humedad seca contra contenido de humedad (abscisa).

La compactación de suelos en general es el método más barato de estabilización disponible. La estabilización de suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas indeseables del suelo para obtener una estructura, resistencia al corte, y relación de vacíos, deseables. Existen muchos métodos para estabilizar suelos utilizando materia química como cal, mezclas de cal y cenizas, cemento, y compuestos de ácido fosfórico, pero estos métodos usualmente son más costosos y pueden utilizar métodos de compactación adicionalmente al las mezclas, pues al incorporar el material químico en la masa se produce una gran perturbación en la estructura.

La Compactación Relativa es el término utilizado para comparar el suelo compactado in situ con la curva de compactación del laboratorio. La compactación relativa se define como:

$$\text{Compactación Relativa} = \left[\frac{\text{(densidad del suelo en el campo)}}{\text{(densidad máxima del laboratorio)}} \right] * 100\%$$

y puede ser mayor o menor que 100%.

Un poco antes y durante la Segunda Guerra Mundial, los pesados equipos de aviación militar comenzaron a exigir densidades de subrasante bajo las aeropistas, mayores que las que podían proporcionar los métodos tradicionales de compactación. En lugar de incrementar las compactaciones relativas por encima del 100%, se introdujo un ensayo de compactación modificado (ahora llamado Proctor Modificado, ensayo modificado AASHTO, o ensayo de compactación modificado). Este ensayo tiene las siguientes características:

Molde	944 cm ³
Martillo	44.5 N
Capas	5 a 25 golpes por capa
Caída del Martillo	0.46 m

Las características básicas del Experimento son las mismas del ensayo patrón de compactación, esto es, usar la fracción menor del tamiz No.4, desarrollar la curva tal como la del experimento patrón: añadir incremento de agua al suelo, compactar, desbaratar la muestra, tomar un contenido de humedad, y repetir el proceso hasta obtener todos los puntos de la curva.

El ensayo de compactación modificado introduce una energía nominal de compactación al suelo de 2710 kJ/m³. Para esta energía mayor se obtiene un incremento entre el 5 y el 10% en densidad y un valor reducido del CHO sobre los datos correspondientes en el experimento patrón. Los datos para el ensayo de compactación modificado también se representan en curvas de densidad seca contra contenido de humedad.

La gráfica de densidad seca contra contenido de humedad indica que el proceso de compactación a cualquier esfuerzo de compactación se vuelve cada vez más eficiente hasta un cierto valor del contenido de humedad (CHO), a partir del cual su eficiencia decrece. La eficiencia crece a medida que se le añade agua, inicialmente debido a la saturación y/o ruptura general de las uniones interparticulares de los grumos de arcilla y posiblemente a alguna lubricación. En la parte húmeda de la curva los terrones generalmente se han extinguido y el exceso de humedad produce presiones instantáneas de poros sumamente altas a medida que el martillo produce su impacto.

Estas altas presiones de poros producen una reducción apreciable en la resistencia al corte del suelo y el martillo por consiguiente produce simplemente un corte del suelo más que un incremento adicional a la densidad.

La masa de suelo involucrada en el proceso de compactación comienza como un sistema de tres fases: suelo, agua y aire. Durante los primeros ensayos hay una cantidad considerable de aire presente, pero el proceso produce un cambio de estado en el cual cada vez hay más suelo y agua presentes. Aún en la situación de CHO existe una cantidad de aire considerable. En la parte húmeda de la curva, el efecto principal es el de desplazar más y más aire por agua.

Si el proceso fuera completamente eficiente, sería posible reemplazar todo el aire de los vacíos con agua para producir un sistema de dos fases.

2.2.f Determinación de la Densidad de Campo

Una vez establecidos, para el suelo que se va a utilizar en un sitio determinado, los criterios de compactación, generalmente con limitaciones de humedad y densidad, es necesario utilizar algún método para verificar los resultados. En todos los proyectos pequeños y casi todos los proyectos grandes, esta verificación se logra bien por el cono de arena o por el método del balón de densidad. En el Proyecto en estudio se utilizó equipo nuclear (densímetro), con el cual se hizo una comparación de los resultados obtenidos con el cono de arena, en algunos casos solamente se utilizó el densímetro, ya que para ciertos materiales, especialmente las bases gravosas, los resultados eran más confiables.

Básicamente, tanto el método del cono de arena como el método del balón de densidad utilizan los mismos principios. O sea, se obtiene el peso de suelo húmedo de una pequeña excavación de forma algo irregular (un hueco) hecho sobre la superficie del suelo. Si es posible determinar el volumen de dicho hueco, la densidad húmeda del suelo se calcula simplemente como:

$$\text{Densidad Húmeda} = (\text{Peso del suelo húmedo}) / (\text{Volumen del hueco})$$

y si se obtiene el contenido de humedad w del material excavado, el peso unitario seco del material es:

$$\text{Peso Unitario Seco} = \text{PUS} = (\text{Densidad Húmeda}) / (1+w)$$

Los métodos de cono de arena y balón permiten encontrar el volumen del hueco. El método de cono de arena representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero. La arena utilizada (a menudo arena de Ottawa) es generalmente material que pasa el tamiz No.20 y ésta se encuentra retenida por el tamiz No.30. Aunque el material menor que el tamiz No.30 y mayor que el tamiz No.50 puede también utilizarse, generalmente es deseable tener una arena uniforme o de un solo tamaño para evitar problemas de segregación, de forma que en las mismas condiciones de vaciado pueda lograrse la misma estructura del suelo y duplicación requerida.

El aparato de cono de arena más comúnmente usado utiliza un recipiente plástico o de vidrio de 3785 cm³ (1 galón), con suficiente material para llenar un hueco no mayor de 3800 cm³.

En general, los agujeros para ensayos de campo deben ser pequeños, produciendo esto un error multiplicador grande, por lo cual es absolutamente esencial impedir la pérdida de suelo durante la excavación, ya que la determinación del volumen hecha en cualquier forma daría un volumen aparente del agujero demasiado grande.

Como guía, la ASTM sugiere los siguientes criterios para seleccionar volumen de agujero y tamaño de la muestra para contenido de humedad, con el fin de obtener resultados razonables en el ensayo.

Tamaño máximo en el suelo según tamiz	Volumen del hueco para el ensayo en cm ³	Tamaño de la muestra para el contenido de humedad en gr.
No.4	700	100
12.7 mm	1400	250
25.0	2100	500
50.0	2800	1000

Si existe suficiente espacio en el laboratorio, el mejor resultado de contenido de humedad es aquél que se obtiene al secar la totalidad del suelo excavado del agujero en el terreno.

$$\text{Peso Unitario Húmedo} = \text{PUH} = (\text{Peso de la muestra húmeda}) / (\text{Volumen del agujero})$$

$$\text{Peso Unitario Seco} = \text{PUS} = (\text{PUH}) / (100 + \% \text{ de humedad}) * 100$$

$$\% \text{ de Compactación} = (\text{PUS de campo}) / (\text{PUS de laboratorio}) * 100$$

Este importante ensayo se usa con el fin de conocer y controlar la compactación de terraplenes y capas de base, también se usa para determinar densidad "in situ" y porcentajes de contracción o hinchamiento de materiales. Los pesos unitarios pueden expresarse en las siguientes unidades: gr/cm³, kg/m³ y lbs/pe³.

2.2.g Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo de relación soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, en 1929, como una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en construcción de carreteras.

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de valor soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad del pistón de penetración (con una área de 19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo}) / (\text{carga unitaria patrón}) * 100(\%)$$

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5 mm. Sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm es mayor, el ensayo debería repetirse.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificado).

A menudo se compactan dos moldes de suelo, uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejarlo saturar por un período de 96 horas con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso el peso de la sobrecarga deberá ser menor a 4.5 kg.

Es necesario durante este período tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del período de saturación se hace la penetración para obtener el valor de CBR para el suelo en condición de saturación completa.

En ambos ensayos de penetración para determinar los valores de CBR se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

- i. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
- ii. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Se toman lecturas de carga contra penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm, a partir del cual se toman lecturas con incrementos de 2.5 mm hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente con fines de utilización con base y sub-rasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas. El Cuadro No. 2.2-01 muestra las clasificaciones típicas.

Cuadro No. 2.2-01

No.	Clasificación	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACION	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre o regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Los esfuerzos se calculan de acuerdo con la curva de calibración del anillo de carga, para las penetraciones de 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 pulgadas. Luego se dibuja una curva en la que se usa como abscisa la penetración del pistón en pulgadas y como ordenada la carga en libras (kg) también puede usarse como ordenada las lecturas del anillo de carga y solo determinar el esfuerzo y CBR para el valor ya corregido a 0.1" y 0.2" de penetración.

Gran parte de las veces el cero de la curva debe ser desplazado para compensar los errores debidos a irregularidades en la superficie de la muestra y para corregir la curva ésta empieza con concavidad hacia arriba. Este desplazamiento se hace generalmente conectando por medio de una recta los puntos de la curva situados encima de la concavidad, que queden aproximadamente en línea recta o pasando una tangente a la curva por su punto de inflexión y, en cada caso, prolongando dicha recta hasta que intercepte el eje de las deflexiones, este punto de intersección será el cero corregido para las deflexiones.

2.3 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO EN EL PROYECTO

Las condiciones geológicas de la zona por donde atravieza el Proyecto consisten en la ancha planicie costera del Pacífico, que corre a lo largo de la zona sur de Guatemala, la cual está delimitada al norte por rocas volcánicas y una cadena de volcanes cuaternarios que han tenido una gran influencia en la formación geológica del área. Las erupciones formaron una extensa planicie de lava, consistente en su mayor parte por depósitos de pómez transportados por avalanchas incandescentes, depósitos que fueron intercalados con profundos mantos de sedimentos fluviales y tufáceos.

Aproximadamente dos tercios de la carretera atraviezan la región de la planicie costera del Pacífico que está profundamente cubierta por aluviones cuaternarios que varían desde arenas volcánicas, finas y bien estratificadas, limos y arcillas, hasta acumulaciones sueltas de gruesos pedruzcos causadas por inundaciones torrenciales. La mayoría de los suelos encontrados a lo largo de la carretera, en su mayoría se han formado de dos fuentes, siendo unos los que se han formado por intemperización de los extensos rellenos de ceniza volcánica y otros los que provienen del reciente movimiento pluvial del material volcánico.

Para la determinación de las características del suelo en el Proyecto, se desarrollaron tres etapas, las cuales consistieron en:

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

Excavación de calicatas, incluyendo ensayos para determinar el peso unitario seco de los materiales que componen la estructura del pavimento y el muestreo detallado de éstos.

Ensayos de laboratorio tales como: humedad-densidad (proctor); valor soporte de California (CBR); granulometría; límites de Atterberg; compresión no confinada de la base estabilizada con cemento; contenido de bitumen estabilidad Marshall y granulometría de la carpeta existente.

Como resultado de una inspección inicial para evaluar de forma preliminar los aspectos geotécnicos de la carretera y su entorno, a fin de estimar la clase de materiales que componen la estructura del pavimento existente y de la información proporcionada por la DGC, se determinó que el Proyecto no posee la misma estructura de pavimento en toda su longitud, encontrando que está compuesto de la siguiente manera:

Carpeta de Rodadura (concreto asfáltico - CA)

Base estabilizada con cemento hidráulico (SC)

Subbase compuesta por un doble tratamiento y arena estabilizada con asfalto (pavimento antiguo DT-PV)

Subbase

Cabe agregar que este tramo fué reforzado en el año de 1976.

Las perforaciones rotativas fueron planificadas para ser realizadas tentativamente con un espaciamiento de aproximadamente un kilómetro entre cada una y el muestreo fué realizado para determinar el tipo de materiales que componen la estructura del pavimento a lo largo del Proyecto.

En el Proyecto en estudio se obtuvieron testigos de la carpeta de rodadura (4" pulgadas de diámetro), de la base estabilizada con cemento (6" de diámetro) y del resto de la estructura del pavimento, incluyendo el pavimento antiguo (previo al reforzamiento efectuado en 1976). Al finalizar el proceso de perforación se midieron los espesores y en los casos que no fué posible recuperar muestras de la subbase y subrasante, se tomaron muestras en forma manual. Las muestras de la carpeta de rodadura y de la base estabilizada fueron ensayadas posteriormente.

La actividad de perforación neumática (calicatas), muestreo y ensayos de campo, fué planificada de acuerdo al tipo de materiales encontrados durante la ejecución de las perforaciones rotativas y al tipo de subrasante. En función de lo cual, se identificó subtramos, cuyas características eran similares y como resultado de esto se decidió el espaciamiento a ser utilizado en cada uno.

Se perforó hasta alcanzar el material de subbase, el cual fué ensayado para determinar su densidad y contenido de humedad in situ, posteriormente se procedió a efectuar el muestreo correspondiente. De igual forma se continuo con la perforación, ensayos y muestreo de la subrasante; y al finalizar la perforación, se midieron los espesores existentes. No se realizaron ensayos, ni toma de muestras de la base estabilizada con cemento, ya que en la actividad anterior se tomaron muestras de ésta. En cuanto a la carpeta de rodadura se refiere, se tomaron muestras adicionales a las ya obtenidas anteriormente.

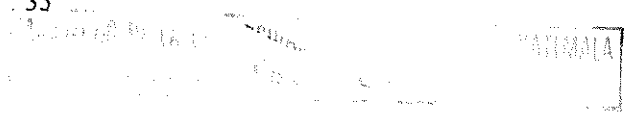
Las determinaciones de densidad y humedad in situ, fueron realizadas utilizando el método de la arena y el densímetro nuclear, habiéndose llegado a obtener resultados bastante similares en la mayoría de los casos. En ocasiones se utilizó solamente el densímetro, ya que para ciertos materiales, especialmente las bases gravosas, los resultados eran más confiables.

El proyecto fué dividido en subtramos en función de los resultados de los análisis de tránsito y espesores encontrados en las perforaciones. Un detalle de los espesores y materiales encontrados se muestra en el Anexo en el Cuadro No. 2.3-01, a continuación se presenta los espesores promedio por subtramo:

No.	De Estación	A Estación	Carpeta	Base	Subbase 1	Subbase 2
1	137+000	148+952	0.05	0.26	0.13	0.18
2	148+952	153+305	0.05	0.22	0.09	0.19
3	153+305	154+880	0.06	0.18	0.07	0.18
4	154+880	158+925	0.05	0.21	0.11	0.25
5	*	*	*	*	*	*
6	161+490	166+840	0.05	0.22	0.17	0.15
7	166+840	177+072	0.05	0.26	0.09	0.15
8	177+072	178+722	0.07	0.18	0.15	0.10

* El Subtramo No.5 corresponde al desvío de Mazatenango, (no analizado en este trabajo).

Se presentaron dos tipos de subbase, ya que el tramo fué reforzado en 1976, habiéndose utilizado como subrasante la carpeta de rodadura existente (la base estabilizada con cemento fué construida



directamente sobre ésta). Por lo anterior y para propósitos de este Estudio, se supuso que tanto la carpeta como la base del pavimento antiguo corresponden a un tipo de subbase, y la subbase original pertenece a otro.

Para el Proyecto bajo estudio se seleccionó un número representativo de muestras que fueron sometidas, según el tipo de material, a los ensayos siguientes:

Humedad - Densidad (proctor)

Valor Soporte de California (CBR a tres grados de compactación diferentes)

Granulometría

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Compresión no confinada de la base estabilizada con cemento

Contenido de bitumen de la carpeta existente

Granulometría de la carpeta existente

Estabilidad Marshall de la carpeta existente

A cada extracción de material de base, subbase y subrasante, se le realizaron los ensayos mencionados anteriormente, y se obtuvo su clasificación en base a normas de la AASHTO y la USCS, un resumen de los resultados de los ensayos efectuados se incluyen en el Anexo en el Cuadro No. 2.3-02, el análisis de los valores de CBR fué realizado por subtramos, a continuación se presentan los valores seleccionados para el diseño estructural del pavimento:

No.	De Estación	A Estación	Subbase 2	Subrasante
1	137+000	148+952	49.5	11.0
2	148+952	153+305	57.5	5.0
3	153+305	154+880	74.4	15.0
4	154+880	158+925	63.6	15.0
5	*	*	*	*
6	161+490	166+840	65.0	14.2
7	166+840	177+072	33.7	11.9
8	177+072	178+722	50.0	15.0

* El Subtramo No.5 corresponde al desvío de Mazatenango, (no analizado en este trabajo).

Los ensayos efectuados sobre las muestras de la carpeta de rodadura existente muestran que ésta se encuentra dentro de los rangos establecidos por el Asphalt Institute para granulometría, contenido de bitumen, estabilidad y flujo. Así mismo, los testigos ensayados de la base estabilizada con cemento hidráulico dieron

resultados con un valor promedio de 1919.8 lb/pulg²; lo cual indica que posee buenas propiedades estructurales. Para la subrasante existente, se obtuvieron las características de plasticidad siguientes:

LLmáx	82.7	IPmáx	16.6
IPmín	5.1	LLmín	25.9
IPprom	11.3	LLprom	48.3

BANCOS DE MATERIALES:

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

Con la finalidad de optimizar los trabajos y sus resultados, esta actividad se desarrolló en sus tres etapas, las cuales consistieron en:

Localización e inspección

Muestreo y ensayos de laboratorio

Análisis de resultados y selección final

Todas las operaciones de muestreo, así como los ensayos de laboratorio fueron realizados de acuerdo a los estándares establecidos por la AASHTO y la ASTM.

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

Humedad - Densidad (proctor)

Valor Soporte de California (CBR a tres grados de compactación diferentes)

Granulometría

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Equivalente de Arena

Desgaste por abrasión.

Un cuadro resumen de los resultados de los ensayos de humedad-densidad, CBR, límites de Atterberg, equivalente de arena y la clasificación según el método de la AASHTO y el de la USCS, para los bancos de materiales se muestra a continuación en el Cuadro No.2.3-03. Como se podrá ver en este cuadro, para los

materiales de base no se efectuó ningún ensayo de límites de Atterberg, ya que éstos son gravas de piedra triturada. De igual forma se procedió para los materiales de subbase, aunque si se realizaron algunos ensayos de límites en forma aleatoria para confirmar que éstos no poseen características de plasticidad.

**Cuadro No. 2.3-03 Resumen de Resultados en Ensayos de Laboratorio
Bancos de Materiales**

Estación	Porcentaje	PUS Máx lb/p3	Wóptimo %	CBR a 95%	L. de Atterberg			Equiv Arena	Sist. Clasificación	
	Desgaste				LL	LP	IP		AASHTO	USCS
132+200	36.4	-	-	-	NL	NP	-	86	A-3	SP
136+976	23.0	-	-	-	NL	NP	-	70	A-3	SPSM
37+400	-	91.9	13.5	50.5	NL	NP	-	40	A-2-4	SM
139+200	-	91.7	18.0	58.4	NL	NP	-	44	A-2-4	SM
143+200	-	90.0	17.1	68.5	NL	NP	-	32	A-3	SPSM
143+200	20.3	-	-	-	NL	NP	-	88	A-1-a	SP
151+300	31.1	-	-	-	NL	NP	-	87	A-3	SP
158+600	-	94.2	16.5	82.3	NL	NP	-	18	A-2-4	SM
170+900	30.0	-	-	-	NL	NP	-	24	A-2-4	SM
177+600	48.1	-	-	-	NL	NP	-	74	A-2-4	SM
181+000	-	99.0	22.0	7.9	40	35	5.5	-	A-5	ML

CAPITULO 3



***Análisis y Diseño
del Pavimento
en el Proyecto***

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL PROYECTO

3.1 GENERALIDADES

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

Es lógico esperar que no exista un método de diseño de espesores que pueda aplicarse con confianza absoluta. Desde este punto de vista el método de diseño que se aplique debe verse como un marco de referencia de criterio, una base de cálculo.

3.1.a 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.

