

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA.
(UNAN – MANAGUA).
RECINTO UNIVERSITARIO “RUBÉN DARÍO”
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
INGENIERÍA CIVIL.

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.

“COMPARACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y
FLEXIBLES EN NICARAGUA, TOMANDO COMO MUESTRA EL TRAMO DE
CARRETERA SANTA RITA – IZAPA”



AUTORES: BR. VÍCTOR HUGO GONZÁLEZ MAIRENA.

BR. JARUZELSKY DUVALLIER UGARTE BERMUDEZ.

BR. CÉSAR GABRIEL ÓRTIZ MENDOZA.

TUTOR: MSC. EVERT LÓPEZ AGUIRRE.

MANAGUA, NICARAGUA.

NOVIEMBRE, 2008.

AGRADECIMIENTOS.

A **Dios**, por haberme dado la fortaleza, la consistencia y la vida para poder culminar mis estudios.

A mi Madre **Adanelia Mairena Rugama** como resultado de los sacrificios y esfuerzos que ha hecho a lo largo de toda su vida para ver a su hijo convertido en profesional.

A mi hermana **Vilma Elisa González Mairena**, por ser la persona más dulce, inteligente y capaz que he conocido.

A mi abuelita **Martha Rugama**, gracias, ya que con su fe y cariño incondicional me ha apoyado a lo largo mi vida, a su vez a mi abuela **Vilma Cruz Rodríguez** por tomar en cuenta mis decisiones y poder respaldarlas.

A todas mis tías **Esperanza Mairena, Carmen Mairena, Elda Mairena** y tío **Gonzalo Mairena**, que convivieron y soportaron mis alegrías y tristezas, aconsejándome a tomar buenas decisiones que harán de mi ser un mejor hombre y profesional.

A mi profesor tutor y amigo **Msc. Evert López Aguirre**, por su dedicación y sabia dirección en el desarrollo de este trabajo monográfico.

A mis amigos y compañeros que sin poder nombrarles a todos, de una u otra manera me brindaron su apoyo durante el desarrollo de este trabajo, así como en los años universitarios.

A mi padre **Ramiro de Guadalupe González Cruz** (q .e. p. d), por ser la razón más importante de haber tomado esta carrera, por sus consejos, vivencias, protección, además de su entrega a incitarme a ser un mejor ser humano. Con mucho amor y respeto, este trabajo es para ti, papá.

Víctor Hugo González Mairena.

HOJA DE APROBACIÓN.

“ESTA MONOGRAFÍA FUE ACEPTADA POR LA COMISIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS DE GRADUACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.”

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

VOCAL

14 de Julio de 2008

Ing. Ernesto Cuadra.
Coordinador de la Facultad de Ciencias e Ingenierías
UNAN – Managua.

Estimado Ing. Cuadra:

Es de mi agrado informarle que luego de revisar detalladamente la monografía con el título: “Evaluación Técnico – Económica entre los pavimentos rígidos y flexibles en Nicaragua”, desarrollado por los bachilleres Víctor Hugo González Mairena, Jaruzelsky Duvallier Ugarte Bermúdez y César Gabriel Ortiz Mendoza, correspondiente a su tesis monográfica realizada en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN – Managua); soy del criterio que la misma reúne los requisitos para ser aceptado y defendido como culminación de sus estudios, por su contenido, alcance, actualidad y nivel técnico – científico.

Por lo tanto le solicito programe los jurados y la defensa de la misma cuando le estime conveniente.

Fraternalmente,

Ing. Evert López Aguirre.
Docente Ing. Civil UNAN – Managua.

Cc\Archivo.

16 de Octubre de 2008

Ing. Ernesto Cuadra.
Coordinador de la Facultad de Ciencias e Ingenierías
UNAN – Managua.

Estimado Ing. Cuadra:

Con el presente proyecto titulado “Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa”, los bachilleres Víctor Hugo González Mairena, Jaruzelsky Duvallier Ugarte Bermúdez y Cesar Gabriel Ortiz Mendoza culminan el proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Civil que otorga la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN – Managua).

Este trabajo cuenta con ocho capítulos que son: *Condiciones actuales de los pavimentos en Nicaragua, Consideraciones para el diseño, Evaluación de las Subrasantes, Elementos de la Estructura del Pavimento, Diseño de espesores, Impacto Ambiental, Estudio del Caso, Costos y Presupuesto*; cuyo objetivo general es “realizar un análisis comparativo entre las características técnicas y económicas de los pavimentos rígidos y flexibles en Nicaragua”. Los capítulos mencionados se han desarrollado utilizando los conocimientos que los autores adquirieron tanto en el aula de clase como en sus prácticas profesionales.

A lo largo del desarrollo de esta tesis monográfica han mostrado su capacidad de combinar con acierto los análisis económicos que genera esta temática y llegar a conclusiones y recomendaciones acorde al grado de profundización de los profesionales en el análisis correcto de cada una de las alternativas o escenarios propuesto.

Por todo lo anterior soy del criterio que los estudiantes deberían optar al título de Ingeniero Civil como parte de la culminación de sus estudios.

Fraternalmente,

Ing. Evert López Aguirre.
Docente Ing. Civil UNAN – Managua.

C/c\Archivo.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

ÍNDICE.

Dedicatoria.	i.
Agradecimientos.	iii.
Hoja de Aprobación.	iv.
Índice.	v.
Resumen.	ix.
Summary.	x.
Introducción.	xi.
Objetivos Generales y Específicos.	xii.
Índice de Tablas.	xiii.
Índice de Figuras.	xvii.
Abreviaturas.	xix.
Definiciones.	xx.
 <i>Capítulo I. Condiciones actuales de los pavimentos en Nicaragua.</i>	
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Diseños utilizados en Nicaragua.	2
1.3 Tránsito.	2
1.4 Drenaje.	3
1.5 Rehabilitación.	3
1.6 Materiales.	4
1.7 Diseño versus lo construido.	4
1.8 Mantenimiento.	5
 <i>Capítulo II. Consideraciones para el diseño.</i>	
2.1 Criterios de diseño.	6
2.2 Características de los materiales.	7
2.3 Costos del ciclo de vida.	8
2.4 Volúmenes de tránsito.	8
2.5 Consideraciones para cálculo de ejes Equivalentes.	9
2.6 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño.	11
2.7 Factor de distribución por dirección.	12
2.8 Factor de distribución por carril.	12
 <i>Capítulo III Evaluación de las Subrasantes.</i>	
3.1 Propiedades físico-mecánicas de los suelos para subrasante.	13
3.2 Clasificación de suelos.	14
3.3 Ensayos de suelos.	15
a) Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193).	15
b) Valor de resistencia Hveem (Valor R).	16
c) Ensayo de plato de carga (Valor k).	16
d) Penetración dinámica con cono.	16
e) Módulo de resiliencia (Mr) para pavimentos flexibles.	17
f) Módulo de reacción (Mk) para pavimentos rígidos.	21
 <i>Capítulo IV. Elementos de la estructura de pavimento.</i>	
4.1 Escenarios Tipos.	27
4.2 Tipos de pavimento.	28
4.3 Elementos que integran el Pavimento Flexible.	29
4.3.1 Subrasante.	29
4.3.2 Sub.-base.	30
4.3.3 Base.	31
4.3.3.1 Base Granular.	31
4.3.3.2 Base Estabilizada.	32
Productos Estabilizadores.	32
i) Cemento Pórtland.	32
a) Requisitos del cemento Pórtland.	33
b) Compactación.	33