3.1.b Tipos de Pavimentos

Pavimentos Flexibles es aquel pavimento en que la superficie de rodadura se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada y de alta calidad; los materiales bituminosos empleados en la construcción de pavimentos flexibles son el asfalto y el alquitrán. En estos pavimentos las cargas del tránsito se distribuyen a través de las diferentes capas, en tal forma que los esfuerzos en el suelo de la subrasante sean los mínimos aceptables. Los distintos materiales bituminosos que se emplean en la construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles son:

ASFALTOS

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

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

Asfaltos Líquidos de Fraguado Lento o Road Oils (SC)

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

Asfaltos Líquidos de Fraguado Medio (MC)

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

Asfaltos Líquidos de Fraguado Rápido (RC)

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

Concreto Asfálticos (AC)

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

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

Emulsiones Asfálticas

Están compuestas por tres elementos: asfalto, agua y un agente emulsificante. Se pueden clasificar en aniónicas o alcalinas y catiónicas o ácidas; teniendo cada una características bien definidas que dependen básicamente del agente emulsionador. El manejo de las emulsiones es sencillo, pero se debe tener cuidado de evitar un rompimiento prematuro, el cual puede producirse por exceso de calor, frío o presión.

Pavimentos Semi-flexibles son aquellos que se obtienen de la combinación del pavimento flexible con el adoquín, y sub-base estabilizada con cemento.

Pavimentos Rígidos son pavimentos constituidos 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 tiene un elemento estructural fundamental, una losa de concreto. Esta se apoya sobre una capa de material seleccionado (base); cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella. Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente, comprendida entre 200 y 400 kg/cm².

Los tipos de pavimentos rígidos pueden ser:

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

3.2 TEORIA DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS

3.2.a Factores de Diseño

El propósito de analizar los factores de diseño es de proveer métodos para determinar los factores apropiados para la introducción del tránsito en el diseño estructural de pavimentos.

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

Estimar la carga y el volumen del tránsito inicial y futuro para el diseño estructural de pavimentos, requiere de un análisis y estudio sustancial.

3.2.a.1 Clasificación y Número de Camiones

Se determinan por medio del análisis de estimaciones obtenidas del número de vehículos de diferentes tipos, tales como: autobuses, camiones sencillos y camiones múltiples de varias clases, que se espera usen la carretera rehabilitada.

3.2.a.2 Período de Diseño

Es el período de tiempo seleccionado, en años, para el cual el pavimento diseñado podrá soportar los efectos acumulativos del tránsito. El período de diseño no debe confundirse con la vida útil del pavimento ni con el período de análisis. La vida del pavimento puede extenderse indefinidamente a través de medidas de mantenimiento, hasta que la carretera se convierta en obsoleta debido a cambios de orden, posibilidades económicas y otros factores.

3.2.a.3 Estimación EAL

Determinar el EAL usando el método de la AASHTO, es una consideración muy importante para el diseño de estructuras de pavimentos. Para ser usado en la determinación del espesor del pavimento se aplican los términos siguientes:

EAL: número equivalente a la aplicación de 18 KIP (18,000 lbs.), por eje simple de carga.

Factor Camión: número de ejes simples de carga que equivalen al paso de un vehículo.

Factor Conversión de Carga: número de ejes simples de carga contribuidos por el paso de un eje.

Número de Vehículos: número total de vehículos involucrados.

El EAL, se calcula multiplicando el número de vehículos de cada clase de peso por el factor camión apropiado y obteniendo la sumatoria de los productos. El factor camión se determina de la distribución de datos de peso por eje, usando el factor de equivalencia de carga. Este se obtiene multiplicando el número de ejes en cada clase de peso por el factor de equivalencia de carga apropiado y dividiendo la suma de los productos entre el número total.

3.2.b Factores de Carga Equivalente y EAL de Diseño en el Proyecto

Tal como se indicó anteriormente, 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 libras por eje).

Con este propósito se recurrió a establecer las cargas máximas autorizadas, la frecuencia de los distintos tipos de vehículos pesados y los factores de carga equivalente para determinar la carga por eje equivalente correspondiente a cada una de los siete tipo de vehículos incluidos en la clasificación utilizada para los conteos de tránsito.

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". En base al mismo y utilizando los factores de carga equivalente establecidos por el "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", se preparó, para los tipos de vehículos que transitan por la carretera en estudio, el Cuadro No. 3.2-01, 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.

Cuadro No. 3.2-01 Integración del EAL para Vehículos Autorizados por el Acuerdo Gubernativo 1084-92

Tipo de Veh.	Clasif. del Tránsito	PESO EN TONELADAS sobre el Eje No.					Peso Total Tons	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA para SN = 5 y pt = 2.5 sobre el Eje No.					EA del Ve
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
		I	Automóviles	1.0 S	1.0 S				2.0	0.0004	0.0004		
II	Pick-ups	1.6 S	3.3 S				4.9	0.0016	0.0251				0.0
V	Microbuses	2.7 S	3.1 S				5.8	0.0098	0.0198				0.0
VI	Buses	5.0 S	9.8 S				14.8	0.1385	2.0326				2.1
III	C2	5.5 S	10.0 S				15.5	0.1976	2.1800				2.3
	C3	5.5 S	16.5 S				22.0	0.1976	1.4280				1.6
	C4	5.0 S	20.0 S				25.0	0.1385	0.7230				0.8
IV	T2-S1	5.0 S	9.0 S	9.0 S			23.0	0.1385	1.4590	1.4590			3.0
	T2-S2	5.0 S	9.0 S	16.0 T			30.0	0.1385	1.4590	1.2640			2.8
	T3-S1	5.0 S	16.0 T	9.0 S			30.0	0.1385	1.2640	1.4590			2.8
	T3-S2	5.0 S	16.0 T	16.0 T			37.0	0.1385	1.2640	1.2640			2.6
	T3-S3	5.0 S	16.0 T	20.0U			41.0	0.1385	1.2640	0.7230			2.1
V	C2-R2	5.5 S	10.0 S	7.0 S	7.0 S		29.5	0.1976	2.1800	0.5441	0.5441		3.4
	C3-R2	5.5 S	16.5 T	7.0 S	7.0 S		36.0	0.1976	1.4280	0.5441	0.5441		2.7
	C3-R3	5.5 S	16.5 T	7.0 S	10.0 T		39.0	0.1976	1.4280	0.5441	0.1800		2.3
V	T2-S1-R2	5.0 S	9.0 S	9.0 S	7.5 S	7.5 S	38.0	0.1385	1.4590	1.4590	0.7173	0.7173	4.4
	T3-S1-R2	5.0 S	16.0 T	9.0 S	5.0 S	7.5 S	42.5	0.1385	1.2640	1.4590	0.1385	0.7173	3.7
	T3-S1-R4	5.0 S	16.0 T	9.0 S	10.0 T	10.0 T	50.0	0.1385	1.2640	1.4590	0.1800	0.1800	3.2
	T3-S2-R2	5.0 S	16.0 T	16.0 T	5.0 S	7.5 S	49.5	0.1385	1.2640	1.2640	0.1385	0.7173	3.5
	T3-S2-R4	5.0 S	16.0 T	16.0 T	10.0 T	10.0 T	57.0	0.1385	1.2640	1.2640	0.1800	0.1800	3.0

Nota: Los factores de equivalencia de carga, EAL están tomados de la Guía de la Estructura del Pavimento de la AASHTO

Frecuencia de Vehículos de Carga

Para establecer la frecuencia de los distintos tipos de vehículos pesados, se recurrió a las memorias anuales laborales del Departamento de Pesos y Dimensiones de la DGC, correspondientes a los años 1991, 1993, 1994 y 1995 (la memoria del año 1992 no se encontraba disponible). De esta manera, como se muestra en el Cuadro No. 3.2-02 a continuación, se presenta la información, 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.

**Cuadro No. 3.2-02 Vehículos Controlados en la Estación de Siquinala
Clasificación por Número de Ejes**

Tipo de Camión	1991		1993		1994		1995		TOTAL	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
CAMIONES DE DOS EJES										
C-2	30,636	39.80	21,700	35.97	17,628	35.95	15,047	29.35	85,011	85.80
C-3	4,537	5.89	3,482	5.77	2,830	5.77	2,944	5.74	13,793	13.92
C-4	3	0.00					276	0.54	0.54	0.28
TOTAL									99,083	100.00
CAMIONES DE TRES EJES										
T2-S1	12	0.02	19	0.03	16	0.03	3	0.01	50	0.04
T2-S2	9	0.01	8	0.01	7	0.01	218	0.43	242	0.18
T3-S1	24	0.03	13	0.02	11	0.02	21	0.04	69	0.05
T3-S2	38,688	50.27	31,803	52.72	25,846	52.72	31,752	61.93	128,089	97.40
T3-S3	998	1.30	917	1.52	746	1.52	396	0.77	3,057	2.32
TOTAL									131,507	100.00
CAMIONES DE CUATRO EJES O MAS										
C2-R2	24	0.03	15	0.02	13	0.03	14	0.03	66	0.94
C3-R2	57	0.07	80	0.13	66	0.13	11	0.02	214	3.06
T2-S1-R2	6	0.01							6	0.09
T3-S1-R2	30	0.04	16	0.03	14	0.03	18	0.04	78	1.11
T3-S2-R2	1,944	2.53	1,865	3.09	1,516	3.09	21	0.04	5,346	76.33
T3-S2-R3									0	0.00
T3-S2-R4			412	0.68	335	0.68	547	1.07	1,294	18.48
TOTAL									7,004	100.00
Total General	76,968	100.00	60,330	100.00	49,028	100.00	51,268	100.00	237,594	

FUENTE: MEMORIAS DE LABORES DEL DEPARTAMENTO DE PESOS Y DIMENSIONES DE LA DGC

Integración de la Carga por Eje Equivalente (EAL)

La información obtenida anteriormente es combinada para obtener, en forma ponderada, la carga por eje equivalente correspondiente a cada una de las siete categorías de vehículos utilizada en los conteos de tránsito. Esta integración se muestra a continuación en el Cuadro No. 3.2-03.

Cuadro No. 3.2-03 Carga por Eje Equivalente, EAL para los Distintos Tipos de Vehículos de la Clasificación de la DGC

Tipo de Vehículo	Procedimiento de Integración.	EAL
Automóviles	Valor tomado directamente del Cuadro No. 3.2-01	0.0008
Pick-ups	Valor tomado directamente del Cuadro No. 3.2-01	0.0267
Microbuses	Valor tomado directamente del Cuadro No. 3.2-01	0.0296
Buses	Valor tomado directamente del Cuadro No. 3.2-01	2.1711
Camiones de 2 Ejes	$(C2*2.3776 + C3*1.6256 + C4*0.8615) / 100$	2.2686
Camiones de 3 Ejes	$(T2-S1*3.0565 + T2-S2*2.8615 + T3-S1*2.8615 + T3-S2*2.6665 + T3-S3*2.1255) / 100$	2.6545
Camiones de 4 Ejes o más	$(C2-R2*3.4658 + C3-R2*2.7138 + T2-S1-R2*4.491 + T3-S1-R2*3.7173 + T3-S2-R4*3.0265) / 100$	3.4085

Nota: En la integración se debe sustituir el tipo de vehículo por el porcentaje correspondiente, tomado del Cuadro No. 3.2-02

Cuadro No. 3.2-04 Resumen de Cargas por Eje Equivalente

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 210										
1998	2864	49.7	1584	27.5	787	13.7	529	9.2	5764	2732021
2018	4823	43.8	2701	24.5	2089	19.0	1404	12.7	11016	6005810
Total sobre ambas pistas durante el período										87385246
ESTACION 211										
1998	4606	63.4	1563	21.5	673	9.3	418	5.8	7260	2467209
2018	8072	56.6	2995	21.0	1969	13.8	1223	8.6	14258	5905859
Total sobre ambas pistas durante el período										85516018
ESTACION 212										
1998	7712	65.9	2667	22.8	940	8.0	391	3.3	11711	3623765
2018	13812	62.3	4817	21.7	2495	11.3	1038	4.7	22163	7728699
Total sobre ambas pistas durante el período										113757233
ESTACION 213										
1998	4657	62.0	1836	24.4	716	9.5	308	4.1	7516	2608017
2018	8109	57.6	3245	23.1	1898	13.5	816	5.8	14069	5561563
Total sobre ambas pistas durante el período										81828930
ESTACION 214										
1998	2219	59.4	973	26.1	540	14.5	2	0.06	3734	1331323
2018	3850	54.6	1757	24.9	1433	20.3	6	0.08	7046	2849356
Total sobre ambas pistas durante el período										41875109

Notas:

- (1) Incluye vehículos de las categorías I, II y V
 (2) Incluye vehículos de las categorías III y VI

- (3) Incluye vehículos de la categoría IV
 (4) Incluye vehículos de la categoría VII

3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE DISEÑO PARA EL CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

3.3.a Procedimiento Basado en la Deflexión Representativa de Rebote, DRR

El esfuerzo que debe hacerse al pavimento de una carretera es un problema frecuente que los ingenieros de carreteras tienen que afrontar en un país como Guatemala, donde los recursos financieros son pocos y su mejor ubicación impone la construcción por etapas de la estructura de pavimentos.

Esto hace que buena parte de la red de carreteras pavimentadas generalmente no esté preparada para, absorber sin sufrir daño, el crecimiento del tráfico, tanto en el número de vehículos como en el incremento de las cargas soportadas por los ejes.

El estudio de la deformación elástica que se produce cuando se aplica una carga en la superficie de los pavimentos flexibles, proporciona un medio adecuado para la evaluación de su comportamiento elástico. Los equipos utilizados para la evaluación de deflexiones son:

Estáticos

Plate Bearing Test

Viga Benkelman

Dinámicos

Deflectógrafo Lacroix, California Traveling Deflectometer (carga real, baja frecuencia)

Vibratorios (carga sinusoidal, baja magnitud)

Dynaflect, carga dual (excéntrica), geófonos

Road Rater, carga hidráulica, puede variarse magnitud y frecuencia

De Impulso, 1 o 2 pesos caen sobre un plato circular, simula aproximadamente la carga de un camión circulando a una velocidad real.

FWD

Phonix

Kuab (dos pesos)

"Ground Penetration Radar", espesores huecos en la mezcla

Propagación de Ondas en Superficie (SASW), pequeño martillo golpea y se mide la velocidad de propagación de ondas.

El instrumento que se utiliza generalmente para medir las deformaciones elásticas con más frecuencia, es el *Viga Benkelman* que permite conocer diferentes estados y propiedades del pavimento. Resulta de gran utilidad para el diseño del refuerzo de un pavimento dado, para su trabajo de rehabilitación y de la conservación de su estructura.

Cuando se complementan las pruebas de deflexión en una carretera pavimentada, la recopilación de datos obtenidos en las pruebas, se utiliza para determinar la deflexión representativa de rebote (DRR). Este valor es el promedio de la deflexión, más dos veces la desviación estándar, multiplicado por un factor de ajuste de temperatura preferido a 21°C y, si es necesario, por un factor de ajuste para período crítico.

La deflexión representativa es:

$$DRR = (X + 2S) f c \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

de donde:

X = el promedio de los valores individuales de las pruebas de deflexión

S = desviación estándar

f = factor de ajuste por temperatura

c = factor de ajuste para período crítico

DESVIACION ESTANDAR

Es calculada para 10 o más valores tomados en el tramo de carretera que se va a evaluar, y se calcula de la siguiente manera:

$$S = \text{SQRT} [(n * \text{Sum}(x^2) - (\text{Sum } x)^2) / n * (n-1)]$$

de donde:

n = número de pruebas en el tramo o sección de la carretera

x = valor individual de cada prueba

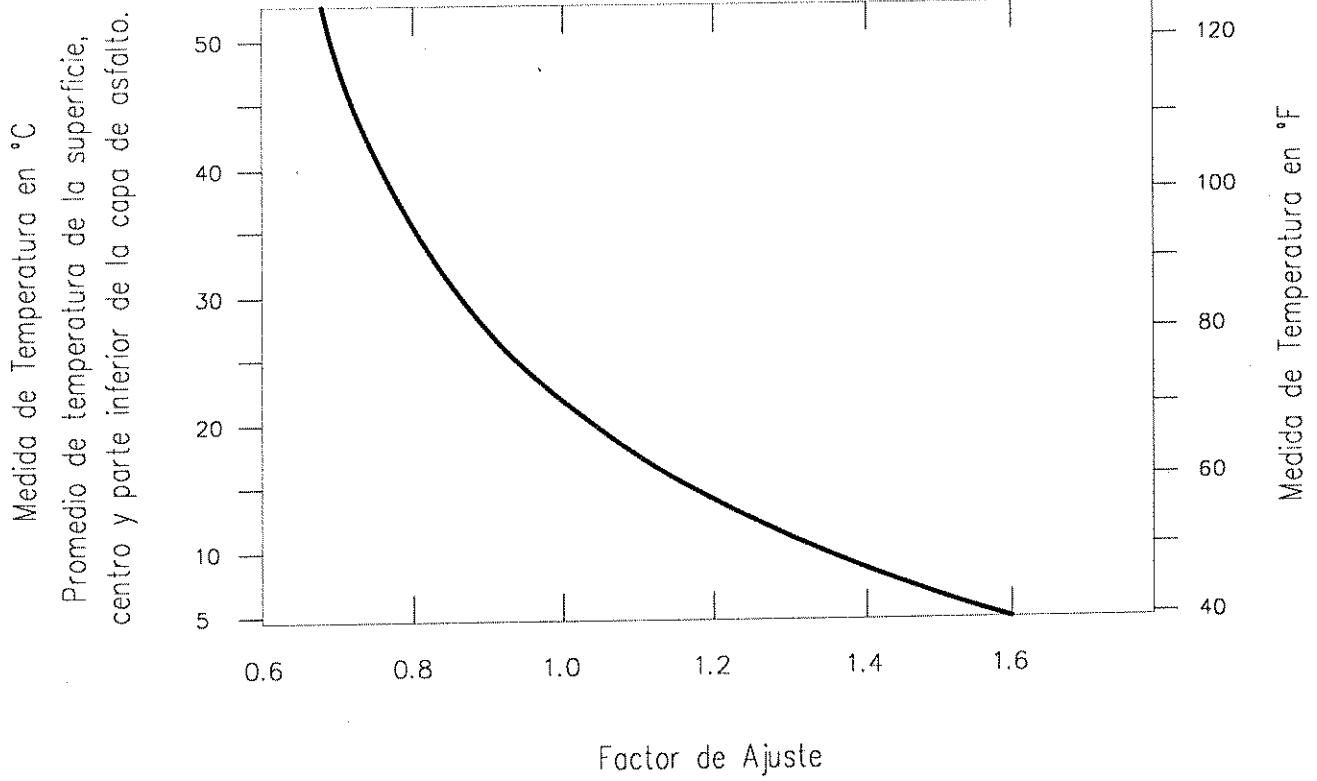
FACTOR DE AJUSTE POR TEMPERATURA

El factor de ajuste por temperatura se puede determinar de la Figura No. 3.3-01

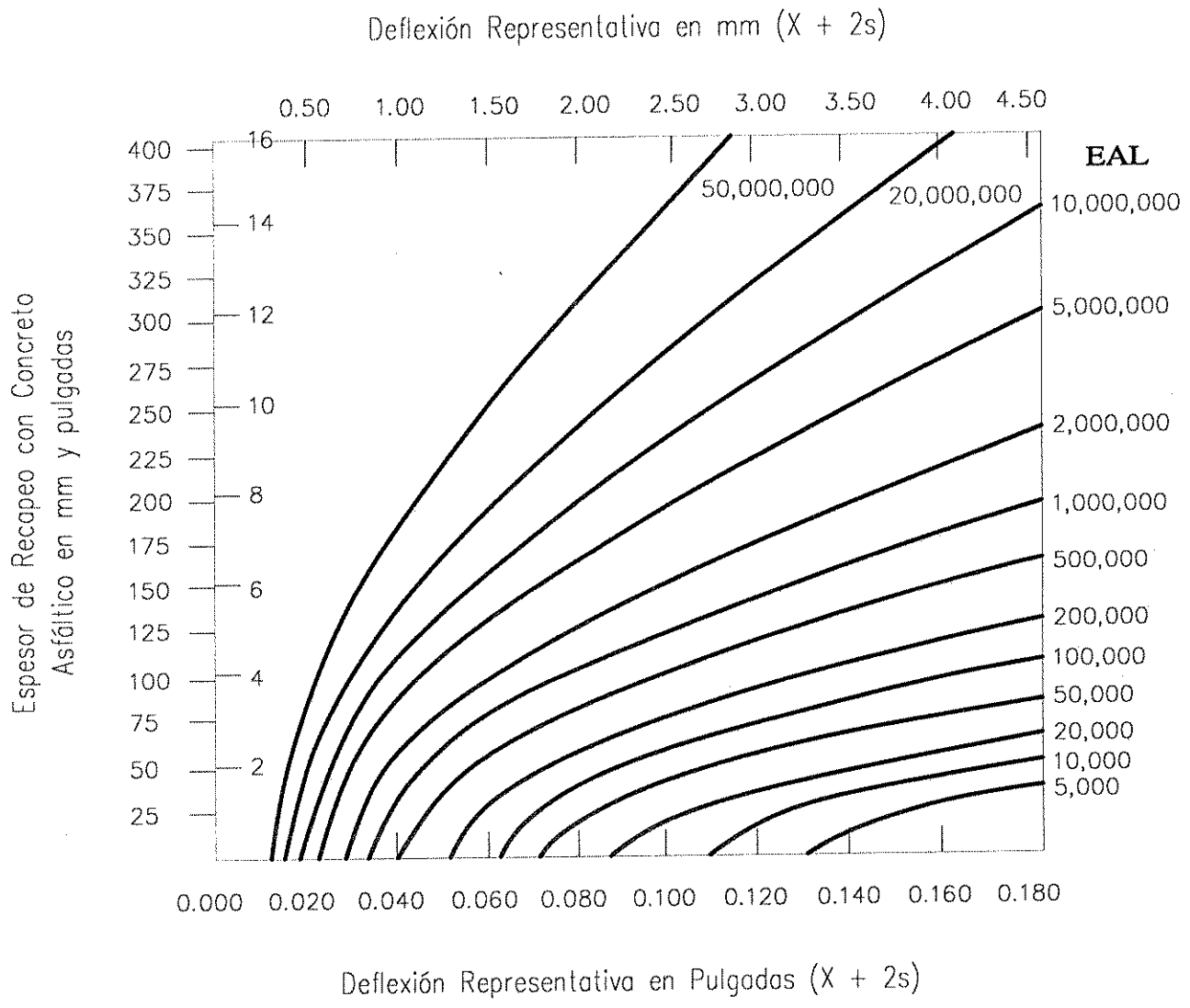
FACTOR DE AJUSTE POR PERIODO CRITICO

Este factor es utilizado porque en algunos climas, cierto período del año es más crítico para el pavimento flexible que otro. Es muy importante que la deflexión representativa, exprese realmente, el período más crítico. Para poder determinar este factor se recomienda lo siguiente:

Si las pruebas se efectúan durante el período más crítico $c = 1$.



**Factor de Ajuste de Temperatura
 para Deflexiones Medidas con la
 Viga Benkelman**



**Espesor de Recapeo con Concreto Asfáltico
Requerido para Reducir la Deflexión del Pavimento
(Ensayo de Rebote)**

Figura No. 3.3-02

Si la medida de deflexión se efectúa en cualquier tiempo, el factor para el período crítico, debe obtenerse de datos de pruebas realizadas anteriormente, en base a pavimentos similares, en similares circunstancias y de subcapas del pavimento también similares.

Las medidas de deflexión hechas en cualquier tiempo deben tener un factor de ajuste de período crítico, tomado a juicio del ingeniero encargado de la obra.

3.3.a.1 Diseño de Capas de Refuerzo

Para determinar el espesor mínimo que requiere un pavimento como refuerzo para reducir la deflexión hasta un valor admisible, se utiliza la Figura No. 3.3-02, procediendo de la siguiente manera:

Se determina la deflexión representativa de rebote (DRR)

Se debe conocer el número de diseño del tráfico EAL.

Se ingresa en la Figura No. 3.3-02 con la deflexión admisible medida en pulgadas y se sube verticalmente hasta llegar a la curva del EAL (si es necesario interpolarla) y desde ese punto se traza una línea horizontal hasta encontrar el espesor de la capa de refuerzo medida en pulgadas.

3.3.b Método de la AASHTO

El procedimiento de diseño recomendado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), está basado en los resultados de extensivas pruebas de caminos. El método de diseño introduce una definición referente 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 subrasante y las condiciones climáticas de la región.

La ecuación de diseño para pavimentos flexibles propuesta por la AASHTO fué basada sobre el análisis de los efectos del diseño estructural y las cargas sobre el funcionamiento de el pavimento flexible.

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

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_r + S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \left[\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}} \right]} + 2.32 * \log_{10} (MR) - 8.07 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

de donde:

$W_{18} = \text{EAL}$:

Número de ejes equivalentes simples de 18,000 libras. Este se calculó para todo el período de diseño, 20 años.

Zr = Desviación Estándar Normal

El valor de Zr está determinado por el nivel de confiabilidad del diseño R. Para el diseño de este proyecto se tomará el valor de R = 85 por ser el diseño para una carretera rural. Zr, se puede obtener con el valor de R directamente de el Cuadro No. 3.3-01 siguiente:

Cuadro No. 3.3-01 Valores Correspondientes a Niveles de Confiabilidad para Seleccioner (Zr)

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

$$Z(85) = -1.037$$

So = Desviación Estándar

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

PSI

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

Mr = Módulo de Reacción de la Subrasante

Como en Guatemala, no existen equipos adecuados para determinar el Mr, éste se obtiene multiplicando el valor promedio CBR de la subrasante a compactación seleccionada (para el Proyecto en estudio se analiza al 95%), por un número que depende del tipo de suelo existente en la subrasante, para suelos finos la Road Test sugiere un número de 1500.

SN = Número Estructural

El SN está definido como el índice derivado de un análisis de tránsito y por las condiciones del suelo del lecho, para obtenerlo se valúa la ecuación fundamental (Ecuación No. 3.1).

Con los datos obtenidos, se llevan a cabo iteraciones del SN, iniciando con un número comprendido entre el rango entre 3 - 6; las iteraciones de SN se detienen cuando el EAL o W₁₈ obtenido sea igual o aproximado al EAL de diseño.

3.4 ANALISIS DEL PAVIMENTO EN EL PROYECTO

El proyecto en análisis es un tramo de carretera de la ruta internacional CA-2 Occidente, que tiene una longitud de 36.79 kilómetros y se encuentra localizado en la zona sur-occidental del país.

Geográficamente el segmento de la carretera interamericana CA-2, está comprendida en el extremo este de los 14°15' a los 14°40' de latitud norte y longitud oeste de 92°10'.

Las altitudes sobre el nivel del mar, en la mayor parte del área oscilan entre los 20 y 702 msnm. La carretera propiamente dicha, se encuentra a elevaciones comprendidas entre 30 y 600 msnm.

La carretera conecta o está muy próxima a 28 municipios, de los cuales 14 pertenecen al departamento de Suchitepéquez, 7 a Retalhuleu, 4 a San Marcos y 3 al departamento de Quetzaltenango.

3.4.a Condiciones del Pavimento Existente

La carretera CA-2 Occidente en el tramo entre Nahualate y Retalhuleu fué construida durante la década de los años cincuenta, utilizando como superficie de rodadura un doble tratamiento superficial, con 3 centímetros de espesor y hombros de terracería.

Durante los cuarenta años transcurridos el tramo fué rehabilitado durante los años setenta, colocando sobre la estructura del pavimento existente una base tratada con cemento y una nueva superficie de rodadura de concreto asfáltico, de 5 centímetros de espesor y hombros con tratamiento superficial. Actualmente, la superficie de rodadura del tramo en estudio, en general presenta agrietamientos del tipo cuero de lagarto, con una severidad media en un alto porcentaje del área pavimentada, aunque en algunas zonas el daño ya es severo; también se observan algunos baches que han sido reparados, así como muchos daños en los hombros.

El proyecto fué dividido en subtramos en función de los resultados de los análisis de tránsito y espesores encontrados en las perforaciones. A continuación se presenta los espesores promedio por subtramo:

No.	De Estación	A Estación	Carpeta	Base	Subbase 1	Subbase 2
1	137+000	148+952	0.05	0.26	0.13	0.18
2	148+952	153+305	0.05	0.22	0.09	0.19
3	153+305	154+880	0.06	0.18	0.07	0.18
4	154+880	158+925	0.05	0.21	0.11	0.25
5	161+490	166+840	0.05	0.22	0.17	0.15
6	166+840	177+072	0.05	0.26	0.09	0.15
7	177+072	178+722	0.07	0.18	0.15	0.10

El análisis de los valores de CBR fué realizado por subtramos, a continuación se presentan los valores seleccionados para el diseño estructural del pavimento:

No.	De Estación	A Estación	Subbase 2	Subrasante
1	137+000	148+952	49.5	11.0
2	148+952	153+305	57.5	5.0
3	153+305	154+880	74.4	15.0
4	154+880	158+925	63.6	15.0
5	161+490	166+840	65.0	14.2
6	166+840	177+072	33.7	11.9
7	177+072	178+722	50.0	15.0

Los ensayos efectuados sobre las muestras de la carpeta de rodadura existente muestran que ésta se encuentra dentro de los rangos establecidos por el Asphalt Institute para granulometría, contenido de bitumen, estabilidad y flujo. Así mismo, los testigos ensayados de la base estabilizada con cemento hidráulico dieron resultados con un valor promedio de 1919.8 lb/pulg²; lo cual indica que posee buenas propiedades estructurales. Para la subrasante existente, se obtuvieron las características de plasticidad siguientes:

LLmáx	82.7	IPmáx	16.6
IPmín	5.1	LLmín	25.9
IPprom	11.3	LLprom	48.3

3.4.b Diseño de Espesores del Pavimento

El análisis de tránsito, es decir, los factores de diseño, combinados con la evaluación del pavimento realizada anteriormente y las características del suelo en el proyecto, determinadas, tanto en el laboratorio como en el campo permiten iniciar el diseño del nuevo pavimento. Como se indicó anteriormente este tramo fué rehabilitado en 1976 y el estado de la superficie de rodadura, aun cuando ya está concluyendo su vida útil presenta muy pocos daños, de manera que su rehabilitación puede realizarse por medio de un recapeo que satisfaga los requerimientos de carga establecidos por el estudio de tránsito, aunque para contar con una sección típica "Tipo B", es necesario ampliar los hombros. Bajo estas circunstancias es importante la evaluación de la capacidad estructural de la estructura existente a través de la medición de deflexiones.

Interpretación de Resultados y Cálculo de la Deflexión Representativa de Rebote (DRR)

Las mediciones de deflexiones con Viga Benkelman fueron hechas con un espaciámetro de 75 metros, efectuando mediciones a la izquierda, al centro y al derecha de la carretera, desde Nahualate hasta el kilómetro 196.5.

A continuación en forma de ejemplificar la obtención de los datos, se presenta el análisis general utilizado para uno de los tramos de los que consta el tramo carretero en estudio.

El tramo a analizar es el comprendido entre el Puente Quitacalzón I (Km 153+305) y Salida a San Bernardino (Km 154+880).

En el Cuadro No. 3.4-01, se muestran las lecturas tomadas de las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman.

Cuadro No. 3.4-01 Análisis de Deflexiones con Viga Benkelman

ESTACION	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	VALOR DE DEFLEXIONES			DEFLEXION PROMEDIO
		IZQUIERDA	CENTRO	DERECHA	
153+305	75	0.0400	0.0580	0.0560	0.0513
153+380	75	0.0800	0.2000	0.2240	0.1680
153+4555	75	0.0720	0.1200	0.2400	0.1440
153+530	75	0.0520	0.1040	0.1040	0.0867
153+605	75	0.0520	0.1320	0.2320	0.1387
153+680	75	0.0480	0.0360	0.1800	0.0880
153+755	75	0.0640	0.0960	0.0960	0.0853
153+830	75	0.0760	0.0200	0.0440	0.0467
153+905	75	0.0960	0.0800	0.0800	0.0853
153+980	75	0.0800	0.0460	0.0800	0.0687
154+055	75	0.0440	0.0360	0.0580	0.0460
154+130	75	0.0560	0.0680	0.0840	0.0693
154+205	75	0.0800	0.0600	0.0440	0.0613
154+280	75	0.1000	0.0680	0.0560	0.0747
154+355	75	0.0320	0.0440	0.0520	0.0427
154+430	75	0.0880	0.0640	0.0800	0.0773
154+505	75	0.0880	0.0800	0.0720	0.0800
154+580	75	0.0560	0.0400	0.0440	0.0467
154+655	75	0.0520	0.0560	0.0440	0.0507
154+730	75	0.0640	0.0440	0.0360	0.0480
154+805	75	0.0520	0.0480	0.0440	0.048
SUAMTORIA (X)					1.6073

Cálculo de la Deflexión Representativa de Rebote (DRR), de ecuación 3.1 se tiene que:

$$DRR = (X + 2S) f c$$

$$\text{Sum } (x) = 1.6073 \quad X = 1.6073 / 21 = 0.0765 \quad \text{Sum } (x) ^ 2 = 0.1473$$

$$S = \text{SQRT} [((21 * (0.1473) - (1.6073) ^ 2)) / (21 * (21 - 1))] = 0.03482732$$

Las deflexiones fueron tomadas a las 17:00 horas del día 01 febrero de 1996 y entre las 7:00 - 10:00 horas del día 02 febrero de 1996, siendo su valor de ajuste promedio el siguiente:

$$f = (0.95 + 0.913 + 0.865 + 0.85 + 0.856) / 5 = 0.8868$$

$$c = \text{factor crítico} = 1$$

de donde se tiene que:

$$DRR = 0.14615 f c = (0.14615) * 0.8868 * 1 = 0.129605$$

$$DRR \text{ sin corr} = 0.14615''$$

$$DRR \text{ corr} = 0.1296''$$

Todas las lecturas de deflexión y las otras informaciones relacionadas, obtenidas durante los ensayos de viga Benkelman, fueron introducidos en un computador en forma ordenada para su procesamiento, a fin de facilitar su posterior evaluación y análisis. En general se obtuvo el promedio de los valores de las deflexiones izquierda, centro y derecha y luego fueron agrupados por subtramos con condiciones de deflexión similares. Posteriormente, se calcularon las correcciones necesarias por temperatura y se determinó para cada subtramo, el valor de la deflexión representativa de rebote (DDR) correspondiente, utilizando para ello el procedimiento establecido por el Asphalt Institute, en su Manual MS-17 y ejemplificado anteriormente para uno de los tramos del Proyecto en estudio. En los Cuadros Nos. 3.4-06 y 3.4-07 del Anexo, se presentan los análisis de deflexiones con viga Benkelman y un resumen de resultados de deflexión representativa. De esta manera los resultados de DDR permitieron la subdivisión en los seis subtramos siguientes, para los cuales se indica la deflexión representativa de rebote en el Cuadro No. 3.4-02 a continuación.

Cuadro No. 3.4-02

UBICACION APROXIMADA DEL SUBTRAMO	LONGITUD	DRR (")
Puente Nahualate a Puente Quitacalzón I	16.3 km	0.0269
Puente Quitacalzón I a Salida de San Bernardino	1.60 km	0.1296
Salida a San Bernardino a Entrada a Mazatenango	4.00 km	0.0316
Entrada Mazatenango a Final Desvió Mazatenango	5.20 km	0.0517
Final Desvió Mazatenango a San Sebastián Retalhuleu	17.2 km	0.0410
San Sebastián Retalhuleu a Salida Xab	17.9 km	0.0726

Como se observa en el cuadro anterior, los resultados de deflexión representativa de rebote, DRR varían entre 0.0269 y 0.1243 pulgadas (0.0683 y 0.3157 cm). En base a estos resultados y las cargas de tránsito establecidas en el Capítulo No.1, se realizó una subdivisión del tramo con mediciones de deflexión con viga Benkelman, en los 10 subtramos siguientes mostrados en el Cuadro No. 3.4-03.

Cuadro No. 3.4-03

UBICACION APROXIMADA DEL SUBTRAMO	LONGITUD	DRR (")
Puente Nahualate a km 148+952	11.95 km	0.0279
km 148+952 a Puente Quitacalzón I	4.35 km	0.0236
Puente Quitacalzón I a Salida de San Bernardino	1.58 km	0.1255
Salida San Bernardino a Entrada Mazatenango	4.04 km	0.0317
Entrada Mazatenango a Final Desvío Mazatenango	5.24 km	0.0517
Final Desvío Mazatenango a Cuvotenango	5.35 km	0.0303
Cuvotenango a Desvío CITO 180	10.23 km	0.0464
Final Desvío CITO 180 a San Sebastián Retalhuleu	1.65 km	0.0231
San Sebastián Retalhuleu a Sibaná	12.75 km	0.0728
Sibaná a Yah	5.12 km	0.0721

Cuadro No. 3.4-04 Porcentaje Total del Tráfico de Camiones (en ambas direcciones) en la Línea de Diseño

No. Líneas de Tráfico (dos direcciones)	Porcentaje de Camiones en Línea de Diseño
2	50
4	45 (35 - 48) *
6	40 (25 - 48) *

* Rango probable

Diseño de Recapeo para Tramo Nahualate - Km 148+952 (137+000 - 148+952)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 210										
1998	2864	49.7	1584	27.5	787	13.7	529	9.2	5764	2732021
2018	4823	43.8	2701	24.5	2089	19.0	1404	12.7	11016	6005810
Total sobre ambas pistas durante el período										87385246

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2732021 * 50% = 1366010

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 43692623

Deflexión representativa (DRR) = 0.0279" = 0.7075 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 5.0" = 128 mm.

Diseño de Recapeo para Km 148+952 - Puente Quitacalzón I (148+952 - 153+305)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 210										
1998	2864	49.7	1584	27.5	787	13.7	529	9.2	5764	2732021
2018	4823	43.8	2701	24.5	2089	19.0	1404	12.7	11016	6005810
Total sobre ambas pistas durante el período										87385246

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2732021 * 50% = 1366010

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 43692623

Deflexión representativa (DRR) = 0.0236" = 0.5987 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 4.2" = 105 mm.

Diseño de Recapeo para Puente Quitacalzón I - Salida a San Bernardino (153+305 - 154+880)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 211										
1998	4606	63.4	1563	21.5	673	9.3	418	5.8	7260	2467209
2018	8072	56.6	2995	21.0	1969	13.8	1223	8.6	14258	5905859
Total sobre ambas pistas durante el período										85516018

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2467209 * 50% = 1233605

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 42758009

Deflexión representativa (DRR) = 0.1255" = 3.1886 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 16.3" = 415 mm.

Diseño de Recapeo para Salida a San Bernardino - Entrada a Mazatenango (154+880 - 158+925)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 211										
1998	4606	63.4	1563	21.5	673	9.3	418	5.8	7260	2467209
2018	8072	56.6	2995	21.0	1969	13.8	1223	8.6	14258	5905859
Total sobre ambas pistas durante el período										85516018

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2467209 * 50% = 1233605

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 42758009

Deflexión representativa (DRR) = 0.0317" = 0.8050 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 5.7" = 144 mm.

Diseño de Recapeo para Entrada a Mazatenango - Final Desvío a Mazatenango (158+925 - 164+164)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 211										
1998	4606	63.4	1563	21.5	673	9.3	418	5.8	7260	2467209
2018	8072	56.6	2995	21.0	1969	13.8	1223	8.6	14258	5905859
Total sobre ambas pistas durante el período										85516018

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2467209 * 50% = 1233605

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 42758009

Deflexión representativa (DRR) = 0.0517" = 1.3120 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 8.5" = 217 mm.