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

c) Curado.	33
ii) Cal.	33
d) Requisitos de la cal.	34
iii) Materiales Bituminosos.	34
a) Requisitos del material bituminoso.	34
b) Compactación.	35
iv) Otros productos estabilizadores.	35
4.3.4 Superficie de Rodadura.	35
4.3.4.1 Mezcla asfáltica en frío.	36
4.3.4.2 Mezcla asfáltica en caliente.	36
4.3.4.3 Riegos asfálticos.	38
4.3.4.4 Sellos asfálticos.	39
i) Lechada Asfálticas (Slurry Seal).	39
ii) Micro Aglomerados (Micro Surfacing).	40
4.4 Elementos que integran el Pavimento Rígido.	41
4.4.1 Subrasante.	41
4.4.2 Sub.-base.	41
4.4.3 Superficie de Rodadura.	42
<i>Capítulo V. Diseño de espesores.</i>	
5.1 Introducción.	44
5.2 Pavimentos flexibles.	45
5.2.1 Método AASHTO.	45
a) Variables a considerar en el método.	45
i) Variables en función del tiempo.	45
ii) Variables en función del tránsito.	46
iii) Confiabilidad.	46
iv) Subrasantes expansivas.	46
v) Criterios para determinar la serviciabilidad.	46
vi) Propiedades de los materiales.	47
vii) Drenajes.	47
b) Determinación de espesores.	47
i) Determinación del número estructural requerido.	47
ii) Estabilidad y factibilidad de construcción.	49
iii) Espesores mínimos en función del número estructural.	50
5.2.2 Método del Instituto del Asfalto.	51
a) Estimación del tránsito.	53
b) Materiales.	54
c) Espesores de Diseño.	56
5.3 Pavimentos Rígidos.	57
5.3.1 Método AASHTO.	57
a) variables a considerar en este método.	60
i) Ejes equivalentes a 82KN a lo largo del período de Diseño.	60
ii) Desviación normal estándar.	61
iii) Error estándar combinado.	61
iv) Variación del índice de serviciabilidad.	62
v) Coeficiente de Drenaje.	63
vi) Coeficiente de transmisión de carga (J).	63
vii) Módulo de elasticidad del concreto.	64
viii) Factor de pérdida de soporte.	65
ix) Módulo de reacción (k).	65
5.3.2 Método del PCA.	66
5.3.3 Diseño de Juntas.	71
a) Juntas transversales de construcción.	72
b) Juntas transversales de expansión.	73
c) Juntas transversales de contracción.	73
d) Juntas longitudinales de contracción.	73
e) Juntas longitudinales de construcción.	73

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

5.3.3.1 Selladores de Juntas.	76
<i>Capítulo VI. Impacto Ambiental.</i>	
6.1 Introducción.	77
6.2 Influencia del entorno en el diseño geométrico.	78
6.3 Circunstancias del entorno natural en Nicaragua.	78
6.4 Impactos Directos.	79
6.5 Impactos Indirectos.	79
6.5.1 Pérdidas de tierras agrícolas.	80
6.5.2 Interferencia con los métodos acostumbrados de transporte local.	80
6.5.3 Implicaciones nacionales y globales.	80
6.6 Alternativas para el Proyecto.	80
6.7 Manejo y capacitación.	84
6.8 Estudio de alternativas del proyecto.	84
<i>Capítulo VII. Estudio del Caso.</i>	
7.1 Localización y características de la región.	90
7.1.1 Localización.	90
7.1.2 Clima y vegetación.	90
7.1.3 Población y economía.	92
7.2 Descripción de la Carretera.	93
7.2.1 Resumen y Evaluación de las Características de la Carretera.	94
7.2.2 Evaluación del Pavimento Existente y Características de la Subrasante.	95
7.2.3 Investigaciones geotécnicas en la vía actual.	96
7.2.4 Resultados de los Ensayes de Clasificación, Humedad y Límites.	96
7.2.5 Resultados de las Pruebas de CBR.	96
7.2.6 Investigación geotécnica para bancos de materiales.	97
7.3 Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible para la Reconstrucción de la Carretera Santa Rita – Izapa.	97
a. Diseño Geométrico.	97
a.1 Planimetría.	99
a.2 Altimetría.	99
a.3 Obras Complementarias.	99
b. Diseño Estructural del pavimento.	100
b.1 Proyección del tráfico.	100
b.2 Evaluación del pavimento existente.	106
b.2.1 Descripción de daños superficiales.	106
b.2.2 Ensayos no destructivos (FWD).	107
b.2.3 Drenaje.	108
b.2.4 Alternativas de construcción.	108
b.2.5 Reemplazo de la base.	108
b.2.6 Reciclaje de la base.	108
b.2.7 Estabilización Mecánica.	109
b.2.8 Estabilización Química.	109
b.2.9 Valores utilizados en el diseño de pavimento.	109
c. Diseño de Alternativas de Estructuras de Pavimento Flexible para la Carretera Santa Rita – Izapa.	110
c.1 Diseño de alternativa N° 1: Base Granular.	111
c.1.1 Diseño de alternativa N° 2: Grava – Cemento.	116
c.1.2 Diseño de alternativa N° 3: Grava – Asfalto.	120
d. Diseño de alternativa de pavimento rígido de la Carretera Santa Rita – Izapa.	124
d.1 Diseño de Alternativa.	125
e. Comparación económica de las variantes de estructuras de pavimentos.	131
e.1 Costos de Alternativa.	131
7.4 Cantidades de Obra.	134
7.5 Mantenimiento.	143
7.5.1 Operaciones de Mantenimiento.	143
7.5.1.1 Mantenimiento Rutinario.	143
7.5.1.2 Mantenimiento Periódico.	144

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

<i>Capítulo VIII. Costos y Presupuesto.</i>	
I. Introducción.	149
II. Estudio de Costos básicos para el pavimento flexible.	151
8.1 Costos de equipo.	151
8.1.1 Costos de Utilización del Equipo.	151
8.1.2 Costos de Posesión de Equipo.	152
8.1.3 Costos de Mantenimiento del Equipo.	153
8.1.4 Costos de Operación.	155
8.1.5 Mano de Obra de Operación.	155
8.1.6 Costos Horarios de Equipo.	155
8.2 Costos de la Mano de Obra.	156
8.3 Costos de los Materiales y Transporte.	157
8.3.1 Precios básicos de los materiales puestos en obra.	158
III. Análisis de Costos Unitarios para el pavimento flexible.	159
IV. Presupuesto de Obra para el pavimento flexible.	160
a. Movimiento de Tierra.	160
b. Pavimentos.	160
c. Drenaje Menor.	161
d. Señalización y otros Ítem.	161
V. Costos de Mantenimiento.	163
VI. Costos de Supervisión.	166
VII. Notas Generales para el pavimento rígido en la carretera Santa Rita – Izapa	179
a. Descripción de la Obra.	179
b. Mantenimiento de tráfico.	185
c. Regulaciones Ambientales.	185
d. Sobre el empleo.	186
e. Observación de las leyes.	186
f. Sistemas de medidas.	186
g. Errores y omisiones en los planos.	186
h. Alternativas de solución.	186
i. Variación en las cantidades estimadas.	186
VIII. Listado mínimo de equipo para el pavimento rígido.	187
<i>Conclusiones.</i>	203
<i>Recomendaciones.</i>	206
<i>Bibliografía.</i>	217
<i>Anexos.</i>	219

RESUMEN.

El presente trabajo comprende el análisis económico de alternativas de pavimentos flexibles (concreto asfáltico) y rígidos (concreto hidráulico) en Nicaragua. Estas alternativas se generaron definiendo rangos característicos de tráfico y calidad soporte de los suelos de terracería, y diversas estrategias de mantenimiento aplicadas a éstas, dejando constantes a valores reales observados la distribución vehicular, el peso y coeficiente de daño promedio de cada tipo de vehículo y la tasa crecimiento anual de tránsito.

El tema se desarrolla en ocho capítulos; el primer capítulo explica las condiciones actuales que se encuentran los pavimentos en el país (Nicaragua), el segundo y tercer capítulo muestra los elementos básicos que se deben de tomar en la construcción de las carreteras, el cuarto capítulo pauta sobre los materiales que se deben de usar en cada capa existente en un pavimento y a su vez la compactación, el quinto capítulo relata los métodos que comúnmente son ocupados en el diseño de un determinado tipo de pavimento, el sexto capítulo habla del estudios de impacto ambiental que se es necesario realizar antes, durante y después de una construcción, el séptimo capítulo toma el caso en estudio como es la carretera Santa Rita – Izapa, y por último y no menos importante el octavo capítulo, presenta el cálculo minucioso del diseño mismo de los pavimentos rígidos y flexibles en el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Los resultados demuestran que si solamente se toma en cuenta en la selección de alternativas de pavimento el costo inicial de construcción, la alternativa escogida sería el pavimento flexible, sin embargo, al incluir todos los costos a lo largo de la vida útil de la vía en cuestión, la alternativa de concreto hidráulico resulta ser la opción de costo relativamente bajo para volúmenes medios y altos. En tanto el pavimento a base de asfalto predomina en tráficos medios y terracería con calidad buena.

Así mismo se evidencia lo conveniente de ejercer intervenciones oportunas para garantizar la vida útil del pavimento con el consiguiente menor costo descontado de mantenimiento y menores costos de operación.

SUMMARY.

The present work understands the economic analysis of alternative of flexible pavements (Concrete Asphaltic) and rigid (Concrete Hydraulic) in Nicaragua. These alternatives were generated defining characteristic ranges of traffic and quality supports of the land floors, and diverse maintenance strategies applied these, leaving constant to observed real values the vehicular distribution, the weight and coefficient of damage average of each vehicle type and the rate annual growth of traffic.

The topic is developed in eight chapters; the first chapter explains the current conditions that are the pavements in the country (Nicaragua), the second and third chapter shows the basic elements that should take in the construction of the highways, the fourth chapter it averages on the materials that should be used in each existent layer in a pavement and in turn the compactation, the fifth chapter relates the methods that commonly are occupied in the design of a certain type of pavement, the sixth chapter speaks of the studies of environmental impact that it is necessary to carry out before, during and after a construction, the seventh chapter takes the case in study like it is the highway Santa Rita - Izapa, and lastly and not less important the eighth chapter, presents the meticulous calculation of the same design of the rigid and flexible pavements in the highway tract Santa Rita - Izapa.

The results demonstrate that if only takes into account in the selection of alternative of pavement the initial cost of construction, the chosen alternative would be the flexible pavement, however, when including all the costs along the useful life of the road in question, the alternative of concrete hydraulic it turns out to be the option of relatively low cost for volumes means and high. As long as the pavement with the help of asphalt prevails in traffics means and land with good quality.

Likewise the convenient thing is evidenced of exercising opportune interventions to guarantee the useful life of the pavement with the rising smaller discounted cost of maintenance and smaller operation costs.

INTRODUCCIÓN.

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de transporte de carga y viajeros, y la principal vía para la distribución de mercancías. Estas son indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo al conectar a los pueblos y comunidades con las grandes ciudades, y al fortalecer la integración de los países.

Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, en el que se intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y también el desarrollo social. En países como el nuestro, donde la red de carreteras es un costoso patrimonio nacional y el único medio de transporte terrestre, se hace necesario crear nueva inversiones en la construcción y conservación de este sistema vial como requisito para el desarrollo del país.

Desde el punto de vista técnico, todas las alternativas de pavimento pueden construirse en la Nicaragua de hoy. Sin embargo, no existe guía que permita establecer cual de las alternativas es la mejor, lo que sucede también desde el punto de vista económico, en donde se encuentran con serias dificultades para obtener datos relativos a los diferentes costos unitarios de los pavimentos, así como de la frecuencia y magnitud de su mantenimiento.

En este trabajo se pretende hacer un análisis sobre el comportamiento de los pavimentos asfálticos y de los rígidos, que junto con el análisis económico, se pueda presentar criterios que permitan optar por uno u otro en los proyectos carreteros.

Los rangos de aplicación de un determinado tipo de estructura de pavimentos para unas condiciones dadas, no son más que un criterio de selección de una estructura de pavimento, generalmente fundamentada en un análisis económico comparativo de los costos totales de una carretera durante toda su vida útil.

La selección de la superficie del pavimento sobre la base de costos iniciales es un enfoque que está siendo sustituido por uno de análisis de costo total durante la vida de servicio de pavimento, donde si se incluyen costos de mantenimiento y costos de operación.

El proceso de selección del pavimento a utilizar en la construcción o rehabilitación de carreteras es un tanto complejo y difícil, ya que no existen reglas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso que son muchas las variables que intervienen. Cuando existen diversos tipos de diseños de pavimentos se puede realizar una comparación de costos para ayudar a la determinación del tipo de pavimento más conveniente.

Considerando lo anterior se expondrá un proyecto que presente dicho análisis comparativo de costos directos de construcción utilizando estructuras de pavimentos flexibles (concreto asfáltico y tratamiento superficial doble) y pavimento rígido, para un caso específico del tramo Santa Rita – Izapa, con una longitud de 36 km., localizado en el departamento León.

Con el objetivo de determinar cuál es el tipo de pavimento más económico, cuando las variables que intervienen en el diseño de las estructura de pavimento son las mismas.

OBJETIVO GENERAL.

- ✓ REALIZAR UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN NICARAGUA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO Y EL USO ADECUADO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LAS DISTINTAS REGIONES DE NICARAGUA.
- ✓ CONOCER LOS ASPECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES, BASADO EN LOS COSTOS CONSTRUCTIVOS FINALES DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LOS MISMOS EN EL TRAMO DE CARRETERA SANTA RITA – IZAPA.

ÍNDICE DE TABLAS.

Capítulo II: Condiciones para el Diseño.

Tabla 2-1 Límite de peso por eje.	11
Tabla 2-2 Factor de distribución por dirección.	12
Tabla 2-3 Factor de distribución por carril.	12

Capítulo III: Evaluación de Subrasante.

Tabla 3-1 Cálculo de Daño Relativo (U_f).	21
---	----

Capítulo IV: Elementos de la estructura de pavimento.

Tabla 4-1 Requisitos de graduación para el residuo.	34
Tabla 4-2 Especificaciones del Cemento asfáltico.	37
Tabla 4-3 Granulometría del relleno mineral.	38
Tabla 4-4 Especificaciones de referencia.	38
Tabla 4-5 Métodos de prueba.	39
Tabla 4-6 Requisitos para las emulsiones asfálticas.	40
Tabla 4-7 Normas para emulsión asfáltica cationica modificada con polímeros.	41
Tabla 4-8 Especificaciones para el cemento Pórtland.	43

Capítulo V: Diseño de Espesores.

Tabla 5-1 Períodos de diseño.	46
Tabla 5-2 Espesores mínimos sugeridos.	49
Tabla 5-3 Factor de distribución por carril.	53
Tabla 5-4 Factor de crecimiento.	54
Tabla 5-5 Normas AASHTO y ASTM.	55
Tabla 5-6 Valor percentil por nivel de tránsito.	55
Tabla 5-7 Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima.	56
Tabla 5-8 Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases.	56
Tabla 5-9 Porcentajes de camiones en el carril de diseño.	60
Tabla 5-10 Número de carriles en una dirección.	60
Tabla 5-11 Valores de Z_r en función de la confiabilidad R.	61
Tabla 5-12 Niveles de confiabilidad R, en función del tipo de carretera.	62
Tabla 5-13 Confiabilidad y factores de seguridad recomendados.	62
Tabla 5-14 Calidad del drenaje.	63
Tabla 5-15 Valores de coeficiente de drenaje Cd.	63
Tabla 5-16 Valores de coeficiente de transmisión de carga J.	64
Tabla 5-17 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.	64
Tabla 5-18 Valores del factor de pérdida de soporte L_s por el tipo de subbase o base.	65
Tabla 5-19 Efecto de la subbase granular sobre los valores de k.	69
Tabla 5-20 Tasas anuales de crecimiento con sus correspondientes Factores de proyección.	70
Tabla 5-21 Resumen de especificaciones para colocación de juntas.	74