Diseño de Recapeo para Final Desvío a Mazatenango - Cuyotenango (161+490 - 166+840)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 212										
1998	7712	65.9	2667	22.8	940	8.0	391	3.3	11711	3623765
2018	13812	62.3	4817	21.7	2495	11.3	1038	4.7	22163	7728699
Total sobre ambas pistas durante el período										113757233

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 3623765 * 50% = 1811883

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 56878617

Deflexión representativa (DRR) = 0.0303" = 0.7692 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 5.9" = 151 mm.

Diseño de Recapeo para Cuyotenango - Desvío CITO 180 (166+840 - 177+072)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

De Cuadro No. 3.2-04 (Resumen de Cargas por Eje Equivalente)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 213										
1998	4657	62.0	1836	24.4	716	9.5	308	4.1	7516	2608017
2018	8109	57.6	3245	23.1	1898	13.5	816	5.8	14069	5561563
Total sobre ambas pistas durante el período										81828930

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 2608017 * 50% = 1304009

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 40914465

Deflexión representativa (DRR) = 0.0464" = 1.1784 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 7.8" = 197 mm.

Diseño de Recapeo para Desvío CITO 180 - San Sebastián Retalhuleu (177+072 - 178+722)

Período de diseño = 20 años

Factor de línea de diseño = 50% (Cuadro No. 3.4-04)

Año	2 Ejes, 4 llantas FEC = 0.016 (1)		2 Ejes, 6 llantas FEC = 2.239 (2)		3 Ejes FEC = 2.6545 (3)		5 Ejes FEC = 3.4085 (4)		TPDA	EAL
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
ESTACION 214										
1998	2219	59.4	973	26.1	540	14.5	2	0.06	3734	1331323
2018	3850	54.6	1757	24.9	1433	20.3	6	0.08	7046	2849356
Total sobre ambas pistas durante el período										41875109

EAL Año inicial (1998) = Eal * Factor línea de diseño = 1331323 * 50% = 665662

EAL diseño = Eal total sobre ambas pistas durante el período * Factor línea de diseño = 20937555

Deflexión representativa (DRR) = 0.0231" = 0.5875 mm De Figura No.3.3-02

Recapeo = 2.9" = 73 mm.

Cuadro No. 3.4-05 Resumen de Resultados Obtenidos de Análisis de Deflexión

Ubicación aproximada de Subtramo	Espesor de Recapeo
Punte Nahualate a Km 148+952	12.8 cm
Km 148+952 a Puente Quitacalzón I	10.5 cm
Puente Quitacalzón I a Salida San Bernardino	41.5 cm
Salida San Bernardino a Entrada Mazatenango	14.4 cm
Entrada Mazatenango a Final Desvío Mazate.	21.7 cm
Final Desvío Mazate. a Cuyotenango	15.1 cm
Cuyotenango a Desvío CITO 180	19.7 cm
Desvío CITO 180 a San Sebastián Reu	7.3 cm

De los resultados anteriores puede observarse que los espesores de recapeo requeridos para el subtramo Puente Quitacalzón a Salida a San Bernardino es muy grande, por lo que se considera una rehabilitación con una nueva carpeta de concreto asfáltico, sobre una base estabilizada con cemento, formada por la escarificación, trituración y mezcla de una parte de la estructura existente. Este diseño se realizó utilizando el método de la AASHTO y el análisis se presenta a continuación.

Análisis y Diseño de Espesores de Pavimento para el subtramo comprendido entre Puente Quitacalzón I a Salida de San Bernardino utilizando el Método de la AASHTO

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

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_r + S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \left[\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}} \right]} + 2.32 * \log_{10} (MR) - 8.07 \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

A continuación se detallan cada uno de los factores que integran la fórmula: (analizados en Sección 3.3.b)

$$W_{18} = EAL = 45638664$$

$$Z_r = Z_r (85) = -1.037$$

$$S_o = 0.45$$

$$P_o = 4.5 \text{ y } P_t = 2.3, \text{ PSI} = 2.2$$

$$M_r = 15 * 1500 = 22500$$

Para llegar a establecer el número estructural (SN) se utilizaron los siguientes datos:

Período de Diseño:	20 años
Tasa de crecimiento anual:	4.72
Porcentaje de Confianza:	85.00
Desviación estándar (So):	0.45
Desviación estándar normal (Zr):	-1.037
Mr:	22500
Número de pistas / dirección:	1
Índice de servicio inicial:	4.5
Índice de servicio final:	2.3
No. de ejes equivalentes:	45638664

Sustituyendo estos datos en la ecuación 3.2, da como resultado un número estructural (SN) de 3.86.

Análiticamente SN está dado por:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

de donde los valores de D1, D2 y D3 corresponden al espesor de la respectiva capa. Los valores correspondientes a a1, a2 y a3 fueron obtenidos tomando en cuenta los valores de resistencia propuestos en el diseño para cada una de las capas que conforman la nueva estructura del pavimento. A continuación se presentan los coeficientes propuestos para el diseño:

Material	Resistencia		Módulo de Resilencia	Coeficiente de Capa
	Método	Valor		
C. Asfáltica	M. Elást.	350000	350000	0.390
Base Negra	UCC	750	789000	0.213
B. con Cemento	Marshall	700	154000	0.192
Base Granular	CBR	90	29000	0.137
Subbase	CBR	15	22500	

Se analizaron tres posibles soluciones, en lo que a espesor de base se refiere, por lo que se presentan tres coeficientes de capa de base: base granular, base tratada con cemento y base negra.

Solución 1: Estructura de pavimento diseñada con base granular.

Solución 2: Estructura de pavimento diseñada con base tratada con cemento.

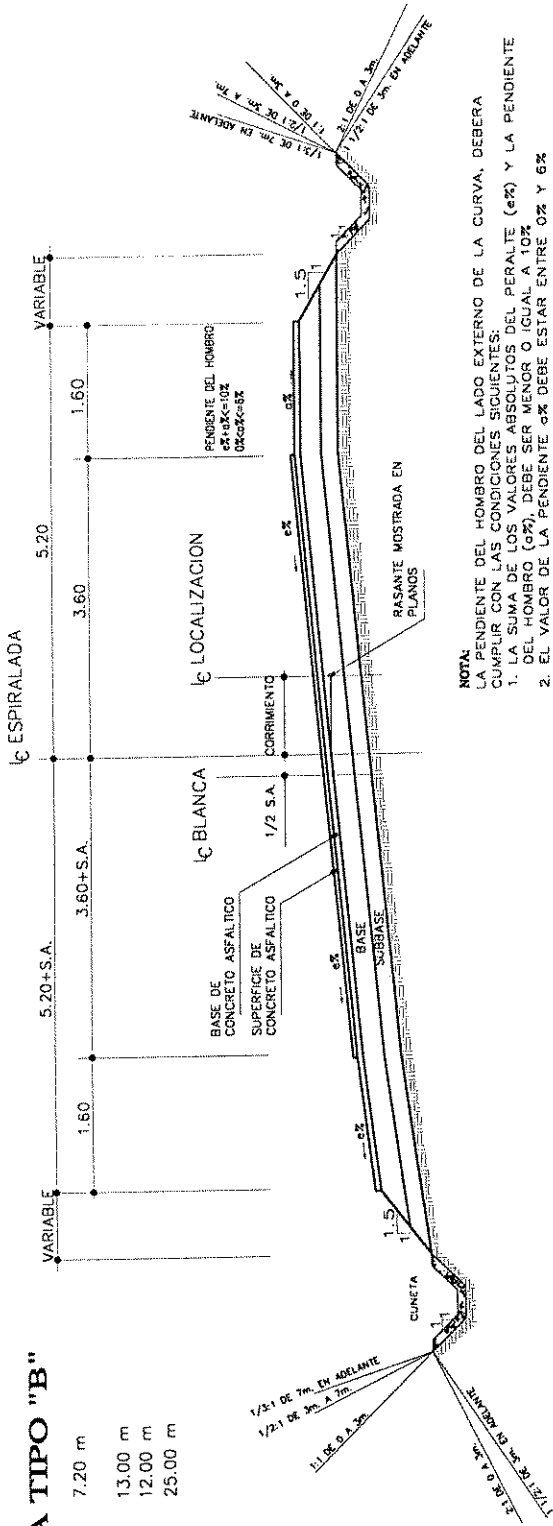
Solución 3: Estructura de pavimento diseñada con base negra.

Para la carpeta de rodadura se sugiere un espesor mínimo de 2" (5 cm). A continuación se presenta en el Cuadro No. los espesores propuestos en el diseño.

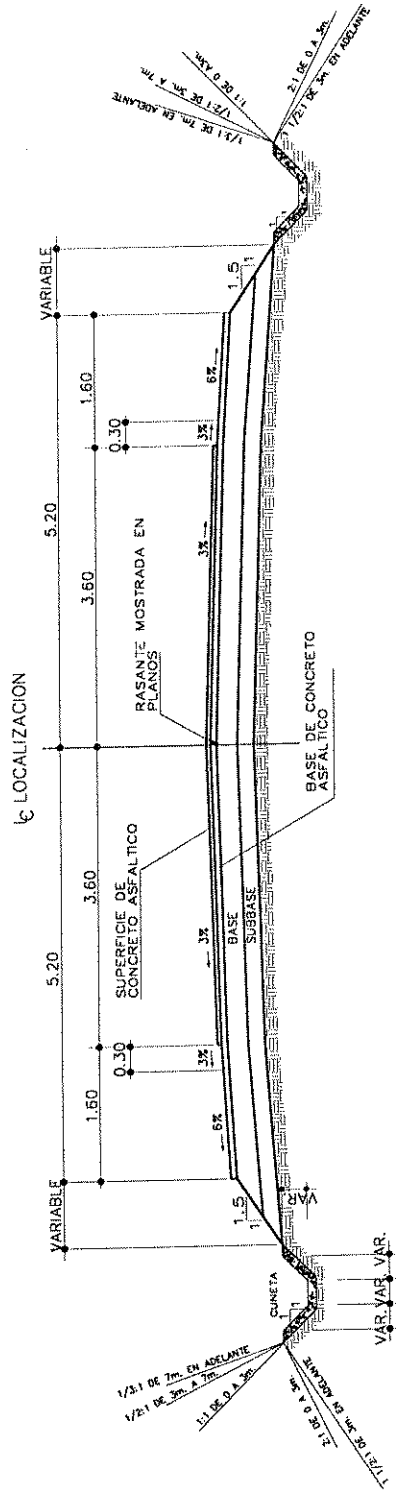
Material	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Carpeta Asfáltica	9.5	4.75	5.0
Base Negra			10.0
Base con Cemento		9.5	
Base Granular	2.00		
Espesor Total	11.50	14.25	15.00

CARRETERA TIPO "B"

ANCHO DE CALZADA	7.20 m
ANCHO DE TERRACERIA	13.00 m
CORTE	12.00 m
RELLENO	25.00 m
DERECHO DE VIA	



ALINEACION CURVA



ALINEACION RECTA

CA-2 OCCIDENTE TRAMO NAHUALATE - RETALHULEU

CAPITULO 4

Acciones de Mitigación del Impacto Ambiental trás la Realización del Proyecto

ACCIONES DE MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL TRAS LA REALIZACION DEL PROYECTO

4.1 GENERALIDADES

La preparación de guías o lineamientos de ingeniería y ambientales en combinación, son vitales para la protección ambiental durante el desarrollo de la rehabilitación de toda carretera, con el fin de proteger la inversión y dar la debida atención a la conservación a los recursos naturales y su manejo adecuado. La rehabilitación y/o construcción de caminos y carreteras, es una de las actividades con mayor potencial de daño al ambiente, en especial cuando ocurre en áreas sensibles y frágiles. A menudo se ocasionan serias e innecesarias degradaciones en la base de recursos naturales y el deterioro prematuro de las obras construidas con la consiguiente pérdida ecológica y económica.

Como parte del plan de implementación a la Gestión Ambiental, recién se ha creado el PGA-UP-DGC (Programa de Gestión Ambiental de la División de Planificación y Estudios de la DGC), teniendo como responsabilidad la implementación de Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental, en caminos pavimentados y no pavimentados, con lo que se espera contar con un mejor y más amplio apoyo en la toma de decisiones para la elección de la alternativa de un proyecto, menos impactante negativamente y a la vez poseer un respaldo y guía para el seguimiento y control de la aplicación de las medidas de mitigación en la implementación de los proyectos.

La ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente: Decreto No.68-86 del Congreso de la República de Guatemala, establece regulaciones para el control de aquellas actividades de desarrollo que conllevan un impacto potencial sobre el medio ambiente, dando carácter obligatorio al estudio de evaluación de impacto ambiental. El artículo 8o., de la Ley literalmente indica (Reformado por el Decreto del Congreso 1-93) *"Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas y notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación de impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la comisión nacional del medio ambiente.*

El funcionario que omitiere exigir el estudio de impacto ambiental de conformidad con este artículo, será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de impacto ambiental, será sancionado con una multa de Q.5,000 a Q.100,000. En caso de no cumplir con este requisito en el término de 6 meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla". La legislación delega a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) para verificar el cumplimiento de los normativos existentes.

En el presente trabajo, se consideran impactos de naturaleza primaria y secundaria, que pueden incidir a corto, mediano y largo plazo tras la realización del Proyecto de la Ruta CA-2 Occidente, del tramo Nahualate-Retalhuleu, presentándose luego alternativas de mitigación de los mismos.

4.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

En esta parte del estudio se presentan las características generales de los recursos naturales del área, así como algunos elementos socioeconómicos de la población que habita la región.

4.2.a Localización

El segmento de la carretera interamericana CA-2, está comprendida en el extremo este de los 14°15' a los 14°40' de latitud norte y longitud oeste de 92°10'. Las altitudes sobre el nivel del mar, en la mayor parte del área oscilan entre los 20 y 702 msnm. La carretera propiamente dicha, se encuentra a elevaciones comprendidas entre 30 y 600 msnm.

La carretera conecta ó está muy próxima a 28 municipios, de los cuales 14 pertenecen al departamento de Suchitepéquez, 7 a Retalhuleu, 4 a San Marcos y 3 al departamento de Quetzaltenango. A continuación, en el Cuadro No. 4.2-01, se presentan los nombres de los municipios según cada departamento, relativos al tramo bajo estudio.

Cuadro No. 4.2-01 Departamentos y Municipios que incluye el Area de Estudio

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
SUCHITEPEQUEZ	1. San Antonio Suchitepéquez
	2. San Miguel Panam
	3. Chicacao
	4. San Bernardino
	5. Mazatenango
	6. Cuyotenango
	7. San Francisco Zapotitlán
	8. San Gabriel
	9. Samayac
	10. Santo Tomás La Unión
	11. Pueblo Nuevo
	12. San José El Idolo
	13. San Lorenzo
	14. San Pablo Jocopilas
RETALHULEU	15. Santa Cruz Mulua
	16. Retalhuleu
	17. San Andrés Villa Seca
	18. San Martín Zapotitlán
	19. Nuevo San Carlos
	20. El Asintal
	21. San Felipe

4.2.b Características Biofísicas

Zonas de vida

En todo el trayecto carretero, la única Zona de Vida vegetal que existe es "Bosque muy Húmedo Subtropical, cálido" (De La Cruz 1976).

Hidrografía

De acuerdo con el mapa de cuencas de la República de Guatemala, editado por el Instituto Geográfico Militar (IGM, 1973), la carretera atraviesa las siguientes cuencas hidrográficas:

Nahualate, Ocosito, Sis-Icán, Samalá, Naranjo y Suchiate, todos en la vertiente del Océano Pacífico. Todos los cauces principales y/o tributarios de los ríos antes citados son cruzados transversalmente por la Carretera CA-2 Occidente.

4.2.c Suelos y Tierras

Clasificación de Suelos

Genéticamente son suelos desarrollados sobre material fluviovolcánico reciente a elevaciones medianas. Según el Mapa Mundial de Suelos de la FAO-UNESCO.

En el área próxima a la carretera CA-2 Occidente, se encuentran los siguientes suelos:

- i. Andosoles mólicos (Tm)
- ii. Regosoles eútricos (Re)
- iii. Nitosoles eútricos (Ne)

Entre los suelos citados anteriormente, predominan los Andosoles mólicos, en más del 80% del área.

En el sector que comprende desde el Río Nahualate hasta el Río Samalá, en el sector que cubre Santa Cruz Muluá, predominan los suelos del orden taxonómico Inceptisol en más del 50% del área y en menores extensiones se encuentran Andiosoles, Entiosoles y Vertisoles (estos últimos se localizan hacia el sur del tramo carretero).

Clasificación de Tierras

Según el Instituto Geográfico Militar (1978, 1979, 1980, 1987) en el área próxima a la carretera se encuentran predominantemente las clases de Capacidad de Uso de la Tierra en base a la metodología de USDA que se describe en el cuadro No. 4.2-02.

Con base a la información que se presenta en este cuadro se puede afirmar que un alto porcentaje del área es apta para el desarrollo de actividades intensivas y muy intensivas, incluyendo principalmente agricultura y ganadería.

En términos generales, se considera que son pequeñas las extensiones territoriales que son aptas directamente para producción forestal o conservación ambiental.

Cuadro No. 4.2-02

Clases de Capacidad de Uso de la Tierra Predominantes por Municipio			
Departamento	Municipio	Clases de Capacidad de Uso de la Tierra según USDA	
Suchitepéquez	Mazatenango	I, II, III, IV	
	San Bernardino	II, III	
	San Antonio Suchitepéquez	I, II, III, IV	
	Samayac	IV, VI	
	San Miguel Panan	II, III, VI	
	Chicacao	III, IV, VII	
	San Francisco Zapotitlán	II, III	
	San Gabriel	II, III	
	Santo Domingo Suchitepéquez	II, III, IV, VI	
	San José El Idolo	I, II, III, IV, VI	
	Pueblo Nuevo	VI	
	Retalhuleu	San Andrés Villa Seca	III
		Santa Cruz Mulua	II, III
San Felipe		II, III, VI, VII	
Nuevo San Carlos		III, V, VI	
El Asintal		IV, V	

Vegetación y Uso de la Tierra

Según Mapa de Uso de la Tierra, del Instituto Geográfico Militar, se verificó que en el área predominan los cultivos perennes (café, cacao, hule, achiote), que conjuntamente con cultivos bianuales (caña de azúcar), ocupan alrededor de un 70% del área; otros usos importantes son actividades tales como ganadería extensiva con pastos (alrededor del 20%) y en menor escala los cultivos anuales, entre los cuales sobresale el maíz. Finalmente algunas áreas pequeñas de bosques residuales o en otros casos pequeñas plantaciones de bosques.

Algunas especies vegetales indicadoras de la zona de vida de la región son: Scheelea oblonga, Sickingia salvadorensis, Triplaris melanodendron (Mulato), Cydistax donell-smithii, Andira inermis, Enterolobium cyclocarpum (Conacaste), Ceiba pentandra (Ceiba), Cecropia peltata (Guarumo). Entre otras especies que se encuentran en la región están: Bursera simarouba (Palo jiote), Pithecolobium saman

(Cenicero), Erythrina bertheroana (Palo de pito), Cariaca papaya (Papaya), Psidium guajava (Guayaba), Manguera indica (Mango), Musa sapientum (banano), Stemmadenia (huevo de aire), Cocos nucifera (coco), Crotalaria angulata (Chipilin), Guazuma ulmifolia (caulote), Cordia alliodora (Ruiz & Pavon), Oken (Laurel), Ricinos communis (higuerillo).

Algunas especies importantes del bosque de galería son: Ficus (amate), Acacia hindssi (subin), Crescentia alata (morro), Bambusa (Bambu), Pachira aquatica (zapoton), Jacaranda mimosifolia (jacaranda), Citrus lmonia (limón), Chrysophyllum mexicanum (caimito), Anacardium occidentale (jocote marañon), Cedrela odorata (cedro), Bixa orellana (achiote).