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Tabla 5-22 Resumen de especificaciones para colocación de dovelas.	75
Tabla 5-23 Materiales más comunes para sellados de juntas.	76
 Capítulo VI: Impacto Ambiental.	
Tabla 6-1 Potenciales impactos negativos y Medidas de Mitigación.	81
 Capítulo VII: Estudio de Caso.	
Tabla 7-1 Tipos y cantidad de ensayos ejecutados.	96
Tabla 7-2 Resumen de Bancos estudiados.	97
Cuadro N°1: Normas especiales de Diseño, Santa Rita – Nejapa.	98
Tabla 7-3 Volumen promedio de tránsito diario (vpd), Tramo Izapa – Santa Rita.	101
Tabla 7-4 Distribución Diaria de tránsito, Tramo Izapa – Santa Rita.	101
Tabla 7-5 Proyecciones y composición de TPDA (vpd). Izapa – Santa Rita – Nejapa.	102
Tabla 7-6 Resumen de asignaciones de tránsito.	103
Cuadro N°2: Factores de tráfico en el carril de Diseño.	103
Cuadro N°3: Peso promedio por tipo de vehículo.	104
Cuadro N°4: Pesos promedio por ejes.	104
Cuadro N°5: Factores de equivalencia (LEF).	105
Cuadro N°6: Cálculo de factores de ESAL por tipo de vehículo.	105
Cuadro N°7: Resumen de Factores ESAL/Tipo Vehículo.	106
Cuadro N°8: Ejes equivalentes para 20 años por sección.	106
Cuadro N°9: Resumen de módulo resilientes de Diseño.	110
Cuadro N°10: Resultados finales del Diseño. Paquete estructural del pavimento.	110
Tabla 7-7 Espesores mínimos para la carpeta y base granular.	111
Tabla 7-8 Análisis de Fatiga para ejes sencillos.	129
Tabla 7-9 Análisis de Fatiga para ejes tándem.	129
Alternativas de concreto asfáltico en caliente: Alternativa N°1.	131
Alternativas de concreto asfáltico en caliente: Alternativa N°2.	131
Alternativas de concreto asfáltico en caliente: Alternativa N°3.	132
Alternativa de concreto hidráulico.	132
Resumen de Costos de Alternativas.	132
Guardavía de viga “W” Flex Beam.	138
Cuentas revestidas de suelo cemento.	139
Subdrenes Tipos Francés de concreto de 6”.	140
Tabla 7-10 Cantidades de Obra.	142
Cuadro VIII.1: Costos del Mantenimiento Rutinario y periódico con proyecto.	145
Cuadro VIII.2: Costo Anual de Mantenimiento con proyecto.	146
Cuadro VIII.3: Costos del Mantenimiento Rutinario y periódico sin proyecto.	147
Cuadro VIII.4: Costo Anual de Mantenimiento sin proyecto.	148
 Anexos.	
Tabla 2-1 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes simples, Pt=2,0	219
Tabla 2-2 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tándem, Pt=2,0	220

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Tabla 2-3 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tridem, Pt=2,0	221
Tabla 2-4 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes simples, Pt=2,5	222
Tabla 2-5 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tándem, Pt=2,5	223
Tabla 2-6 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tridem, Pt=2,5	224
Tabla 2-7 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes simples, Pt=3,0	225
Tabla 2-8 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tándem, Pt=3,0	226
Tabla 2-9 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes tridem, Pt=3,0	227
Tabla 2-10 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes simples, Pt=2,0	228
Tabla 2-11 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tándem, Pt=2,0	229
Tabla 2-12 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tridem, Pt=2,0	230
Tabla 2-13 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes simples, Pt=2,5	231
Tabla 2-14 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tándem, Pt=2,5	232
Tabla 2-15 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tridem, Pt=2,5	233
Tabla 2-16 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes simples, Pt=3,0	234
Tabla 2-17 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tándem, Pt=3,0	235
Tabla 2-18 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, Ejes tridem, Pt=3,0	236
Tabla 7-1 Coeficientes de Drenaje para pavimentos flexibles (U_f).	261
Tabla 7-5 Esfuerzo equivalente del pavimento sin hombros de Concreto hidráulico (eje sencillo).	264
Tabla 7-6 Esfuerzo equivalente del pavimento sin hombros de Concreto hidráulico (eje tándem).	264
Tabla 7-7 Esfuerzo equivalente del pavimento con hombros de Concreto hidráulico (eje sencillo)	265
Tabla 7-8 Esfuerzo equivalente del pavimento con hombros de Concreto hidráulico (eje tándem)	265

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8.1 Vida Útil de las unidades de equipo según condición de servicio.	153
Cuadro 8.2 Valores de los coeficientes de proporcionalidad para el calculo De los costos de mantenimiento del equipo.	154
Cuadro 8.3 Rentas Horarias de equipos.	156
Cuadro 8.4 Tasas Salariales del Personal.	157
Cuadro 8.5 Costos de Materiales puestos en obra.	159
Cuadro 8.6 Resumen de costos estimados de construcción con impuestos.	162
Cuadro 8.7 Costos de Mantenimiento Rutinario y Periódico.	164
Cuadro 8.8 Costo Anual de Mantenimiento.	165
Cuadro 8.9 Costos de Supervisión.	166
Tabla 8-10 Descripción de Mano de Obra.	266
Tabla 8-11 Descripción de Equipo y Materiales en el proyecto.	292

ÍNDICE DE FIGURAS.

Capítulo III: Evaluación de Subrasante.

Figura 3-1 Módulo efectivo de Resiliencia de la subrasante para pavimentos Flexibles en función del criterio de serviciabilidad.	19
Figura 3-2 Correlación de CBR – Mr (Gráfica de Kentucky).	20
Figura 3-3 Módulo compuesto de reacción de la subrasante.	22
Figura 3-4 Cálculo del modulo de reacción de la subrasante para considerar Efectos de la fundación rígida cerca de la superficie.	24
Figura 3-5 Cálculo del Daño Relativo (Uf) en pavimentos rígidos, en función Del espesor de la losa y Módulo de Reacción de la Subrasante.	25
Figura 3-6 Corrección del Módulo efectivo de Reacción de la subrasante por La pérdida de apoyo de la sub.-base.	26

Capítulo IV: Elementos de la estructura de pavimento.

Figura 4-1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.	28
Figura 4-2 Esquema de los Pavimentos Flexibles.	28
Figura 4-3 Esquema de los Pavimentos Rígidos.	28
Figura 4-4 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.	35

Capítulo V: Diseño de Espesores.

Figura 5-1 Diseño de Número Estructural.	48
Figura 5-2 Procedimiento para determinar el espesor.	50
Figura 5-3 Localización de tensiones consideradas en el proceso de diseño.	52
Figura 5-4 Nomograma AASHTO.	59
Figura 5-5 Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos Y los diferentes ensayos.	68
Figura 5-6 Porcentaje de camiones en el carril de diseño en una carretera De varios carriles.	70
Figura 5-7 Detalle de Diámetros comerciales de dovelas, Respecto al espesor de losa.	76

Capítulo VII: Estudio de Caso.

Figura 7-1 Mapa de Localización del Proyecto en el Contexto Nacional.	91
Figura 7-2 Mapa de Ubicación en el Contexto Regional.	92
Figura 7-3 Croquis de las Secciones de Cada Proyecto.	100
Figura 7-4 Ubicación de Estaciones de Aforo.	102
Diseño de Alternativas I.	115

Comparación entre Técnico – Económica Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Diseño de Alternativas II.	120
Diseño de Alternativas III.	123
Diseño para Alternativa de Concreto Hidráulico.	130

Anexos.

Anexo II, Capítulo V.

Figura 5-1 Coeficiente estructural a partir del Módulo Elástico del concreto asfáltico.	237
Figura 5-2 Variación en el coeficiente estructural de la capa De concreto estructural.	238
Figura 5-3 Variación en el coeficiente estructural de la capa de base.	239
Figura 5-4 Variación en el coeficiente estructural de la capa de Base estabilizada.	240
Figura 5-5 Variación en el coeficiente estructural de la capa de sub.-base.	241
Figura 5-6 Espesor completo de concreto asfáltico.	242
Figura 5-7 Agregado de base de 150 milímetros de espesor.	243
Figura 5-8 Agregado de base de 300 milímetros de espesor.	244
Figura 5-9 Espesor completo del concreto asfáltico.	245
Figura 5-10 Agregado de base de 150 milímetros de espesor.	246
Figura 5-11 Agregado de base de 300 milímetros de espesor.	247
Figura 5-12 Espesor completo de concreto asfáltico.	248
Figura 5-13 Agregado de base de 150 milímetros de espesor.	249
Figura 5-14 Agregado de base de 300 milímetros de espesor.	250
Figura 5-15 Espesor completo de concreto asfáltico.	251
Figura 5-16 Agregado de base de 6 pulgadas de espesor.	252
Figura 5-17 Agregado de base de 12 pulgadas de espesor.	253
Figura 5-18 Espesor completo de concreto asfáltico.	254
Figura 5-19 Agregado de base de 6 pulgadas de espesor.	255
Figura 5-20 Agregado de base de 12 pulgadas de espesor.	256
Figura 5-21 Espesor completo de concreto asfáltico.	257
Figura 5-22 Agregado de base de 6 pulgadas de espesor.	258
Figura 5-23 Agregado de base de 12 pulgadas de espesor.	259
Figura 5-24 Nomograma para determinar el módulo de reacción Compuesto de la subrasante, suponiendo una realidad infinita.	260

Anexo III, Capítulo VII.

Figura 7-1 Nomograma para determinar el deterioro relativo (U_f).	261
Figura 7-2 Nomograma para corregir el Módulo de reacción efectivo Por pérdida potencial de soporte de la sub.-base.	262
Figura 7-4 Análisis de Fatiga. Repeticiones admisibles en función de la Relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto.	263

ABREVIATURAS

AASHTO	American Associations of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte).
ASTM	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para el ensayo de Materiales)
CBR	California Bearing Ratio (Valor Soporte California)
ESAL's	Equivalent Simple Axial Load (Ejes Equivalentes)
FWD	Falling Weigh Deflectometer (Prueba de Deflexión por Peso)
IP	Índice Plástico
IRI	International Rughnees Index o sea Índice Internacional de Rugosidad
LEF	Load Equivalent Factor
LP	Límite Plástico
LL	Límite líquido
Mk	Módulo de Reacción
Mr	Módulo de Resiliencia
PCA	Portland Cement Association (Asociación Del Cemento Portland)
PR	Penetration Rate (Tasa de Penetración Dinámica)
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
SN	Structural Number o sea Número Estructural
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual.

CAPÍTULO I.

CONDICIONES ACTUALES DE LOS PAVIMENTOS EN NICARAGUA.

1.1 Antecedentes.

De acuerdo al Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la Red Vial de Nicaragua tiene una extensión de aproximadamente 18,418.262 Km., distribuidos de la siguiente manera:

Tipo de Camino	Longitud (Km.) ¹
Adoquinado	163.146
Pavimentado	2,018.402
Revestido	2,764.268
Todo Tiempo	5,981.443
Estación Seca	<u>7,491.003</u>
Total	18,418.262

La Red Vial de Nicaragua ha estado estrechamente ligada al desarrollo económico del país. Desde 1939, año en que se dieron los primeros pasos para la construcción de la Carretera Panamericana, el ascenso de la Red Vial ha obedecido a la necesidad de explotar zonas o polos de desarrollo que a su vez necesitaban de la existencia de tan importante medio para lograr los objetivos planteados.

En el año de 1,945 se presentó un gran auge en la incorporación de carreteras en el país. En su gran mayoría, eran carreteras de tierra, transitables parcialmente en época seca y muy pocos caminos, quizás el 10%, tenían una cubierta de rodadura. Anteriormente a lo indicado, se habían iniciado gestiones para establecer oficinas que se encargaran de controlar el diseño, construcción, mantenimiento, atención de emergencias, control de transporte y en general, fuera el ente regulador sobre el que se definieran las políticas de desarrollo en todo lo concerniente a carreteras y al transporte por las mismas.

En Nicaragua, el transporte automotor por carretera es el medio más importante para la movilización, siendo este relevante en el intercambio comercial. En el año de 1,964 solo dos de cada tres toneladas utilizaban el transporte por carreteras y en 1,970 atendió al 94 % de la carga total. La red vial Nicaragüense en 1,960 implementó notablemente el espacio geográfico económico, lo que dio por resultado una ampliación del mercado y una protección efectiva de los productos centroamericanos frente a los provenientes del exterior.

Dicho de otra manera, la Red Vial ha provocado una disminución apreciable de los tiempos de recorrido entre los países del área. Para el año 1,970, comparando con los países centroamericanos, ya se contaba con un inventario de carreteras, según su tipo de rodadura.

¹: Fuente establecida por el MTI, composición de la Red Nacional año 2002.

De la Red Pavimentada el 35% de esta ha sido reconstruida a partir de 1995 con estructuras con carpetas de rodamiento de concreto asfáltico en caliente. El resto del pavimento esta tan dañado y sujeto a tantas reparaciones, bacheos y recarpeteos, que es imposible distinguir entre los diferentes tipos de pavimentos que originalmente fueron colocados, como por ejemplo, tratamiento superficial, concreto asfáltico, etc.

Como parte de los estudios necesarios a tener en cuenta a la hora de ejecutar un determinado proyecto, según el tipo de pavimento, se expondrá ha consideración un tramo de carretera, que mostrará la importancia del saber hacer un estudio de factibilidad y rentabilidad en la construcción de carreteras en el país. Entre los tramos de esta Red Vial se encuentra la carretera Santa Rita – Izapa la cual forma parte de un Corredor Natural. Fue reconstruida durante los años 1992 – 1994, con financiamiento del BCIE.

1.2 Diseños utilizados en Nicaragua.

De los años 1980 a la actualidad, los métodos o técnicas más utilizados en Nicaragua, fueron evolucionando a la par de los países centroamericanos basándose en la guía de diseño de la AASHTO, edición 1,986, para los pavimentos asfálticos e hidráulicos. Esta versión fue actualizada y publicada en 1993 y 2003, respectivamente. También para el diseño en concreto hidráulico, utilizan la guía de PCA (Portland Cement Association). A pesar de que la tendencia en Nicaragua, va encaminada hacia concretos asfálticos, en la actualidad se está incursionando en el uso de concreto hidráulico, por la razón de que han nivelado los precios de mercado y la realización de grandes inversiones de equipo y tecnología, por parte de empresas privadas.

La mayoría de las veces en la región utilizan sus propias especificaciones, básicamente para control y procedimiento de trabajos que se realizarán. Estas citan al libro de AASHTO en lo referente a especificaciones, de materiales y métodos a usar. En algunos otros casos utilizan ASTM. En las Especificaciones de SIECA (Secretaria de la Integración Económica Centroamericana), éstas hacen también mención a AASHTO para ciertos controles. En Nicaragua el que se ha designado como reglamento de construcción de caminos y carreteras ha sido el NIC – 2000.

1.3 Tránsito.

Respecto a normas que se han utilizado para definir pesos y dimensiones, en el país se han regido en las desarrolladas por SIECA y aprobadas en 1,958. En base a esto, cada quien realizaba sus modificaciones, de acuerdo a sus necesidades o requerimientos especiales.

El país ha generado sus propias tablas de clasificación vehicular y en el año 2,001, se han estandarizado a raíz de la actualización del Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, también realizado por SIECA. En la mayoría del país están haciendo esfuerzos en la implementación de control de pesos y dimensiones (básculas) para normar la circulación del tránsito pesado y regular de esta forma, las cargas sobre las cuales se diseñan, tanto carreteras como puentes.

La utilización del método para determinar ejes equivalentes para el diseño de pavimentos, es usado en todo el país según la región, sin embargo, el mayor problema observado es que, no se cuenta con controles de tránsito actualizados y en algunos casos no llenan los requerimientos técnicos para ayudar al diseñador a establecer las proyecciones futuras, ni factores para las conversiones necesarias.

1.4 Drenaje.

Para el diseño de pavimentos, en el país se ha llegado a utilizar el normativo definido en AASHTO, el cual delimita los coeficientes para el diseño y los factores que deben observarse con respecto al sistema de drenaje de las estructuras de pavimento.