Fauna

Como consecuencia del deterioro que han sufrido la flora y los ecosistemas costeros de Guatemala, en su región sur, también la fauna ha sido depredada en gran medida al extremo que existen varias especies en peligro de extinción.

Las especies que se han identificado dentro del área del Proyecto, se encuentran las siguientes:

PECES: Se reportan para el área la presencia de los géneros Poecilia y Poeciliopsis, además de Ciclidos. Según estudio realizado por el Colegio Americano, en 1977, se encuentran en el área las especies siguientes: Anableps (cuatro ojos), Cichlasoma (guapote), Anchoa (anchoa), Arius (bagre), Melanias, Centropomus (robalo), Lutjanidae (boca colorada), Chaetodipterus, Caranx (jurel), Mugil (lisa), Achirus (caite).

ANFIBIOS: Campbell y Vannini reportan las siguientes especies para la región: Dermophis mexicanus, Bolitoglossa flaviventris, Bolitoglossa occidentalis, Oedipina taylori, Rhinophrynus dorsalis, Leptodactylus melanonotus, Physalacmus pustulosus, Bufo canaliferus, Bufo valliceps, Hyla robertmertensi, Ololygon staufferi, Rana Forreri, Rana vaillanti.

REPTILES: Algunas de las especies reportadas por Campbell y Vannini son: Rhinoclemmys, Trachemys scripta, Kinosternon scorpioides, Staurotypus salvini, Caiman cocodrilus, Crocodylus acutus, Coleonys elegans, Coleonys mitratus, Phyllodactylus tuberculatus, Iguana iguana, Norops sericeus, Ameiba undulata, Gymnophthalmus speciosus, Boa constrictor, Drymarchon corais, Leptodeira septentrionalis, Tantilla melanocephala, Loxocemus bicolor.

AVES: Según Villar (1983), algunas especies de aves de esta región son: Cathartes burrovianus, Leptodon cavanensis, Buteo albonotatus, Daptrius americanus, Falco columbarius, Falco peregrinus, Ortalis vetula leucogastra, Pluvialis squatarola, Columba flavirostris, Brotogeris jugularis, Tangara cabanisi, Bubulcus ibis, Calocitta formosa, Egretta thula, Quiscalus mexicanus.

Siguenza (1995), reporta para la región especies como: Phalacrocorax olivaceus, (Cormorán oliváceo), Jacana spinosa (Jacana Centroamericana), Butorides striatus (Carcita oscura) y otros como Ardea herodias (Garzón cenizo), Bubulcus ibis (Garza ganadera), Egretta alba (Garzón blanco), E. caerulea (Garza azul), E. Thula (Garza dedos dorados), Nycticorax nycticorax (Garza nocturna coroninegra), Tigrisoma mexicanum (Garza tigre mexicana), Mycteria americana (Cigüeña americana), Busarellus nigricollis (Aguililla canela), Buteogallus anthracinus (Aguililla negra menor), Pandion haliaetus (Aguila pescadora), Palecanus erythrorhynchos (Pelicano blanco), P. occidentalis (Pelicano pardo).

MAMIFEROS: Entre los mamíferos se reportan: Didelphis virginiana (Tacuazín) y Sciurus sp (Ardilla gris).

(Campbell & Vannini).

4.2.d Características Socioeconómicas

Demografía

Las principales características demográficas de los poblados que se encuentran en el área de influencia del tramo de la carretera en estudio, principalmente la población urbana y rural, así como los grupos étnicos, se presentan en los Cuadros Nos. 4.2-01 y 4.2-02.

Cuadro No. 4.2-01 Características Demográficas de los Poblados del Area en Estudio

Depto.	Municipio	POBLACION			GRUPO ETNICO		ALFABETISMO		Población	Población
		Total	Urbano	Rural	Indigena	No Indig	Alfabet.	Analfab.	cc. act.	activa
Suchi.	Todo dept	237,554	67,450	170,104	133,883	103,567	92,788	85,466	66,407	90,749
	Mazate	38,181	20,918	17,263	9,964	28,181	21,404	8,192	6,354	9,754
	S. Bernard	4,127	1,801	2,326	3,200	927	1,256	1,910	1,139	1,654
	S Antonio	22,787	3,676	19,111	16,382	6,402	7,967	9,190	6,333	8,91
	S. Miguel	4,227	893	3,334	3,684	543	1,448	1,700	1,006	1,782
	Chicacao	28,786	5,588	23,198	23,286	11,795	7,518	13,720	8,805	9,903
	Cuyoten	24,710	3,977	20,733	10,181	14,518	9,763	8,552	6,354	9,754
	SF Zap	8,978	1,459	7,519	3,795	5,176	4,073	2,781	2,657	3,408
	SJ Idolo	5,319	1,500	3,819	2,614	2,705	2,187	1,816	1,499	2,020
	S Lorenzo	5,550	1,285	4,265	4,016	1,533	2,099	2,012	1,452	2,088
	Samayac	9,355	4,815	5,540	7,128	2,223	3,316	3,844	2,694	3,619
	S Pablo J.	8,847	1,184	7,663	7,041	1,806	3,371	3,146	2,115	3,381
	S. Gabriel	2,065	1,823	242	1,555	509	873	662	659	700
	P. Nuevo	3,964	2,520	1,444	3,143	819	1,879	979	1,172	1,348
Reu	Reu	46,652	22,001	24,641	7,541	39,069	23,756	12,048	13,075	18,515
	SC Mulua	5,818	1,176	4,642	2,413	3,405	2,671	1,617	1,223	2,463
	S Felipe	10,591	3,647	6,944	4,295	6,288	8,123	2,802	2,738	4,174
	SM Zap	3,500	723	2,777	1,378	2,122	1,612	950	718	1,483
	S Andres	22,245	871	21,374	7,383	14,846	8,794	7,518	5,004	8,994
	NS Carlos	19,406	573	18,833	4,489	14,911	7,692	6,640	5,210	7,345
	El Asintal	15,074	932	14,142	10,833	4,238	5,555	5,595	3,757	3,582

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística. CENSOS NACIONALES. IV de habitación - IX de población. 1981. Características Generales.

Con base a la información del censo de 1981, se puede apreciar que el área próxima a la carretera, es habitada por aproximadamente el 7% de la población total del país; es interesante observar que existen poblaciones muy importantes desde el punto de vista de cantidad de habitantes, en donde destaca el municipio de Retalhuleu. Datos similares o con las mismas tendencias se observan en el Censo poblacional de 1994.

Cuadro No. 4.2-02 Población Total por Municipio, según Censo 1994

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	POBLACION TOTAL
Suchitepéquez	Chicacao	34,862
"	San Miguel Panan	5,892
"	San Antonio Such.	28,182
"	San Bernardino	6,217
"	San Francisco Zap.	12,895
"	Cuyotenango	31,431
"	Mazatenango	45,431
"	Pueblo Nuevo	6,744
"	San José El Idolo	6,155
"	San Gabriel	2,666
"	San Lorenzo	7,753
"	Samayac	14,177
"	San Pablo Jocopilas	12,753
"	Santo Tomás La Unión	7,175
Retalhuleu	Retalhuleu	57,088
"	Santa Cruz Muluá	8,562
"	San Felipe Reu.	12,042
"	San Martín Zapotitlán	5,777
"	San Andrés Villa Seca	27,698
"	Nuevo San Carlos	23,125
"	El Asintal	19,540

FUENTE: INE. X Censo de Población. República de Guatemala. Resultados de población censada por Depto. y Municipio, cifras definitivas. Guatemala, Mayo de 1995.

Actividades productivas

Las actividades productivas principales que se desarrollan en los departamentos que incluye esta área de estudio, se detallan en el Cuadro No. 4.2-03, en donde se describe la cantidad de población económicamente activa por cada una de dichas ramas de actividad.

Cuadro No.4.2-03 Población Económicamente Activa por Rama de Actividad

Departamento	Actividad Productiva			
	Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca	Explotación de minas y canteras	Industria manufacturera	Comercio por mayor y menor, Restaurantes y Hoteles.
Suchitepequez	44,075	44	3,942	4,353
Retalhuleu	23,079	144	1,908	3,988

FUENTE: IV CENSO DE HABITACION Y IX DE POBLACION. 1981.

4.3 IDENTIFICACION Y CALIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA REGION

En el Estudio de Impacto Ambiental de la Carretera Nahualate - Retalhuleu, se evaluaron los Impactos Directos e Indirectos o Inducidos, aplicando los procedimientos mínimos establecidos por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, en materia de evaluación ambiental, tomando en cuenta la naturaleza del Proyecto, se seleccionó una matriz genérica (Matriz de Leopold), como lista de chequeo y para la identificación y calificación de los impactos ambientales.

En el desarrollo del estudio, se identifican impactos directos, de igual manera se deduce la existencia de impactos indirectos. A efecto de conocer la naturaleza de cada uno de éstos, a continuación se presentan algunas definiciones adoptadas para los impactos citados anteriormente, de la siguiente forma:

"Impacto Directo es la alteración que sufre un elemento del ambiente en algunos de sus atributos por la acción directa del hombre o la naturaleza".

"Impacto Indirecto (secundarios) es el que se deriva de los impactos directos primarios, o de la interacción de todos aquellos que integran un proyecto".

Componentes Ambientales Estudiados

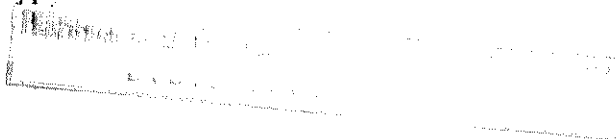
Los componentes ambientales considerados en la lista de chequeo, para cubrir todo el espectro de los impactos primarios esperados del Proyecto, son los siguientes:

- Agua
- Atmósfera
- Efectos Socio-Económicos
- Efectos Ecológicos
- Aspectos Estéticos

En el Cuadro No. 4.3-01, se presenta la lista de chequeo utilizada para la identificación y calificación de los Impactos Ambientales en las diferentes fases afines a la rehabilitación de la carretera.

Cuadro No. 4.3-01 Lista de Verificación Utilizada en la Identificación de Impactos

COMPONENTES IMPACTADOS	FASES DEL PROYECTO		
	CONSTRUCCION	OPERACION	SIN PROYECTO
I. MEDIO FISICO			
ATMOSFERA			
- Gases	x	x	x
- Sólidos en suspensión	x	x	x
- Ambiente sonoro	x	x	x
- Visibilidad	x		
AGUA			
AGUA SUPERFICIAL			
- Características del terreno			
- Características del drenaje	x		x
- Variación del flujo	x		x
- Calidad del agua	x	x	x
- Interacción superficial/subterránea	x	x	
AGUA SUBTERRANEA			
- Cantidad			
- Calidad	x	x	x
- Nivel freático			
TIERRA Y SUELOS			
- Movimiento de tierras	x		
- Erosión de suelos	x		x
- Estabilidad del terreno	x		
- Uso áreas inundables			
- Compactación del suelo	x		
- Relieve y pendiente			
- Cambios uso de la tierra	x		
- Calidad del terreno	x		



COMPONENTES IMPACTADOS	FASES DEL PROYECTO		
	CONSTRUCCION	OPERACION	SIN PROYECTO
2. MEDIO BIOTICO			
FLORA			
- Vegetación terrestre	x		
- Vegetación acuática	x		
- Flora de interés comercial			
- Flora de interés ecológico	x		
- Introducción de flora exótica			
FAUNA			
- Fauna de interés ecológico	x		
- Fauna de interés económico			
- Habitats terrestres	x		
- Habitats acuáticos	x		
- Comunidades terrestres	x		
- Comunidades acuáticas	x		
ASPECTOS ESTETICOS			
- Olores	x	x	
- Paisaje / relieve	x		x
- Elementos de composición única	x	x	
- Areas de interés científico/cultural	x		
3. MEDIO SOCIO-EC CULTURAL			
- Tenencia de tierra	x	x	
- Economía regional	x	x	x
- Empleo y mano de obra	x	x	
- Infraestructura servicios regionales		x	
- Salud		x	x
- Estilo y calidad de vida		x	
- Educación		x	

4.3.a Impactos Identificados en la Fase de Construcción

Durante la fase de construcción en la rehabilitación de la carretera, los impactos ambientales se dan como consecuencia de la obtención de los materiales necesarios para los trabajos que implica la rehabilitación de la carretera; por lo tanto, a continuación se describen esos impactos según la naturaleza de los materiales a extraer.

A. Impactos Identificados en la Extracción y Procesamiento de Materiales en las Riberas y Cauces de los Ríos.

La actividad extractiva en el cauce y riberas de los ríos, en forma general independientemente del sitio en particular, tiene impactos adversos, puesto que se modifica el terreno en su topografía inicial. Esta situación también tiene incidencia en el flujo de agua cuando se dan los desbordes (en época lluviosa), puesto que también inciden en la dirección del agua. El río tiende a desviarse parcialmente de su cauce original provocando erosión y arrastre del material arenoso y suelos o material no consolidado, que se estarán trasladando hacia el cauce original, provocando azolvamiento en las partes bajas de los mismos, lo cual posteriormente incide en las inundaciones al elevar el mismo cauce del río.

La calidad del agua podría ser afectada desde el punto de vista físico y químico; desde el punto de vista físico la alteración es localizada, dado que la remoción de materiales, en su mayoría sedimento de fondo (arenas gruesas) vuelven a depositarse o sedimentarse prácticamente en distancias muy cortas, pero las partículas finas, del tamaño de limos y arcillas, las cuales existen dentro de los cuerpos de arena y grava pueden pasar directamente al agua y ser un contaminante físico más. Desde el punto de vista químico por potenciales derrames de combustibles y lubricantes por el trabajo que tiene que desarrollar la maquinaria (retroexcavadoras) y los camiones de acarreo de material en los márgenes del río. De ocurrir, este tipo de accidentes daría lugar a producir una contaminación que afectaría a las comunidades acuáticas del río. Sin embargo, hay que considerar, sin llegar a realizar una cuantificación detallada, que la mayoría de estos cuerpos de agua ya presentan una fuerte carga contaminante, producto de la descarga que reciben aguas arriba por el proceso de industrialización y urbanización del área.

La remoción y alteración de los materiales en el cauce de los ríos favorece la disposición de las arenas para ser erosionadas o arrastradas y transportadas aguas abajo, pudiendo redepositarse o bien existe la posibilidad de ser transportadas hacia el cuerpo de agua inmediato, en este caso el mar, por lo tanto se ha identificado como un impacto adverso, debido a que las arenas nuevamente podrán sedimentarse por la masa de las mismas.

El ruido que ocasiona la extracción y procesamiento de los materiales es un impacto adverso que produce la maquinaria y equipo de transporte que carga el material para transportarlo hacia la planta de proceso, al igual que los medios de transporte del material procesado.

Se generará ruido de relativa intensidad, aunque tolerable para el ser humano. La parte más afectada en este sentido, serán los operadores de la maquinaria de extracción en los bancos, ya que en los alrededores de la misma no existen áreas urbanas inmediatas que resulten afectadas por esta actividad.

Las mediciones de ruido realizadas en el área, con valores momentáneos comprendidos entre 70 y 90 dB, evidencian niveles medianos como consecuencia del intenso movimiento de vehículos de transporte diverso, pero principalmente de pasajeros y de carga en la carretera.

Por otra parte, la maquinaria de procesamiento de materiales, será otra fuente de contaminación al aire ya que contribuye con la liberación de dióxido de carbono y las partículas sólidas a la atmósfera por ser producto de la combustión del diesel.

B. Impactos Identificados en la Extracción y Proceso de Materiales en los Taludes de Carreteras y Colinas

En los bancos de materiales, donde se pretende extraer principalmente arena pómez y arena pómez con grava, se determinan impactos adversos directos, de relativa intensidad puesto que más del 80% de los bancos se encuentran en explotación activa o en su defecto han sido explotados en alguna medida. Los impactos ambientales en el uso de estos bancos de material se dan principalmente sobre las características del drenaje superficial, a la variación de flujo superficial, así también a la alteración del flujo subterráneo.

La estabilidad del terreno será afectada considerando su particular naturaleza, al ser removido el material de constitución, afectando los componentes estéticos de manera adversa. Los elementos de composición paisajística de la zona, especialmente los localizados en el área de recarga del Río Naranjo, presentan una vegetación exuberante en formaciones montañosas, que hacen del lugar una belleza particular, la cual se verá impactada como resultado de la explotación de los bancos de materiales.

La calidad del aire se refiere principalmente a características físicas y químicas, en las que se incluyen: contenido de material particulado y diversas sustancias como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno y compuestos de azufre.

En la fase de explotación de los bancos, la calidad del aire se verá perturbada, afectando especies y poblaciones terrestres de flora y fauna, así como afecciones en las vías respiratorias a la población próxima o en el tránsito. La visibilidad o transparencia del aire estará relacionado con la cantidad y tipo de material en la atmósfera.

Los habitats terrestres o sean las características medio ambientales que condicionan el desarrollo de las comunidades terrestres serán impactadas adversamente; la eliminación de cobertura vegetal significa en gran parte afectar la biodiversidad, incremento de la erosión y como consecuencia deterioro de las fuentes de agua.

C. Impactos por la Instalación y Funcionamiento de las Plantas Productoras de Asfalto

Con la instalación de una o más plantas procesadoras de asfalto, pueden ocurrir impactos directos negativos en la calidad del agua superficial y también como consecuencia del proceso de preparación de la mezcla asfáltica que será utilizada en el recapeo de la carretera. Las plantas procesadoras de asfalto contarán con depósitos de asfalto y diesel los cuales en determinado momento podrían ocasionar accidentes (derrames), ya sea por sobre-llenado de los mismos (en el trasiego de los camiones cisterna a los tanques), en el trasiego de los mismos hacia la maquinaria encargada de preparar la mezcla asfalto-agregados o por desperfectos en válvulas y/o uniones de las tuberías. Derrames de asfalto o diesel pueden traer las siguientes consecuencias:

- lesiones personales,
- daños materiales,
- pérdidas económicas,
- contaminación ambiental.

De ocurrir los derrames, cuya probabilidad dependerá de las medidas de seguridad que se tomen; la calidad del agua superficial, se vería afectada en sus características físico-químicas y biológicas, con implicaciones sobre los habitats y comunidades acuáticas de los cuerpos de agua cercanos a la planta procesadora de la mezcla asfáltica, debido a que el producto derramado podría ser acarreado por la lluvia a drenajes que pueden contaminar dichos cuerpos de agua.

El volumen y características del crudo derramado (asfalto y/o diesel), influyen en el grado de penetración del mismo en el suelo, dependiendo fundamentalmente de la viscosidad del producto.

Las fluctuaciones de nivel freático debido a la estacionalidad, harán variar la penetración del asfalto y/o diesel derramado, pudiendo llegar hasta la superficie de las aguas subterráneas cuando la profundidad de penetración es mayor que la distancia entre la superficie y el nivel frático y no existe ningún estrato impermeable que detenga la penetración.

Si la cantidad de asfalto derramado es reducida, el asfalto que penetra en el suelo por gravedad se disipará durante el descenso, quedando retenido en él sin alcanzar el nivel freático. Sin embargo cuando comiencen las lluvias su infiltración en el suelo puede promover un movimiento hacia abajo de cantidades menores de asfalto residual, especialmente los componentes solubles en agua, pero esta situación significa un daño ambiental menor, ya que con el tiempo el asfalto retenido en el suelo, está expuesto a los agentes de biodegradación natural.

Con derrames de diesel la situación es diferente, puesto que esta sustancia por su naturaleza y por el tipo de suelos y geología de la región, podría alcanzar profundidades finales de penetración de hasta 20 metros, lo cual podría estar impactando seriamente el agua subterránea.

Los derrames de asfalto y/o diesel en tierra, que potencialmente podrían existir, causarían daños a los recursos físicos y bióticos, pero en una escala menor que los derrames en aguas. Si el derrame aporta grandes cantidades de asfalto y/o diesel, el problema tendrá un impacto significativo en la contaminación del suelo y cuerpos de agua adyacentes, pudiendo afectar también las aguas subterráneas de no actuar con rapidez.