En Nicaragua se ha manifestado la creación de sus propias normas, que consideran el régimen de lluvia de cada zona y coeficientes en base al tiempo (días – horas) que el agua se elimina de las capas granulares.

Con respecto al proyecto que se pretende ilustrar, éste posee un drenaje menor y mayor existente que se aprecia en buen estado.

1.5 Rehabilitación.

Respecto a las consideraciones estructurales que se utilizan para el diseño de sobre capas o recarpeteos de pavimentos en uso, este se efectúa cuando una vez finalizado el diseño, este experimenta su avance a lo largo de su vida útil haciendo énfasis en el soporte de los vehículos, y medios naturales que le rodean.

Por el cual la estructura de pavimento es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización, del pavimento existente en combinación con material de aporte si es necesario.

En este proceso, los materiales provenientes de los pavimentos existentes, formarán parte de la nueva estructura.

Pavimentos flexibles:

La rehabilitación de pavimentos flexibles se efectúa por medio de los procedimientos siguientes:

- *Escarificación, reconformación, compactación e Imprimación.*
- *Reciclaje y recuperación.*

Pavimentos rígidos:

- *Recuperación del pavimento de concreto hidráulico existente.*

En Nicaragua por su parte, se usan únicamente sellos de 3 centímetros de espesor. Básicamente lo utilizan para evitar filtraciones de agua a la estructura de pavimento existente²

²: Manual Centroamericano para diseño de pavimento 2002, Cap. 1, pág. 7.

En el caso del proyecto, se puede decir, que tiene la prioridad de ser rehabilitado debido a que este presenta un importante deterioro, con fallas de tipo estructural, tales como baches superficiales y profundos, piel de cocodrilo y fisuras, etc., debido a su mantenimiento y limpieza rutinaria.

1.6 Materiales.

En el país se han utilizado materiales explotados directamente de los proyectos viales en bancos de préstamo y en algunas veces se usa el canto rodado, aprobado por los entes supervisores o las Direcciones de Caminos responsables del proyecto.

En la mayoría de casos, se colocan plantas trituradoras, para mejor control granulométrico del material. En algunos casos, se tienen definidas zonas geológicas, en las que la clasificación de materiales para obras de ingeniería ya está establecida. Con la utilización de materiales no tradicionales o no convencionales para el diseño de pavimentos, tales como: polímeros, vidrio, chips de llantas, etc. no se observa mayor experiencia de su utilización, únicamente el uso de polímeros en lechadas asfálticas, sellos y micro-carpetas.

Según los materiales presentados en el proyecto Santa Rita – Izapa, estos varían desde el tipo A-1-a hasta A-7-5, siendo estos desde grava areno arcillosa de baja plasticidad hasta material arcilloso de alta plasticidad. El material más recurrente en el proyecto A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-2-7. Aunque se tiene que decir que el estado superficial de la carretera refleja el deficiente comportamiento estructural del pavimento. Es decir, existe una deficiencia de aportes de alguna o varias de las capas que conforman el paquete, lo que significa un reducido valor estructural remanente del camino existente.

1.7 Diseño versus lo construido.

Respecto a la variante resultante del diseño original de una carretera y lo construido, en el caso de Nicaragua si el proyecto se desfasa en el inicio de su ejecución, se revisa nuevamente el diseño estructural de acuerdo al tránsito y otras variables.

El Ministerio de Transporte no cuenta con una oficina que tenga control sobre si las carreteras han durado el tiempo para el que fueron diseñadas. Se coincide en que dada la falta de control en los pesos de los vehículos, estos procesos de deterioro se han acelerado considerablemente. En algunos casos, se cuenta con administración de Pavimentos, establecen parámetros iniciales, al concluirse una obra nueva o reconstruida, a partir de los cuales, pueden obtenerse niveles de servicio (IRI, Índice de serviciabilidad, etc.) cada cierto tiempo y así observar su grado de deterioro en el futuro.

Con respecto al proyecto en sí, se comparará por medio del diseño estructural y base económica, qué tipo de pavimento a realizarse, podrá ser un mejor prospecto al tipo de carretera existente.

1.8 Mantenimiento.

El mantenimiento de una carretera se describe generalmente como el conjunto de actividades que se ejecutan con el objeto de mantener la misma en forma estructural satisfactoria y en condiciones de operación similares a las previstas en el diseño, y asegurar a los usuarios una operación cómoda y segura.

El mantenimiento no solo debe preservar la carretera, sino también debe prevenir su deterioro y no debería ser tomado como una acción temporaria, sino como una inversión necesaria y continúa para prevenir reparaciones costosas y asegurar la obtención de los beneficios anticipados en la planificación vial.

Las diversas operaciones de mantenimiento requeridas pueden ser divididas en aquellas actividades anualmente, en forma continua, que pueden ser denominadas mantenimiento de Rutina o Preventivo, y aquellas que solo deben ser realizadas periódicamente denominadas Mantenimiento Periódico.

En lo que se refiere al FOMAV (Fondo de Mantenimiento Vial), un mantenimiento Rutinario y Periódico prolonga sustancialmente la vida útil de los pavimentos, sin importar el tipo de rodadura que posea; sin embargo, se comenta que en algunos casos, las actividades de mantenimiento no son sostenibles y muchas veces se realizan únicamente de manera reactiva, al haber fallas que ocasionan daño a los usuarios.

Debe resaltarse el hecho de que un buen mantenimiento rutinario y periódico siempre costara menos que la rehabilitación de una carretera deteriorada por falta de este.

En general, en muchas carreteras, el mantenimiento rutinario sirve únicamente para mantener habilitada la ruta sin baches, aunque con un alto grado de incomodidad en la conducción, dado lo avanzado del deterioro que algunas vías presentan.

CAPÍTULO II.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.

Introducción.

Debido a que las carreteras, como infraestructura del transporte terrestre, son construidas para permitir el traslado de personas y bienes de un sitio a otro, agregándoles utilidad como tales y cumpliendo una función económica o social, la meta de la Ingeniería de Carreteras y de Tráfico es la de proveer al transporte vías e instalaciones que faciliten el flujo eficiente, cómodo y seguro a los usuarios, que vienen a ser los vehículos automotores y, complementaciones, a los peatones y vehículos no convencionales (motocicletas, bicicletas, carreras de tracción animal, etc.).

Actualmente, la función de tráfico no se limita a proveer equilibrio entre los vehículos, el conductor y la vía de circulación sino que esos tres elementos del tráfico tienen que incluir al entorno que constituye una limitante que obliga a cada uno de los elementos del tráfico e incide considerablemente en los costos del transporte, pero, al mismo tiempo, garantizando comodidad, bienestar y seguridad a la comunidad viviente (calidad ambiental) a fin de que, como resultado neto del transporte, se obtenga un verdadero desarrollo integral.

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que éste se incrementa conforme el desarrollo tecnológico, económico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas.

Por ello, es necesaria la selección de apropiados factores para el diseño estructural de los diferentes tipos de pavimentos, por lo que deberá tomarse en cuenta la clasificación de la carretera dentro de la Red Vial, la selección de los diferentes tipos de materiales a utilizarse, el tránsito y los procesos de construcción.

En los siguientes capítulos, se encontrarán diferentes métodos para la determinación de los factores de diseño y su uso. Es necesario tener conocimiento sobre el tránsito, medio ambiente y condiciones de la subrasante para la cantidad de vehículos que circula en las carreteras, adicionalmente la calidad de materiales y especificaciones o normas de construcción son requeridas para mejorar el rendimiento de ellas por muchos períodos de tiempo.

2.1 Criterios de diseño.

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de Elasticidad.

La evaluación de tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80 kN (18,000 lb.) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles.

Para propósitos de análisis estas dobles llantas equivalen a dos platos circulares con un radio de 115 mm ó 4.52'' espaciados 345 mm ó 13.57'' centro a centro, correspondiéndole 80 kN ó 18,000 lbs. de carga al eje y 483 kPa ó 70 PSI de presión de contacto sobre la superficie.