Debido a la viscosidad elevada del asfalto, los derrames forman masas, sobre todo si la temperatura ambiente está por debajo de su punto de fluidez. Este generalmente no penetra en el suelo a gran profundidad y su movimiento hacia abajo es muy lento.

Los derrames de estos hidrocarburos, cambian la calidad de los suelos y su potencial agropecuario, aunque sea en pequeñas áreas con potenciales agrícolas relativamente bajas, pero que afectan adversamente la micro flora y la micro fauna que es muy rica en el área.

Ante la posibilidad de derrames de asfalto y/o diesel en la planta procesadora de mezcla asfáltica, los componentes volátiles de los mismos, pueden evaporarse dando lugar a riesgos de explosión e incendio, lo cual dependerá del tipo de sustancia derramada, el volumen del derrame, las condiciones del viento y de la temperatura y la cantidad de asfalto y/o diesel esparcido sobre la superficie. En el caso del diesel éste se esparce rápidamente sobre la superficie del suelo, tiene una alta tasa de evaporación y consecuentemente la duración del riesgo de explosión es menor, pero en el momento del derrame es muy alto.

Si ocurrieran incendios y/o explosiones estarían modificando la calidad del aire, puesto que el material particulado y diversas sustancias como el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y

compuestos de azufre, estarían provocando serios daños a la salud humana.

Por otra parte, la combustión del diesel utilizado como carburante en el calentamiento de los agregados y de la mezcla asfáltica de emisiones de la combustión lo cual también incide en la calidad del aire, incrementando el nivel de las sustancias descritas anteriormente. El impacto provocado dependerá en buena medida del ajuste aire-combustible que tengan los quemadores respectivos.

Los posibles efectos bióticos letales y/o sub-letales de derrame de asfalto y/o diesel sobre los organismos son:

Mortalidad directa debido a la suciedad, el encubrimiento y la asfixia, el envenenamiento por contacto y la absorción de fracciones tóxicas solubles en la columna de agua en el suelo;

Mortalidad indirecta causada por destrucción de las fuentes de alimentación;

Incorporación de cantidades sub-letales de asfalto y/o diesel las cuales bajan la tolerancia a otras sustancias que provocan condiciones desfavorables para su desarrollo biológico;

Incorporación de agentes mutantes o carcinógenos a la cadena alimenticia, acuática, marina y terrestre;

Cambio en la calidad de los suelos y su potencial agropecuario.

Como se ha descrito anteriormente, en una planta procesadora de asfalto los impactos al ambiente pueden provenir de potenciales derrames de hidrocarburos, los cuales estarían provocando diversidad de impactos a los factores ambientales analizados anteriormente.

Los efectos socioeconómicos varían de acuerdo al área que pueda ser afectada y tal impacto se puede traducir en:

Cambio en los patrones de uso de la tierra;

Pérdida temporal de recursos pesqueros, forestales y agrícolas;

Pérdidas temporales de los niveles de ingreso provenientes de la recreación, servicios, comercios y agrícolas;

Riesgos a accidentes mayores tales como incendios y explosiones.

Es importante mencionar que aunque el derrame desaparezca físicamente de un lugar, bien sea por proceso natural, por remoción mecánica o tratamiento químico, no implica que desaparezca el impacto del mismo, ya que la respuesta de cada elemento ambiental por separado o en conjunto, ante la perturbación y la subsiguiente recuperación de los organismos que habitan el área afectada harán que el ambiente sea visto como un sistema de interacciones.

Sólo cuando los distintos factores ambientales recuperan su estabilidad, se podrá decir que hubo recuperación de la perturbación, de lo contrario se formarán nuevos sistemas con propiedades y características diferentes.

4.4 ACCIONES DE MITIGACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE REHABILITACION DEL PROYECTO

En el Proceso de Trituración

Debido a que el proceso de trituración de la grava se realiza en húmedo, los excedentes de agua deberán ser trasladados nuevamente hacia el río y no a una zona de infiltración donde únicamente se estarían recargando los niveles freáticos, evitando de esta forma mermar el caudal del río. Además, las aguas utilizadas no deben llevarse directamente al cauce, sino que previamente deben pasar por un tanque desarenador.

En el manejo de Combustibles

Todos los lubricantes y grasas necesarios para el mantenimiento de los equipos deben almacenarse en áreas destinadas para ellos, con suficiente ventilación, pisos de cemento y en recipientes con clara indicación del contenido.

Debe ser utilizado un tanque apropiado para el almacenamiento de combustible (diesel), el que normalmente es proporcionado por las compañías distribuidoras autorizadas en el país. No deben utilizarse toneles de plástico y/o metal para el almacenamiento del mismo. Muchos de los escapes de combustibles son el resultado de derrames y sobrellenos de recipientes, los cuales, aún en pequeños volúmenes, pueden ocasionar verdaderos problemas ambientales.

Considerando lo anterior, debe asegurarse antelación a la operación, que la capacidad del tanque sea mayor que el volumen de producto que se le ha de trasladar. Así mismo debe haber una vigilancia continua para evitar derrames.

Para la Seguridad Contra Incendios

Es conveniente que la Empresa que realice el Proyecto, contrate los servicios de empresas que prestan servicios de asesoría en este ramo. En consultas a diferentes empresas en el ramo, coinciden en recomendar extinguidores en polvo tipo ABC.

El personal debe estar familiarizado con todo el equipo contra incendios en cuanto a tamaño, número de unidades, radio de acción, etc. Las unidades deben estar colocadas en sitios estratégicos e identificables.

Para el Control del Ruido

Los niveles de ruido en este tipo de proceso normalmente son superiores a los 80 dB, principalmente en el área de proceso, por lo que es necesario equipar al personal con el equipo apropiado, tal como orejeras.

Es importante indicar que las medidas de protección contra el ruido, va dedicado exclusivamente a los operarios, ya que casi no existe población residente, dentro de un radio de 50 metros de los potenciales bancos de extracción.

El mantenimiento preventivo relacionado al engrase de engranajes deberá ser periódico, lo cual ayudará a reducir los niveles de ruido. En general en el área exterior el ruido no tendrá mayor impacto.

Bancos de Materiales en Taludes y Colinas

Previo a la explotación de cada banco de materiales se deben realizar las actividades siguientes:

Para bancos que se encuentran activos:

Adecuada preparación del sitio, que incluya el retiro de la capa superficial del suelo (orgánico-mineral) y su almacenamiento en un lugar apropiado, para que el mismo pueda ser utilizado posteriormente para conformar el área, al concluir el aprovechamiento de materiales.

Tanto en el aprovechamiento de los nuevos bancos, como en la ampliación de los ya existentes:

No realizar la quema de material vegetal por ningún motivo, dados los efectos a la atmósfera, flora, fauna, microflora y microfauna, por la alteración de su ciclo biológico, destrucción de habitats y contaminación del suelo y el agua;

Constatar previamente si el área escogida no presenta rasgos de interés científico, cultural y/o primordial, que eventualmente pudieran encontrarse;

Prever la construcción de estructuras que permitan canalizar las aguas de drenaje superficial, de tal manera que se favorezca la infiltración del agua y por otro lado se logre frenar la erosión que alimenta de manera considerable los arroyos y ríos de las regiones próximas a los bancos de préstamo;

Al abandonar los bancos de materiales, las áreas de trabajo deben ser reacondicionados para tratar de mejorar el drenaje superficial (escurrimiento) y el arrastre de sedimentos al drenaje natural y consecuente a los ríos principales, al momento de abandonar los bancos de préstamo será necesario verificar que los ángulos de corte o taludes permitan adecuada estabilidad de los materiales, de tal manera que no constituyan riesgos de derrumbes o desprendimientos en masa, que pudieran poner en peligro la vida de eventuales visitantes a estos lugares, o en su defecto constituirse en fuente de sólidos que acarree el escurrimiento superficial;

Prever el acondicionamiento de las áreas de extracción, reincorporando el suelo retirado inicialmente de la superficie original, crear las condiciones necesarias y plantar especies vegetales para reforestar con especies preferentemente nativas, que pudieran posteriormente representar ingresos por madero y/o leña a los propietarios de los terrenos. Para los bancos en las riberas de los ríos, una alternativa que se recomienda es plantar Bambuja vulgaris (Bambú), una especie vegetal que tiene las ventajas de buena fijación al suelo y crecimiento rápido (hasta 60 cm/día).

Maquinaria y Equipo

Los principales impactos se producen en el ambiente sonoro, en migración de la fauna, al agua por potenciales derrames de hidrocarburos, en el suelo por compactación y en la atmósfera por la emanación de gases de combustión.

Se recomienda el mantenimiento de los equipos en forma periódica (escape de gases, cambio de filtros de aire, etc), a fin de que la eficiencia mecánica de los mismos, minimice riesgos de contaminación. El aceite lubricante obtenido del mantenimiento de los mismos por ningún motivo debe quemarse y mucho

menos derramarlo al suelo. Las grasas y aceites residuales deben ser depositados en toneles cerrados para posteriormente ser vendidos a personas que se dediquen al reciclaje de los mismos.

Los depósitos de combustible deben estar en buen estado y su ubicación regirse bajo las normas del Ministerio de Energía y Minas, lo cual minimizará los potenciales impactos al ambiente;

Los hidrocarburos (aceites, lubricantes y grasas), deben ser manejados conforme lo anotado anteriormente. Ningún otro contaminante (pinturas, químicos, etc.) será descargado en el suelo, ríos, arroyos o canales que desemboquen en ellos o se infiltren en el terreno.

Plantas Procesadoras de Asfalto

En la Fase de Montaje

Llenar los requerimientos del Gobierno de Guatemala en lo referente a la instalación de tanques de almacenamiento de combustibles.

La limpieza y acondicionamiento del sitio, debe ser estrictamente lo necesario para montaje de la planta.

El material vegetal que se generará en la limpieza del terreno, debe tratar de usarse, sobre todo el material leñoso; en tanto que el resto de material vegetal puede enterrarse, a efecto que se descomponga y participe en la formación del suelo, por ningún motivo deberá quemarse. La disposición del material no orgánico, resultado de la nivelación y acondicionamiento del sitio, debe ser depositado, preferentemente, en lugares previamente seleccionados, donde no causen alteraciones al ambiente natural, o bien, utilizarlos en la construcción de los diques protectores de derrames. Los restos de materiales resultado de la construcción de los tanques y tendidos de tuberías, debe ser almacenados y posteriormente comercializados con las fundidoras que operan en el país.

La construcción de los tanques de almacenamiento de combustible deberá regirse a las Normas de Diseño API 650 (American Petroleum Institute), en lo referente a:

Calibre y tipo de lámina de acero al carbón que se utilizará en los diferentes niveles de los tanques.

Tipo de soldadura a utilizar.

En la Fase de Operación

Terminada la fase de montaje y antes de iniciar los procesos correspondientes de trasiego, en camiones cisterna-tanques de almacenamiento, tanques de almacenamiento al equipo procesador, deberán ser inspeccionados los siguientes puntos:

En los tanques de almacenamiento, mediante técnicas adecuadas, verificar todas las soldaduras realizadas para evitar posibles fugas de combustibles; en los tanques destinados para el almacenaje de diesel y asfalto, verificar las válvulas de presión para minimizar riesgos de explosión y/o succión.

Verificar los sellos de las tuberías de conducción, así como, en las bombas centrífugas que se utilizarán para el bombeo.

Todo el sistema eléctrico y alumbrado se debe encontrar perfectamente aislado.

Derrames en ríos, se usarán dispersantes, bacterias y/o mallas especiales. El uso de los dispersantes deberá evitar que el combustible llegue a playas y rocas, el mismo deberá tener la cualidad de esparcir y degradar los hidrocarburos, para que los mismos puedan ser enjugados con facilidad. Deberá disponerse de dispersantes especiales para cada tipo de combustible.

Derrames en tierra, se usarán bacterias especializadas y/o dispersantes. Dependiendo del combustible derramado, deberá aplicarse el dispersante seleccionado, el cual deberá tener la cualidad de remover y degradar los hidrocarburos, para facilitar la limpieza de los mismos.

CONCLUSIONES

Uno de los factores más importantes a considerar en el diseño de un pavimento, es el número de vehículos pesados diarios, que transitan una carretera ya que los vehículos livianos, generalmente, no se toman en cuenta.

El tránsito promedio diario anual (TPDA) de una carretera aumenta cada año, por lo que la falta de un mantenimiento adecuado, incide en una disminución de la vida útil y del nivel de serviciabilidad. El grado de deterioro que sufre la carretera causa un impacto fuerte en la economía del país, debido al incremento de los costos del transporte. Una inversión baja en mantenimiento, debido a una economía mal entendida, incide posteriormente en grandes inversiones, que llegan incluso a la restauración total de las carreteras.

El Proyecto CA-2 Occidente tramo Nahualate-Retalhuleu, constituye una de las arterias principales de la red vial nacional, cuenta con un sistema de tránsito bien definido y recorre una zona donde la explotación agropecuaria y agro-industrial se encuentra bien desarrollada. Por ello no se considera que la rehabilitación de la carretera pueda inducir un incremento en el tránsito, en la producción agropecuaria o en otras actividades generadoras de tránsito.

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.

El tramo carretero fue rehabilitado en 1976 y el estado de la superficie de rodadura, aun cuando ya está concluyendo su vida útil presenta muy pocos daños, de manera que su rehabilitación puede realizarse por medio de un recapeo que satisfaga los requerimientos de carga establecidos por el estudio de tránsito, aunque para contar con una sección típica "Tipo B" es necesario ampliar los hombros. Bajo estas circunstancias fue importante la evaluación de la capacidad estructural de la estructura existente a través de la medición de deflexiones. La evaluación de las deflexiones se llevó a cabo con la viga Benkelman. El procedimiento de análisis utilizado fue el de la deformación elástica, el cual se produce cuando se aplica una carga en la superficie de los pavimentos flexibles, proporcionando para la evaluación un medio adecuado de su comportamiento. Este procedimiento se basa en la deflexión representativa de rebote (DRR), descrito en el Manual del Instituto de Asfalto (MS-17).

De los resultados obtenidos de las deflexiones de rebote se observó que los espesores de recapeo para el subtramo Puente Quitacalzón I - Salida a San Bernardino son muy grandes, por lo que se considera una reconstrucción, con una nueva carpeta de concreto asfáltico sobre una base estabilizada con cemento, formada de la escarificación, trituración y mezcla de una parte de la estructura existente. Este diseño se realizó utilizando el método de la AASHTO.

El fundamento para la aplicación y funcionamiento eficaz de la metodología de evaluación ambiental es la identificación de los impactos potenciales en etapas tempranas de la planificación de proyectos. La variable ambiental debe ser considerada y evaluada previo a cualquier otra acción de orden técnico y económico y debe considerarse en el proceso de toma de decisiones.

RECOMENDACIONES

Que se fortalezcan los estudios para determinar índices de crecimiento vehicular, de manera que a cada clase de vehículo le corresponda una tasa de crecimiento, debido a que éstos son básicos en las proyecciones del tránsito.

Es recomendable que durante todo el proceso de rehabilitación del tramo carretero, cada una de sus partes esté sometida a estrictos ensayos de laboratorio que den una garantía del proyecto a realizar. El diseño económico, racional y bien programado de un proyecto de carreteras, no estará completo si el estudio de suelos y materiales no forma parte del mismo.

Realizar una supervisión estricta en la rehabilitación del tramo, apegándose a lo que indiquen las Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos y otras especificaciones que puedan ser aplicables.

Los datos obtenidos con el ensayo de deflexión y los datos de las diferentes pruebas que lo acompañan, deben utilizarse en el menor tiempo posible, después de los ensayos, para el cálculo del recapeo y hacer este trabajo en forma inmediata para aprovechar mejor el trabajo efectuado ya que, si pasa un período largo para la realización de dicho trabajo, lógicamente hace que la rehabilitación esté basada en datos falsos, por el deterioro que la carretera puede sufrir en ese tiempo.

Se debe realizar un monitoreo ambiental durante la ejecución de la rehabilitación de la carretera y en el funcionamiento, a efecto de garantizar el seguimiento de las medidas previstas en el evaluación y otras contingencias que se pudieran presentar durante la ejecución de la rehabilitación. Se considera necesario implementar una serie de medidas de seguridad y planes para el desarrollo de diversas actividades a realizar como parte de los trabajos de rehabilitación de la carretera.

Dadas las fuertes implicaciones ambientales que trae una planta procesadora de asfalto se debe analizar cuidadosamente la ubicación de la misma y tomar en cuenta todas las observaciones y recomendaciones en relación a las plantas de asfalto.

BIBLIOGRAFIA

- Cordón y Mérida Ings., Estudios de Ingeniería de Detalle, Proyecto CA-2 Occidente, tramo Nahualate - Retalhuleu, Guatemala, Noviembre de 1996.
- Sieca, Manual Centroamericano de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, Segunda Reunión de Directores de Caminos de Centroamérica y Panamá, Septiembre de 1975.
- Joseph E. Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A., 1980.
- Martínez Quevedo, Irvin Benjamin, Análisis del Diseño de Pavimentos para el Proyecto CA-2 Oriente, Tramo Taxisco - Ciudad Pedro de Alvarado, Tesis de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1989.
- Sieca, Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras Alcantarillas y Puentes, Guatemala, 1974.
- BCIE (Banco Centroamericano de Integración Económica), Normas de Evaluación Ambiental, 1988.
- The Asphalt Institute, Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series No. 17 (MS-17), Junio de 1983.
- AASHTO, Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing, P. I, Sixteenth Edition 1993.
- Galindo Gómez, Oscar Gabriel, La Viga Benkelman, Tesis de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1986.

ANEXOS



CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

VALORES LÍMITES RECOMENDADOS PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA EN ESTADO FINAL

T.P.D. de	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO (K.P.H.)	ANCHO CALZADA (mts.)	ANCHO DE TERRACERIA		DERECHO DE VIA (mts.)	RADIO MÍNIMO (mts.)	PENDIENTE MÁXIMA (%)	DISTANCIA VISIB. PARADA		DISTANCIA VISIB. PASO RECOMENDADA (mts.)
				CORTE (mts.)	RELLENO (mts.)				MÍNIMA (mts.) *	RECOMENDADA (mts.)	
3000	TIPO "A"		2 x 7.20	25	24	50					
a	REGIONES LLANAS	100					375	3	160	200	700
5000	ONDULADAS MONTAÑOSAS	80					225	4	110	150	520
	TIPO "B"	60	7.20	13	12	25	110	5	70	100	350
1500	REGIONES LLANAS	80					225	6	110	150	520
a	ONDULADAS MONTAÑOSAS	60					110	7	70	100	400
3000	TIPO "C"	40	6.50	12	11	25	47	8	40	50	180
900	REGIONES LLANAS	80					225	6	110	150	520
a	ONDULADAS MONTAÑOSAS	60					110	7	70	100	350
1500	TIPO "D"	40	6.00	11	10	25	47	8	40	30	180
500	REGIONES LLANAS	80					225	6	110	150	520
a	ONDULADAS MONTAÑOSAS	60					110	7	70	100	350
900	TIPO "E"	40	5.50	9.50	8.50	25	47	8	40	50	200
100	REGIONES LLANAS	50					75	8	55	70	260
a	ONDULADAS MONTAÑOSAS	40					47	9	40	50	180
500	TIPO "F"	30	5.50	9.50	8.50	15	30	10	30	3.5	110
10	REGIONES LLANAS	40					47	10	40	50	180
a	ONDULADAS MONTAÑOSAS	30					30	12	30	3.5	110
100		20					18	14	20	2.5	50

NOTAS:

1. T.P.D. : Promedio de Tráfico Diario
2. La sección típica para carreteras tipo "A", incluye isla central de 1.50 m de ancho
3. Las características de las estructuras son generales para todos los tipos de carreteras, con excepción de la Tipo "A", en donde el ancho es el doble.
4. La calidad de la capa de recubrimiento de la calzada podrá ser para carreteras, Tipo "A" Hormigón, Concreto Asfáltico (frio o caliente) o Tratamiento Superficial Multiple Tipo "B" y "C" Hormigón, Concreto Asfáltico (frio o caliente) o Tratamiento Superficial Doble Tipo "D" Tratamiento Superficial Doble Tipo "E" Tratamiento Superficial Simple Tipo "F" Recubrimiento de Material Selecto

ESTRUCTURAS:

CARGA	H-15-S-12
ALTURA LIBRE	4.75 m.
ANCHO DE RODADURA	7.90 m.
ESEUZZOS UNITARIOS	(# / pulg. cuadrada)
CONCRETO CLASE "A"	3,000
ACERO DE REFUERZO	18,000
ACERO ESTRUCTURAL	33,000

- * DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA =
- LONGITUD MÍNIMA DE CURVA VERTICAL

ESTACION : 210 TIPO : SUMARIA			RUTA: CA-2 OCCIDENTE KILOMETRO: 135+900 (Río Bravo - San Antonio Suchitepéquez)								VEHIC. PESADOS	
No.	AÑO	TPDA	TIPO DE VEHICULO							TOTAL	%	
			I	II	III	IV	V	VI	VII			
1	1967	1,130	385	185	333	29	26	157	15	519	45.9	
2	1968	1072									0.0	
3	1969	2,135	705	342	732	51	13	288	4	1,071	50.2	
4	1970	1499	487	187	546	43	33	178	25	767	51.2	
5	1971	1,756	462	295	705	33	40	184	37	922	52.5	
6	1972	1,976	632	411	585	59	59	206	24	850	43.0	
7	1973	2,405	681	606	755	38	60	224	41	1,017	42.3	
8	1974	2,376	542	518	936	40	31	185	124	1,161	48.9	
9	1975	2,180	547	508	706	63	74	203	79	972	44.6	
10	1976	2,613	564	577	942	133	78	191	128	1,266	48.5	
11	1977	2,126	521	548	722	77	64	134	60	933	43.9	
12	1978	3,055	733	877	895	144	79	238	89	1,277	41.8	
13	1979	3,348	706	1,034	981	134	104	275	114	1,390	41.5	
14	1980	3,087	756	959	827	114	80	265	86	1,206	39.1	
15	1981	2,487	604	761	587	129	65	254	87	970	39.0	
16	1982	2,287	547	704	558	130	46	268	34	956	41.8	
17	1983	2,708	623	759	731	181	32	257	125	1,169	43.2	
18	1984	2,682	662	854	636	107	54	254	115	997	37.2	
19	1985	2,549	655	746	701	107	36	235	69	1,043	40.9	
20	1986	2,906	822	943	593	180	55	235	78	1,008	34.7	
21	1987										0.0	
22	1988										0.0	
23	1989	3,191	935	1,126	542	166	75	290	57	998	31.3	
24	1990										0.0	
25	1991	2,973	687	960	666	315	42	247	56	1,228	41.3	
26	1992	3,184	774	997	700	315	64	261	73	1,276	40.1	
27	1993										0.0	
28	1994	3,130	751	927	679	72	91	241	369	1,361	43.5	

NOMENCLATURA

I Automoviles, Paneles y Jeeps

II Pick-ups

III Camiones de 2 Ejes (C-2)

IV Camones de 3 y mas Ejes (C-3)

V Microbuses

VI Buses

VII Motos, Tractores, etc.

Nota: a partir de Junio 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 Ejes (T3-S2)

FUENTE : Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos

Variable de Regresión	Resultados del Análisis de Regresión									
	TPDA	TIPO DE VEHICULO							Capacidad	% V.P.
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Constante	1,684.79	509.33	273.42	701.30	6.09	41.44	198.01	34.57		
Error Estimac. Y	531.97	118.68	173.05	181.20	47.32	21.77	46.67	43.58		
R Cuadrado	0.38	0.26	0.64	0.02	0.66	0.09	0.09	0.18		
No. Observaciones	27	27	27	27	27	27	27	27		
Grados de Libertad	25	25	25	25	25	25	25	25		
Coefficiente X	51.648	8.665	28.618	-3.076	8.123	0.824	1.818	2.513		
Error Est. Coef. X	13.144	2.932	4.276	4.477	1.169	0.538	1.153	1.077		
Promedio	2,408	631	674	658	120	53	223	70		
TPDA a 1994	3,079	743	1,046	618	225	64	247	102		
CoefX/TPPeriodo	0.021	0.014	0.042	-0.005	0.068	0.016	0.008	0.036		
TPDA a 2018 proy.	4,319	951	1,305	544	189	83	291	141	6,362	29.2

ESTACION : 211 TIPO : "B"			RUTA: CA-2 OCCIDENTE KILOMETRO: 155+980 (San Antonio Suchitepéquez - Mazatenango)								VEHIC. PESADOS	
No.	AÑO	TPDA	TIPO DE VEHICULO							TOTAL	%	
			I	II	III	IV	V	VI	VII			
1	1967	1,964	646	277	465	20	289	226	41	711	36.2	
2	1968	1,745	565	260	370	24	248	241	37	635	36.4	
3	1969	2,678	843	378	651	40	332	370	64	1,061	39.6	
4	1970	2,133	636	360	478	34	279	269	77	781	36.6	
5	1971	2,513	693	395	681	60	297	284	103	1,025	40.8	
6	1972	2,522	671	449	796	58	325	237	76	1,091	43.3	
7	1973	2,975	896	550	785	68	289	298	89	1,151	38.7	
8	1974	3,117	798	561	949	65	296	302	146	1,316	42.2	
9	1975	3,466	811	769	929	118	357	308	174	1,355	39.1	
10	1976	3,990	998	1,021	858	132	371	351	259	1,341	33.6	
11	1977	3,909	899	1,119	899	164	305	281	242	1,344	34.4	
12	1978	4,478	1,030	1,367	824	163	425	405	264	1,392	31.1	
13	1979	4,574	993	1,431	947	162	377	403	261	1,512	33.1	
14	1980	3,848	993	1,154	766	98	215	464	158	1,328	34.5	
15	1981	4,915	1,263	1,523	826	138	300	634	231	1,598	32.5	
16	1982	3,542	804	1,087	691	81	174	524	181	1,296	36.6	
17	1983	3,953	1,067	1,072	751	122	174	561	206	1,434	36.3	
18	1984	4,340	996	1,326	863	134	147	645	229	1,642	37.8	
19	1985	3,947	904	1,162	643	59	122	714	343	1,416	35.9	
20	1986	3,712	831	1,126	653	163	89	612	238	1,428	38.5	
21	1987	3,524	966	1,081	444	152	102	606	173	1,202	34.1	
22	1988	4,009	782	1,456	625	273	88	625	160	1,523	38.0	
23	1989										0.0	
24	1990										0.0	
25	1991	4,804	1,167	1,595	793	293	92	653	211	1,739	36.2	
26	1992	4,830	1,125	1,687	758	285	72	729	174	1,772	36.7	
27	1993	4,865	1,202	1,693	701	311	97	691	170	1,703	35.0	
28	1994	4,893	1,272	1,732	651	98	127	695	318	1,762	36.0	

NOMENCLATURA

I Automoviles, Paneles y Jeeps

II Pick-ups

III Camiones de 2 Ejes (C-2)

IV Camones de 3 y mas Ejes (C-3)

V Microbuses

VI Buses

VII Motos, Tractores, etc.

Nota: a partir de Junio 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 Ejes (T3-S2)

FUENTE : Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos

Variable de Regresión	Resultados del Análisis de Regresión									
	TPDA	TIPO DE VEHICULO							Capacidad	% V.P.
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Constante	2,300.98	677.00	253.17	673.17	0.51	377.48	171.00	87.08		
Error Estimac. Y	540.64	134.87	205.97	172.93	50.36	73.83	73.26	63.11		
R Cuadrado	0.67	0.40	0.80	0.01	0.69	0.61	0.83	0.36		
No. Observaciones	26	26	26	26	26	26	26	26		
Grados de Libertad	24	24	24	24	24	24	24	24		
Coefficiente X	98.221	14.210	53.545	2.544	9.614	-11.725	20.528	6.074		
Error Est. Coef. X	14.137	3.527	5.386	4.522	1.317	1.931	1.916	1.650		
Promedio	3,627	869	976	708	130	219	448	169		
TPDA a 1994	4,953	1,061	1,699	742	260	61	725	251		
CoefX/TPPeriodo	0.027	0.016	0.055	0.004	0.074	-0.053	0.046	0.036		
TPDA a 2018 proy.	7,310	1,402	1,747	803	200	(221)	857	346	5,722	36.2

ESTACION : 212
TIPO : "B"

RUTA: CA-2 OCCIDENTE
KILOMETRO: 169+160
(Mazatenango - Cuyotenango)

No.	AÑO	TPDA	TIPO DE VEHICULO							VEHIC. PESADOS	
			I	II	III	IV	V	VI	VII	TOTAL	%
1	1967	1,828	585	327	417	16	194	247	42	680	37.2
2	1968	1,716									0.0
3	1969	2,663	948	439	631	64	186	328	67	1,023	38.4
4	1970	1,984	647	345	486	32	171	222	81	740	37.3
5	1971	2,316	662	428	680	60	169	231	86	971	41.9
6	1972	2,417	725	442	713	46	174	225	92	984	40.7
7	1973	2,876	912	509	869	69	155	256	106	1,194	41.5
8	1974	3,304	952	714	964	59	211	278	126	1,301	39.4
9	1975	2,921	792	695	782	88	164	251	149	1,121	38.4
10	1976	3,751	976	1,026	834	139	169	356	251	1,329	35.4
11	1977	4,384	1,109	1,314	995	193	189	338	246	1,526	34.8
12	1978	3,694	920	1,148	800	115	92	373	246	1,288	34.9
13	1979	4,609	1,035	1,525	1,028	120	120	449	332	1,597	34.6
14	1980	4,798	1,207	1,538	943	91	135	607	277	1,641	34.2
15	1981	4,634	1,191	1,575	806	93	107	579	283	1,478	31.9
16	1982	4,723	1,171	1,606	779	85	95	614	373	1,478	31.3
17	1983	4,508	1,186	1,431	780	124	77	633	277	1,537	34.1
18	1984	4,937	1,264	1,541	874	128	104	666	360	1,668	33.8
19	1985	4,532	1,020	1,541	816	104	104	621	326	1,541	34.0
20	1986	4,853	1,267	1,494	878	165	112	607	330	1,650	34.0
21	1987	5,000	1,210	1,640	810	210	120	675	335	1,695	33.9
22	1988	5,670	1,208	2,076	941	329	113	697	306	1,967	34.7
23	1989										0.0
24	1990										0.0
25	1991	6,058	1,351	2,163	975	303	145	703	418	1,981	32.7
26	1992	6,397	1,612	2,342	940	262	134	723	384	1,925	30.1
27	1993	7,547	2,007	2,785	1,049	355	174	709	468	2,113	28.0
28	1994	6,994	1,993	2,560	1,049	77	189	685	441	2,252	32.2

NOMENCLATURA

I Automoviles, Paneles y Jeeps

II Pick-ups

III Camiones de 2 Ejes (C-2)

IV Camones de 3 y mas Ejes (C-3)

V Microbuses

VI Buses

VII Motos, Tractores, etc.

Nota: a partir de Junio 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 Ejes (T3-S2)

FUENTE : Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos

Variable de Regresión	Resultados del Análisis de Regresión									
	TPDA	TIPO DE VEHICULO							Capacidad	% V.P.
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Constante	1,876.12	662.37	197.25	655.91	1.38	186.21	193.57	53.35		
Error Estimac. Y	880.82	249.16	327.05	169.38	52.18	33.07	112.94	69.57		
R Cuadrado	0.66	0.43	0.77	0.17	0.68	0.41	0.65	0.70		
No. Observaciones	27	27	27	27	27	27	27	27		
Grados de Libertad	25	25	25	25	25	25	25	25		
Coefficiente X	151.664	26.770	73.600	9.425	9.441	-3.425	18.913	13.061		
Error Est. Coef. X	21.764	6.156	8.081	4.185	1.289	0.817	2.791	1.719		
Promedio	3,999	1,037	1,228	788	134	138	458	236		
TPDA a 1994	5,971	1,385	2,184	910	256	94	704	406		
CoefX/TPPeriodo	0.038	0.026	0.060	0.012	0.071	-0.025	0.041	0.055		
TPDA a 2018 prov.	7,995	2,028	2,076	1,137	206	12	895	415	5,995	33.1

ESTACION : 213 TIPO : "A"			RUTA: CA-2 OCCIDENTE KILOMETRO: 197+970 (Cuyotenango - Santa Cruz Muluá)								VEHIC. PESADOS	
No.	AÑO	TPDA	TIPO DE VEHICULO							TOTAL	%	
			I	II	III	IV	V	VI	VII			
1	1967	1,316	509	250	324	21	17	171		516	39.2	
2	1968										0.0	
3	1969	1,604	569	249	497	26	19	201		724	45.1	
4	1970										0.0	
5	1971	1,993	639	373	628	58	32	213		899	45.1	
6	1972	2,167	737	379	665	48	43	228		941	43.4	
7	1973	2,568	765	514	855	64	44	241		1,160	45.2	
8	1974	2,524	661	528	811	61	76	268		1,140	45.2	
9	1975	2,881	697	686	882	144	86	274		1,300	45.1	
10	1976	2,615	846	642	590	84	86	241		915	35.0	
11	1977	2,253	556	577	646	124	52	185		955	42.4	
12	1978	3,858	982	1,156	947	158	100	322		1,427	37.0	
13	1979	3,977	899	1,266	1,034	169	99	283		1,486	37.4	
14	1980	2,899	735	878	745	90	67	271		1,106	38.2	
15	1981	2,911	792	922	687	76	64	256		1,019	35.0	
16	1982	3,473	893	1,062	834	83	66	316		1,233	35.5	
17	1983	3,162	981	961	572	76	60	354		1,002	31.7	
18	1984	3,476	973	1,073	692	87	94	362		1,141	32.8	
19	1985	3,265	780	1,035	738	82	72	336		1,156	35.4	
20	1986	2,922	695	903	693	126	70	266		1,085	37.1	
21	1987	3,515	924	1,161	664	155	84	355		1,174	33.4	
22	1988	3,776	782	1,427	793	215	72	344		1,352	35.8	
23	1989	4,151	901	1,428	872	253	91	411		1,536	37.0	
24	1990	4,250	1,131	1,296	935	293	72	336		1,564	36.8	
25	1991	4,229	1,040	1,429	871	266	98	330		1,467	34.7	
26	1992	4,358	1,212	1,512	850	187	113	336		1,373	31.5	
27	1993	4,812	1,203	1,641	1,035	351	111	356		1,742	36.2	
28	1994	4,843	1,191	1,681	1,032	77	136	402		1,835	37.9	

NOMENCLATURA

I Automoviles, Paneles y Jeeps

II Pick-ups

III Camiones de 2 Ejes (C-2)

IV Camiones de 3 y mas Ejes (C-3)

V Microbuses

VI Buses

VII Motos, Tractores, etc.

Nota: a partir de Junio 1994, Tipo VII Camiones de más de 3 Ejes (T3-S2)

FUENTE : Sección de Estadística, Unidad de Planeamiento de la Dirección General de Caminos

Variable de Regresión	Resultados del Análisis de Regresión									
	TPDA	TIPO DE VEHICULO							Capacidad	% V.P.
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Constante	1,524.75	534.05	160.86	545.36	6.56	28.97	182.05	2.93		
Error Estimac. Y	401.81	129.31	159.33	161.84	48.00	18.78	34.10	23.77		
R Cuadrado	0.81	0.57	0.86	0.26	0.63	0.56	0.74	0.00		
No. Observaciones	26	26	26	26	26	26	26	26		
Grados de Libertad	24	24	24	24	24	24	24	24		
Coefficiente X	107.572	19.064	50.730	12.222	8.030	2.727	7.319	0.122		
Error Est. Coef. X	10.507	3.381	4.166	4.232	1.255	0.491	0.892	0.622		
Promedio	2,977	791	846	710	115	66	281	5		
TPDA a 1994	4,429	1,049	1,531	875	223	103	380	6		
CoefX/TPPeriodo	0.036	0.024	0.060	0.017	0.070	0.041	0.026	0.027		
TPDA a 2018 proy.	6,080	1,506	1,455	1,169	182	130	555	9	5,573 38.1	

**TRAMO: RIO BRAVO - SAN ANTONIO SUCHITEPEQUEZ
ESTACION 210**

Cuadro No. 1.2-09 Tránsito Esperado

Año	Vehículos Según Categoría							TPDA	% de Veh. Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1996	1188	1509	1023	714	23	479	480	5416	49.8
1997	1214	1554	1054	750	23	489	504	5587	50.0
1998	1240	1601	1085	787	24	498	529	5764	50.3
1999	1266	1649	1118	827	24	508	556	5948	50.6
2000	1293	1698	1151	868	25	518	583	6138	50.9
2001	1321	1749	1186	911	25	529	613	6335	51.1
2002	1350	1802	1222	957	26	539	643	6538	51.4
2003	1379	1856	1258	1005	26	550	675	6749	51.7
2004	1408	1912	1296	1055	27	561	709	6968	53.6
2005	1438	1969	1335	1108	27	572	745	7194	53.7
2006	1469	2028	1375	1163	28	584	782	7429	53.8
2007	1501	2089	1416	1221	29	596	821	7672	52.8
2008	1533	2151	1459	1282	29	607	862	7924	53.1
2009	1566	2216	1502	1346	30	620	905	8185	53.4
2010	1600	2282	1547	1414	30	632	950	8456	53.7
2011	1634	2351	1594	1484	31	645	998	8737	54.0
2012	1669	2422	1642	1559	32	658	1048	9028	54.3
2013	1705	2494	1691	1637	32	671	1100	9329	54.6
2014	1741	2569	1742	1718	33	684	1155	9642	55.0
2015	1779	2646	1749	1804	34	698	1213	9967	55.3
2016	1817	2725	1848	1894	34	712	1274	10304	55.6
2017	1856	2807	1903	1989	35	726	1337	10654	55.9
2018	1896	2891	1960	2089	36	741	1404	11016	56.2

Categoría I: Automóviles, Paneles, Jeeps

Categoría II: Pick-ups

Categoría III: Camiones de 2 Ejes

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría V: Microbuses

Categoría VI: Buses

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más

**TRAMO: SAN ANTONIO SUCHITEPEQUEZ - MAZATENANGO
ESTACION 211**

Cuadro No. 1.2-10 Tránsito Esperado

Año	Vehículos Según Categoría							TPDA	% de Veh. Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1996	1995	2570	824	673	41	739	418	7260	36.6
1997	2035	2647	849	707	42	761	439	7479	36.8
1998	2076	2727	874	742	43	784	461	7706	37.1
1999	2117	2808	900	779	44	808	484	7940	37.4
2000	2159	2893	927	818	44	832	508	8182	37.7
2001	2203	2979	955	859	45	857	533	8432	38.0
2002	2247	3069	984	902	46	882	560	8690	38.3
2003	2292	3161	1013	947	47	909	588	8957	38.6
2004	2337	3256	1044	994	48	936	618	9233	38.9
2005	2384	3353	1075	1044	49	964	648	9518	39.2
2006	2432	3454	1107	1096	50	993	681	9813	39.5
2007	2481	3557	1141	1151	51	1023	715	10119	39.8
2008	2530	3664	1175	1209	52	1054	751	10434	40.1
2009	2581	3774	1210	1269	53	1085	788	10760	40.4
2010	2632	3887	1246	1332	54	1118	828	11098	40.8
2011	2685	4004	1284	1399	55	1151	869	11447	41.1
2012	2739	4124	1322	1469	56	1186	912	11809	41.4
2013	2793	4248	1362	1543	57	1221	958	12183	41.7
2014	2849	4375	1403	1620	59	1258	1006	12570	42.1
2015	2906	4507	1445	1701	60	1296	1056	12970	42.4
2016	2964	4642	1488	1786	61	1335	1109	13385	42.7
2017	3024	4781	1533	1875	62	1375	1165	13814	43.1
2018	3084	4924	1579	1969	63	1416	1223	14258	43.4