Este procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y sub.-bases. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

2.2 Características de los Materiales.

Todos los materiales están caracterizados por el Módulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas; Módulo de Resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos.

El Módulo Dinámico en mezclas de asfalto es dependiente de la temperatura sobre el pavimento. Para simular los efectos de temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas.

El Módulo Dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un período de seis meses es el utilizado para la elaboración de las tablas de diseño, ya que períodos de fraguado arriba de los 24 meses no tienen ninguna influencia significativa sobre el espesor que se muestra en las tablas de diseño.

En el caso de suelos estabilizados, las características mecánicas de los materiales cambian sustancialmente con la aplicación de productos estabilizadores, ya que el módulo de resiliencia se incrementa en valores apreciables. Es necesario, que al utilizar productos estabilizadores de suelos, se efectúen los correspondientes estudios de laboratorio, para determinar los límites adecuados de las cantidades o porcentajes hasta los cuales puede llegar su uso.

Cuando se utiliza cemento como material estabilizador, es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, en función de los cambios físicos que experimentan los suelos, ya que una cantidad alta de cemento, hace que los materiales obtengan valores altos de resistencia mecánica, pero también contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos, nada deseables para la estructura de pavimento, por el hecho de que estas grietas se reflejarán posteriormente en la superficie de rodadura.

Al utilizar otro tipo de estabilizadores, tales como: Cal, Bitúmenes, puzolanas, químicos, etc. también es necesario efectuar pruebas de laboratorio para analizar cuáles son las limitantes de uso de cada producto. Para estos últimos, la reacción de los suelos al aplicar este tipo de estabilizadores, es más benigna por los efectos de contracción y se obtendrán capacidades de esfuerzos menores, dependiendo de la cantidad de producto utilizado, por lo que se producirán grietas más pequeñas, las cuales no tendrán una influencia significativa en el comportamiento de las mismas.

Otras ventajas que se obtienen con los productos estabilizadores, es que puede utilizar más de uno a la vez, lo que redundará en beneficio del material estabilizado, por el hecho de obtener en la mezcla mejores características de comportamiento, como son: resistencia en poco tiempo, impermeabilidad, reducción en los límites de consistencia, grietas muy pequeñas, etc.

Por ejemplo, un material de base que es necesario colocar en un área húmeda o con lluvias frecuentes, se puede utilizar una parte de cemento y otra de cal, lo que permitirá obtener una mezcla con una resistencia inicial adecuada pero sin agrietarse por efecto del cemento, pero la cal le seguirá incrementando su resistencia, aparte de las otras ventajas ya mencionadas.

También es factible el uso de cemento con emulsión asfáltica para mejorar las condiciones de una base, mejorando su capacidad soporte y por ende su módulo de resiliencia; además de obtener un material que soporta en mejor forma los efectos de la humedad. En general se puede concluir, que cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura de pavimento, tales como subrasantes, sub.-bases y bases que cumplan con las exigencias ó especificaciones, y que económicamente sea necesario recurrir al uso de productos estabilizadores, es conveniente que los materiales de cada una de las capas ya estabilizadas estén acorde con la capacidad de esfuerzo de las otras capas contiguas, ya que no es conveniente que una capa sea rígida y otra flexible o que una capa impermeable quede bajo una permeable.

2.3 Costos del ciclo de vida.

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio de costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimentos diseñados, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimentos más convenientes a construir, tomando también en consideración las políticas de mantenimiento.

2.4 Volúmenes de tránsito.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Los aforos se realizan con el objeto de:

1. Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
2. Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan dentro de ella.
3. Evaluar índices de accidentes.
4. Servir de base para la clasificación de caminos.
5. Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.

6. Proyectar sistemas de control de tránsito.
7. Elaborar sistemas de mantenimiento.
8. Establecer prioridades y técnicas de construcción.
9. Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito medio diario general y el tránsito medio diario de camiones. Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos los cuales presentan los objetivos antes descritos.

Existen mapas de volumen de tránsito que muestran en determinados lugares el número de vehículos diarios, pero es más exacto el efectuar el aforo o censo en un lugar específico; **es necesario que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta hasta donde sea posible los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán más adelante con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectada.**

El tránsito cambia según el día de la semana, cambia según la semana del mes, cambia según la estación o época del año, cambia según los días de descanso o asueto, etc. Por lo que es necesario hasta donde sea posible, contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

Dentro de estas consideraciones también es necesario conocer las tasas de crecimiento o incremento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

2.5 Consideraciones para el cálculo de ejes equivalentes.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHO es de 80 kN o 18 Kíps y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga **LEF** (Load Equivalent Factor). El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de **ESAL's** de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHO. Para este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index).

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

Po= 4.5 para pavimentos rígidos
Po= 4.2 para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes
Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/Km.) o pulgada por milla (plg./milla).

Para correlacionar el Índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula¹:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)}$$

En donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad

IRI = Índice Internacional de Rugosidad

e = 2.71828183 (base de los logaritmos neperianos)

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es **pulgadas por milla**.

Factor Equivalente de Carga (LEF)

Es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

$$LEF = \frac{\text{No. de ESAL's de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. De ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

¹: Desarrollada en el Departamento de Transportes de Chicago, Illinois. USA.

**Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.**

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEF's también cambian en función del tipo de pavimento. Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF's y que también cambia según el SN (Structural Number, número estructural) en pavimentos flexibles y según el espesor de la losa en pavimentos rígidos, además que también cambia según el valor del índice de serviciabilidad asumido para el diseño.

Entonces, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario **asumir** en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se van a imponer; también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera².

2.6 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño.

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo, según tabla³.

**Tabla 2.1
Límite de peso por eje.**

Tipo de vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semirremolque			Total toneladas
	Eje de tracción				Eje de arrastre			
	Eje simple direccional	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5.00	10.00						15.00
C3	5.00		16.50					21.50
C4	5.00			20.00				25.00
T2-S1	5.00	9.00			9.00			23.00
T2-S2	5.00	9.00				16.00		30.00
T2-S3	5.00	9.00					20.00	34.00
T3-S1	5.00		16.00		9.00			30.00
T3-S2	5.00		16.00			16.00		37.00
T3-S3	5.00		16.00				20.00	41.00
Otros	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

²: Ver Tablas de Factores Equivalentes de Cargas, Anexos I.

³: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, SIECA, 2000. Resolución 02-01.

2.7 Factor de distribución por dirección.

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc.

Número de carriles en ambas direcciones.	% de camiones en el carril de diseño.
2	50
4	45
6 ó más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

2.8 Factor de distribución por carril.

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

Número de carriles en una sola dirección	% de camiones en el carril de diseño
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

CAPÍTULO II.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.

Introducción.

Debido a que las carreteras, como infraestructura del transporte terrestre, son construidas para permitir el traslado de personas y bienes de un sitio a otro, agregándoles utilidad como tales y cumpliendo una función económica o social, la meta de la Ingeniería de Carreteras y de Tráfico es la de proveer al transporte vías e instalaciones que faciliten el flujo eficiente, cómodo y seguro a los usuarios, que vienen a ser los vehículos automotores y, complementaciones, a los peatones y vehículos no convencionales (motocicletas, bicicletas, carreras de tracción animal, etc.).

Actualmente, la función de tráfico no se limita a proveer equilibrio entre los vehículos, el conductor y la vía de circulación sino que esos tres elementos del tráfico tienen que incluir al entorno que constituye una limitante que obliga a cada uno de los elementos del tráfico e incide considerablemente en los costos del transporte, pero, al mismo tiempo, garantizando comodidad, bienestar y seguridad a la comunidad viviente (calidad ambiental) a fin de que, como resultado neto del transporte, se obtenga un verdadero desarrollo integral.

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que éste se incrementa conforme el desarrollo tecnológico, económico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas.

Por ello, es necesaria la selección de apropiados factores para el diseño estructural de los diferentes tipos de pavimentos, por lo que deberá tomarse en cuenta la clasificación de la carretera dentro de la Red Vial, la selección de los diferentes tipos de materiales a utilizarse, el tránsito y los procesos de construcción.