Categoría I: Automóviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más

Categoría II: Pick-ups

Categoría V: Microbuses

Categoría III: Camiones de 2 Ejes

Categoría VI: Buses

TRAMO: MAZATENANGO - CUYOTENANGO
ESTACION 212

Cuadro No. 1.2-11 Tránsito Esperado

Año	Vehículos Según Categoría							TPDA	% de Veh. Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1996	3127	3800	1786	853	349	728	355	10998	33.8
1997	3221	3914	1840	896	356	750	373	11349	34.0
1998	3317	4031	1895	940	363	772	391	11711	34.1
1999	3417	4152	1952	987	370	796	411	12085	34.3
2000	3519	4277	2010	1037	378	819	432	12472	34.5
2001	3625	4405	2070	1089	385	844	453	12872	34.6
2002	3734	4537	2133	1143	393	869	476	13285	34.8
2003	3846	4674	2197	1200	401	895	500	13712	34.9
2004	3961	4814	2262	1260	409	922	524	14153	35.1
2005	4080	4958	2330	1323	417	950	551	14609	35.3
2006	4202	5107	2400	1389	425	978	578	15081	35.5
2007	4328	5260	2472	1459	434	1008	607	15569	35.6
2008	4458	5418	2546	1532	443	1038	638	16073	35.8
2009	4592	5580	2623	1608	451	1069	669	16594	36.0
2010	4730	5748	2701	1689	460	1101	703	17133	36.2
2011	4872	5920	2783	1773	470	1134	738	17690	36.3
2012	5018	6098	2866	1862	479	1168	775	18266	36.5
2013	5168	6281	2952	1955	489	1203	814	18862	36.7
2014	5324	6469	3401	2053	498	1239	854	19478	36.9
2015	5483	6663	3132	2155	508	1277	897	20116	37.1
2016	5648	6863	3226	2263	519	1315	942	20775	37.3
2017	5817	7069	3322	2376	529	1354	989	21457	37.5
2018	5992	7281	3422	2495	540	1395	1038	22163	37.7

Categoría I: Automóviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más

Categoría II: Pick-ups

Categoría V: Microbuses

Categoría III: Camiones de 2 Ejes

Categoría VI: Buses

**TRAMO: CUYOTENANGO - SANTA CRUZ MULUA
ESTACION 213**

Cuadro No. 1.2-12 Tránsito Esperado

Año	Vehículos Según Categoría							TPDA	% de Veh Pesados
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1996	1867	2495	1307	649	44	428	279	7069	37.7
1997	1914	2570	1346	681	45	439	293	7289	37.9
1998	1963	2647	1387	716	47	450	308	7516	38.0
1999	2013	2726	1428	751	48	461	323	7751	38.2
2000	2064	2808	1471	789	50	473	339	7994	38.4
2001	2117	2892	1515	828	51	485	356	8245	38.6
2002	2171	2979	1561	870	53	497	374	8504	38.8
2003	2226	3069	1607	913	54	510	393	8771	39.0
2004	2282	3161	1656	959	56	523	412	9048	39.2
2005	2340	3255	1705	1007	57	536	433	9334	39.4
2006	2400	3353	1756	1057	59	549	454	9630	39.6
2007	2461	3454	1809	1110	61	563	477	9935	39.9
2008	2524	3557	1863	1166	63	577	501	10251	40.1
2009	2588	3664	1919	1224	65	592	526	10578	40.3
2010	2653	3774	1977	1285	67	607	552	10915	40.5
2011	2721	3887	2036	1349	69	622	580	11264	40.7
2012	2790	4004	2097	1417	71	638	609	11626	41.0
2013	2861	4124	2160	1488	73	654	639	11999	41.2
2014	2934	4248	2225	1562	75	671	671	12385	41.4
2015	3008	4375	2292	1640	77	688	705	12785	41.6
2016	3085	4506	2361	1722	79	705	740	13199	41.9
2017	3163	4641	2431	1808	82	723	777	13626	42.1
2018	3244	4781	2504	1898	84	741	816	14069	42.4

Categoría I: Automóviles, Paneles, Jeeps

Categoría IV: Camiones de 3 Ejes

Categoría VII: Camiones de 4 Ejes o más

Categoría II: Pick-ups

Categoría V: Microbuses

Categoría III: Camiones de 2 Ejes

Categoría VI: Buses

CLASIFICACION EN GRUPOS Y SUB-GRUPOS, DE SUELOS DE LA AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz No. 200)							Materiales limoarcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-2			A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Sub-Grupos											A-7-5 (a) A-7-6
Porcentaje que pasa el Tamiz No. :											
No. 10	50 máx.										
No. 40	30 máx.	50 máx.									
No. 200	15 máx.	25 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	51 mín. 10 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el Tamiz No. 40											
Límite Líquido			40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.		40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	NP	10 máx.	10 máx.	10 máx.	11 mín.
Índice de Grupo (b)	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	0	8 máx.	12 máx.	11 mín. 16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra, grava y arena		Gravas y arenas limosas y arcillosas				Arena Fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tipo de Fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno		Regular		Regular a bueno		Regular a bueno		

* El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor a su límite líquido menos 30, y el de los A-7-6 es mayor que su LL-30.

(a) Ver Figura No. 2.1-01

(b) Índice de Grupo = $IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01 bd$

Cuadro No. 2.1-01

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, por Joseph Bowles

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION

Divisiones Mayores	Símbolo de Grupo	Nombre Típico	Criterios de Clasificación para Suelos Granulares		
Suelos de Grano Grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz No. 200)	Gravos (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No. 4)	GW	Gravos bien gradados, mezclas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60} / D_{10} > 4$ $C_u = 1 < D_{30}^2 / D_{10} \times D_{60} < 3$	
		GP	Gravos pobremente gradados, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW.	
		GM	d u	Gravos limosos, mezclas de grava-arena-limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $I_p < 4$. A los materiales sobre la línea A con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
		GC	Gravos arcillosos, mezclas grava-arena-arcillosas.	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $I_p > 7$.	
	Arenas (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz No. 4)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60} / D_{10} > 6$ $C_u = 1 < D_{30}^2 / D_{10} \times D_{60} < 3$	
		SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW.	
		SM	d u	Arenas limosas, mezclas arena-limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $I_p < 4$. A los materiales sobre la línea A con $4 \leq I_p \leq 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
		SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $I_p > 7$.	
Suelos de Grano Fino (más del 50% del material pasa el tamiz No. 200)	Limos y Arcillas (Límite Líquido < 50)	ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz 200) los suelos gruesos se clasifican en: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP. Más del 12% - GM, GC, SM, SC. Del 5 al 12% - Casos de frontera que requieren doble símbolo.	
		CL	Arcillas orgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.		
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
	Limos y Arcillas (Límite Líquido > 50)	MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.		
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.		
	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.			

Cuadro No. 2.1-02

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, por Joseph E. Bowles

Cuadro No. 2.3-01 Espesores de las Capas de la Estructura del Pavimento Existente

Kilómetro	Perf. N ó R	Pista I ó D	ESPESOR EN CENTIMETROS				MATERIAL DE LA ESTRUCTURA			
			Carpeta	Base	Sub-base 1	Sub-base 2	Carpeta	Base	Sub-base 1	Sub-base 2
137+000	R	D	0.05	0.30	0.00	0.20	CA	SC	-	A-1-b
137+470	N	D	0.06	0.18	0.15	0.05	CA	SC	DT-PV	A-1-b
137+670	N	D	0.06	0.19	0.25	0.25	CA	SC	DT-PV	A-1-b
137+849	R	I	0.05	0.27	0.15	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-b
138+858	R	D	0.05	0.30	0.00	0.30	CA	SC	-	A-1-b
138+875	N	I	0.05	0.30	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
139+500	R	I	0.05	0.23	0.10	0.25	CA	SC	A-1-a	A-1-b
139+963	N	D	0.05	0.30	0.15	0.05	CA	SC	DT-PV	A-1-b
140+833	R	D	0.05	0.30	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
141+460	N	I	0.05	0.25	0.15	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-b
141+500	R	I	0.05	0.30	0.15	0.30	CA	SC	DT-PV	A-1-b
142+700	R	D	0.05	0.30	0.10	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
143+600	N	D	0.05	0.30	0.00	0.05	CA	SC	-	A-1-b
143+980	R	I	0.04	0.25	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
144+820	R	D	0.05	0.27	0.25	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
145+942	R	I	0.035	0.22	0.15	0.30	CA	SC	DT-PV	A-1-b
146+820	R	D	0.05	0.32	0.00	0.00	CA	SC	-	A-1-b
147+620	N	D	0.05	0.20	0.00	0.30	CA	SC	-	A-1-a
147+920	R	I	0.03	0.25	0.10	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-b
148+200	R	D	0.05	0.20	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-a
SUBTRAMO 1			0.05	0.26	0.13	0.18				
149+053	N	D	0.05	0.26	0.13	0.27	CA	SC	DT-PV	A-1-b
149+939	R	I	0.035	0.28	0.15	0.00	CA	SC	DT-PV	A-1-b
150+331	N	I	0.05	0.30	0.15	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-b
150+919	R	D	0.05	0.22	0.00	0.30	CA	SC	-	A-1-a
151+255	N	D	0.05	0.30	0.10	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
151+775	R	I	0.05	0.22	0.10	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
151+948	N	I	0.07	0.00	0.10	0.22	CA	-	DT-PV	A-1-b
152+673	R	D	0.06	0.17	0.00	0.20	CA	SC	-	A-1-a
SUBTRAMO 2			0.05	0.22	0.09	0.19				
153+530	R	I	0.07	0.15	0.10	0.15	CA	SC	DT-PV	A-1-a
154+414	R	D	0.05	0.20	0.12	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-a
154+779	N	D	0.05	0.20	0.00	0.20	CA	SC	-	A-1-a
SUBTRAMO 3			0.06	0.18	0.07	0.18				
155+952	R	I	0.04	0.23	0.12	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
157+200	R	D	0.05	0.15	0.15	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
157+720	N	I	0.05	0.20	0.00	0.50	CA	SC	-	A-1-b
158+293	R	I	0.05	0.27	0.15	0.10	CA	SC	A-1-a	A-1-b
SUBTRAMO 4			0.05	0.21	0.11	0.25				
161+540	R	D	0.05	0.18	0.15	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
162+110	N	D	0.05	0.18	0.12	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
162+615	R	I	0.04	0.20	0.15	0.15	CA	SC	DT-PV	A-1-b
163+628	N	I	0.05	0.35	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
163+631	R	D	0.05	0.20	0.20	0.00	CA	SC	DT-PV	-
164+774	R	I	0.06	0.25	0.15	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
165+800	N	D	0.05	0.17	0.15	0.25	CA	SC	DT-PV	A-1-b
165+875	R	D	0.05	0.20	0.20	0.15	CA	SC	DT-PV	A-1-b
166+560	R	I	0.05	0.25	0.25	0.00	CA	SC	DT-PV	-
SUBTRAMO 6			0.05	0.22	0.17	0.15				
167+635	R	D	0.05	0.20	0.00	0.30	CA	SC	-	A-1-b
167+751	N	I	0.05	0.60	0.00	0.00	CA	SC	-	-
168+831	R	I	0.045	0.28	0.15	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-a
169+255	N	D	0.05	0.30	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
169+755	R	D	0.08	0.15	0.15	0.15	CA	SC	DT-PV	A-1-a
170+470	N	I	0.05	0.15	0.20	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b

Descripción de Materiales: CA: Concreto Asfáltico
SC: Suelo Cemento

DT: Doble Tratamiento Superficial
DT-PV: DT Pavimento Viejo

A-1-a: AASHTO M-145
A-1-b: AASHTO M-145

A-2-4: AASHTO M-145

Cuadro No. 2.3-01 cont. Espesores de las Capas de la Estructura del Pavimento Existente

Kilómetro	Perf. No R	Pista I o D	ESPESOR EN CENTIMETROS				MATERIAL DE LA ESTRUCTURA			
			Carpeta	Base	Sub-base 1	Sub-base 2	Carpeta	Base	Sub-base 1	Sub-base 2
171+000	R	I	0.06	0.30	0.15	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-a
171+595	R	D	0.05	0.20	0.10	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-b
171+790	N	D	0.05	0.29	0.12	0.10	CA	SC	-	A-1-b
172+875	R	I	0.04	0.28	0.00	0.20	CA	SC	-	A-1-b
173+530	R	D	0.05	0.22	0.15	0.20	CA	SC	DT-PV	A-1-b
173+660	N	I	0.07	0.20	0.00	0.20	CA	SC	-	A-1-b
174+752	R	I	0.04	0.30	0.20	0.10	CA	SC	-	A-1-b
175+436	N	I	0.04	0.20	0.00	0.10	CA	SC	-	A-1-b
175+670	R	D	0.05	0.24	0.10	0.15	CA	SC	DT-PV	A-1-a
176+780	N	D	0.05	0.22	0.00	0.20	CA	SC	DT-PV	A-2-4
177+000	R	I	0.03	0.22	0.00	0.20	CA	SC	-	A-2-4
SUBTRAMO 7			0.05	0.26	0.09	0.15				
177+726	R	D	0.05	0.15	0.10	0.10	CA	SC	DT-PV	A-2-4
178+250	N	I	0.08	0.20	0.20	0.10	CA	SC	DT-PV	A-1-a
SUBTRAMO 8			0.07	0.18	0.15	0.10				

Descripción de Materiales: CA: Concreto Asfáltico
SC: Suelo Cemento

DT: Doble Tratamiento Superficial
DT-PV:DT Pavimento Viejo

A-1-a: AASHTO M-145
A-1-b: AASHTO M-145

A-2-4: AASHTO M-145

El cuadro presentado contiene:

Kilometraje donde fué realizada cada perforación

Tipo de perforación, R (rotativa, con extracción de núcleos) o N (neumática o calicata, con muestreo y ensayos in situ)

Pista donde fué realizada cada perforación, I (izquierda) y D (derecha). El lado fué definido realizando el caminamiento en dirección a Retalhuleu

Espesor en centímetros de cada capa de la estructura del pavimento

Material que compone cada capa de la estructura del pavimento

Al final de cada subtramo, se presenta el espesor promedio, correspondiente a cada capa. Los subtramos fueron seleccionados tomando en consideración, según el caso, los resultados de los ensayos de deflexión con Viga Benkelman, los espesores y tipo de materiales encontrados en las perforaciones y los análisis de tránsito.

Resumen de Resultados Ensayos de Laboratorio
Muestras de Base, Subbase y Subrasante

Kilómetro	Material Estructura	Preced. Determ. Prenom.	Preced. Determ. S o E	PUS Campo lb/ps	Preced. Determ. Nutrición	Wcampano %	Tipo de Camp.		PUS Máx lb/ps	Wóptimo %	GC Campo %	Valor Suporte de California a % C.Campo a 95% Comp	Límites de Atterberg LL	Índice de Liquidez	Sistema de Clasificación USCS
							1-99	1-180							
137+470	sub-base	x	S	84.3		19.8	x	100.0	13.5	84.3	18.0	66.5	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x		84.1	N	19.1	x	100.0	13.5	84.1	17.0	66.5	NL	NP	A-1-b
	subrasante												NL	NP	
137+670	sub-base	x	S	89.0		21.9	x	98.2	14.0	98.6	33.0	66.0	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x		97.7	N	24.5	x	98.2	14.0	99.5	85.0	66.0	NL	NP	A-1-b
	subrasante	x	S	100.4		21.9	x	107.4	18.5	93.5	8.1	9.7	43.2	30.7	A-7.5
138+875	sub-base	x	S	99.7		22.1	x	107.4	18.5	92.8	7.4	9.7	43.2	30.7	A-7.5
	sub-base	x	S	94.1		19.0	x	100.0	16.0	94.1	57.0	59.0	NL	NP	A-1-b
	subrasante	x	S	94.1		19.0	x	100.0	16.0	94.1	57.0	59.0	NL	NP	A-1-b
139+693	sub-base	x	E	96.0		18.5	x	91.4	16.5	105.0	90.0	76.5	NL	NP	A-1-b
	subrasante	x	E	88.1		35.5									
	sub-base	x	S	65.2		51.5									
141+460	sub-base	x	S	66.0		46.5	x	76.0	38.5	86.8	14.0	19.9	39.7	30.2	A-4
	subrasante	x	E	69.3	N	49.3	x	76.0	38.5	91.2	16.6	19.9	39.7	30.2	A-4
	sub-base	x													
143+600	sub-base	x	E	110.3		7.6									
	sub-base	x		108.8	N	9.4									
	subrasante	x	E	76.2		32.7	x	86.7	34.0	87.9	11.5	29.8	56.0	41.6	A-7.5
147+620	sub-base	x	E	78.8	N	34.7	x	86.7	34.0	90.9	20.2	29.8	56.0	41.6	A-7.5
	sub-base	x													
	subrasante	x	E	83.7		23.3									
149+053	sub-base	x	E	83.9	N	25.4									
	sub-base	x													
	subrasante	x													
150+331	sub-base	x	S	66.3		50.6	x	84.2	27.0	78.7	2.9	7.6	63.8	50.3	A-7.5
	sub-base	x													
	subrasante	x	S	93.0	E	19.3	x	94.0	13.3	98.9	70.6	54.0	NL	NP	A-1-b
151+255	sub-base	x	E	90.2		19.2	x	94.0	13.3	96.0	57.5	54.0	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x	S	91.1		33.0	x	97.5	23.5	93.4	45.5	49.0	47.2	38.2	A-5
	subrasante	x		89.4	N	32.4	x	97.5	23.5	91.7	36.0	49.0	47.2	38.2	A-5
151+988	sub-base	x	S	91.1		33.0	x	97.5	23.5	93.4	12.4	13.9	47.2	38.2	A-5
	sub-base	x	S	89.4	N	31.4	x	97.5	23.5	91.7	11.0	13.9	47.2	38.2	A-5
	subrasante	x													
154+779	sub-base	x	S	75.1		34.0	x	92.3	25.8	81.4	1.0	38.0	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x													
	subrasante	x	S	110.3	N	8.9	x	117.8	9.5	93.6	74.4	82.6	NL	NP	A-1-a
157+720	sub-base	x	E	110.3	N	8.9	x	117.8	9.5	92.6	74.4	82.6	NL	NP	A-1-a
	sub-base	x													
	subrasante	x	S	70.3		42.8	x	99.9	19.3	70.4	15.0	64.5	NL	NP	A-1-b
162+110	sub-base	x	E	117.5		3.8	x	114.3	13.0	102.8	63.6	21.8	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x		120.7	N	5.9	x	114.3	13.0	105.6	63.6	21.8	NL	NP	A-1-b
	subrasante	x	S	70.3		42.8	x	99.9	19.3	70.4	15.0	64.5	NL	NP	A-1-b
162+110	sub-base	x	E	92.3		18.8	x	97.5	15.5	94.7	65.0	65.0	NL	NP	A-1-b
	sub-base	x		93.7	N	20.2	x	97.5	15.5	96.1	72.5	65.0	NL	NP	A-1-b
	subrasante 1	x	E	80.3		31.8	x	97.1	26.1	82.7	16.0	55.5	41.2	36.1	A-5
162+110	subrasante 1	x		82.9	N	35.3	x	97.1	26.1	83.4	20.5	55.5	41.2	36.1	A-5
	subrasante 2	x	E	80.3		31.8	x	97.1	26.1	82.7	16.0	55.5	41.2	36.1	A-5
	subrasante 2	x	E	82.9		35.3	x	97.1	26.1	83.4	20.5	55.5	41.2	36.1	A-5
162+110	sub-base	x	E	82.9		35.3	x	87.2	31.0	92.1	14.5	20.4	41.2	36.1	A-5
	sub-base	x													
	subrasante 2	x	E	82.9		35.3	x	87.2	31.0	95.1	20.5	20.4	41.2	36.1	A-5