En los siguientes capítulos, se encontrarán diferentes métodos para la determinación de los factores de diseño y su uso. Es necesario tener conocimiento sobre el tránsito, medio ambiente y condiciones de la subrasante para la cantidad de vehículos que circula en las carreteras, adicionalmente la calidad de materiales y especificaciones o normas de construcción son requeridas para mejorar el rendimiento de ellas por muchos períodos de tiempo.

2.1 Criterios de diseño.

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de Elasticidad.

La evaluación de tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80 kN (18,000 lb.) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles.

Para propósitos de análisis estas dobles llantas equivalen a dos platos circulares con un radio de 115 mm ó 4.52'' espaciados 345 mm ó 13.57'' centro a centro, correspondiéndole 80 kN ó 18,000 lbs. de carga al eje y 483 kPa ó 70 PSI de presión de contacto sobre la superficie.

Este procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y sub.-bases. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

2.2 Características de los Materiales.

Todos los materiales están caracterizados por el Módulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas; Módulo de Resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos.

El Módulo Dinámico en mezclas de asfalto es dependiente de la temperatura sobre el pavimento. Para simular los efectos de temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas.

El Módulo Dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un período de seis meses es el utilizado para la elaboración de las tablas de diseño, ya que períodos de fraguado arriba de los 24 meses no tienen ninguna influencia significativa sobre el espesor que se muestra en las tablas de diseño.

En el caso de suelos estabilizados, las características mecánicas de los materiales cambian sustancialmente con la aplicación de productos estabilizadores, ya que el módulo de resiliencia se incrementa en valores apreciables. Es necesario, que al utilizar productos estabilizadores de suelos, se efectúen los correspondientes estudios de laboratorio, para determinar los límites adecuados de las cantidades o porcentajes hasta los cuales puede llegar su uso.

Cuando se utiliza cemento como material estabilizador, es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, en función de los cambios físicos que experimentan los suelos, ya que una cantidad alta de cemento, hace que los materiales obtengan valores altos de resistencia mecánica, pero también contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos, nada deseables para la estructura de pavimento, por el hecho de que estas grietas se reflejarán posteriormente en la superficie de rodadura.

Al utilizar otro tipo de estabilizadores, tales como: Cal, Bitúmenes, puzolanas, químicos, etc. también es necesario efectuar pruebas de laboratorio para analizar cuáles son las limitantes de uso de cada producto. Para estos últimos, la reacción de los suelos al aplicar este tipo de estabilizadores, es más benigna por los efectos de contracción y se obtendrán capacidades de esfuerzos menores, dependiendo de la cantidad de producto utilizado, por lo que se producirán grietas más pequeñas, las cuales no tendrán una influencia significativa en el comportamiento de las mismas.

Otras ventajas que se obtienen con los productos estabilizadores, es que puede utilizar más de uno a la vez, lo que redundará en beneficio del material estabilizado, por el hecho de obtener en la mezcla mejores características de comportamiento, como son: resistencia en poco tiempo, impermeabilidad, reducción en los límites de consistencia, grietas muy pequeñas, etc.

Por ejemplo, un material de base que es necesario colocar en un área húmeda o con lluvias frecuentes, se puede utilizar una parte de cemento y otra de cal, lo que permitirá obtener una mezcla con una resistencia inicial adecuada pero sin agrietarse por efecto del cemento, pero la cal le seguirá incrementando su resistencia, aparte de las otras ventajas ya mencionadas.

También es factible el uso de cemento con emulsión asfáltica para mejorar las condiciones de una base, mejorando su capacidad soporte y por ende su módulo de resiliencia; además de obtener un material que soporta en mejor forma los efectos de la humedad. En general se puede concluir, que cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura de pavimento, tales como subrasantes, sub.-bases y bases que cumplan con las exigencias ó especificaciones, y que económicamente sea necesario recurrir al uso de productos estabilizadores, es conveniente que los materiales de cada una de las capas ya estabilizadas estén acorde con la capacidad de esfuerzo de las otras capas contiguas, ya que no es conveniente que una capa sea rígida y otra flexible o que una capa impermeable quede bajo una permeable.

2.3 Costos del ciclo de vida.

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio de costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimentos diseñados, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimentos más convenientes a construir, tomando también en consideración las políticas de mantenimiento.

2.4 Volúmenes de tránsito.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Los aforos se realizan con el objeto de:

1. Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
2. Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan dentro de ella.
3. Evaluar índices de accidentes.
4. Servir de base para la clasificación de caminos.
5. Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.

6. Proyectar sistemas de control de tránsito.
7. Elaborar sistemas de mantenimiento.
8. Establecer prioridades y técnicas de construcción.
9. Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito medio diario general y el tránsito medio diario de camiones. Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos los cuales presentan los objetivos antes descritos.

Existen mapas de volumen de tránsito que muestran en determinados lugares el número de vehículos diarios, pero es más exacto el efectuar el aforo o censo en un lugar específico; **es necesario que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta hasta donde sea posible los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán más adelante con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectada.**

El tránsito cambia según el día de la semana, cambia según la semana del mes, cambia según la estación o época del año, cambia según los días de descanso o asueto, etc. Por lo que es necesario hasta donde sea posible, contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

Dentro de estas consideraciones también es necesario conocer las tasas de crecimiento o incremento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

2.5 Consideraciones para el cálculo de ejes equivalentes.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHO es de 80 kN o 18 Kíps y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga **LEF** (Load Equivalent Factor). El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de **ESAL's** de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHO. Para este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index).

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

Po= 4.5 para pavimentos rígidos
Po= 4.2 para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes
Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/Km.) o pulgada por milla (plg./milla).

Para correlacionar el Índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula¹:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)}$$

En donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad

IRI = Índice Internacional de Rugosidad

e = 2.71828183 (base de los logaritmos neperianos)

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es **pulgadas por milla**.

Factor Equivalente de Carga (LEF)

Es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

$$LEF = \frac{\text{No. de ESAL's de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. De ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

¹: Desarrollada en el Departamento de Transportes de Chicago, Illinois. USA.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEF's también cambian en función del tipo de pavimento. Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF's y que también cambia según el SN (Structural Number, número estructural) en pavimentos flexibles y según el espesor de la losa en pavimentos rígidos, además que también cambia según el valor del índice de serviciabilidad asumido para el diseño.

Entonces, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario **asumir** en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se van a imponer; también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera².

2.6 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño.

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo, según tabla³.

**Tabla 2.1
Límite de peso por eje.**

Tipo de vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semirremolque			Total toneladas
	Eje de tracción				Eje de arrastre			
	Eje simple direccional	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5.00	10.00						15.00
C3	5.00		16.50					21.50
C4	5.00			20.00				25.00
T2-S1	5.00	9.00			9.00			23.00
T2-S2	5.00	9.00				16.00		30.00
T2-S3	5.00	9.00					20.00	34.00
T3-S1	5.00		16.00		9.00			30.00
T3-S2	5.00		16.00			16.00		37.00
T3-S3	5.00		16.00				20.00	41.00
Otros	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

²: Ver Tablas de Factores Equivalentes de Cargas, Anexos I.

³: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, SIECA, 2000. Resolución 02-01.

2.7 Factor de distribución por dirección.

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc.

Número de carriles en ambas direcciones.	% de camiones en el carril de diseño.
2	50
4	45
6 ó más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

2.8 Factor de distribución por carril.

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

Número de carriles en una sola dirección	% de camiones en el carril de diseño
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

CAPÍTULO III.

EVALUACIÓN DE SUBRASANTES.

Introducción.

La Subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce como Módulo de Resiliencia (Mr).

Inicialmente cuando se comenzaron a efectuar los primeros diseños de pavimento, este concepto estaba basado en las propiedades de la subrasante tales como:

1. Granulometría
2. Plasticidad
3. Clasificación de suelos
4. Resistencia al corte
5. Susceptibilidad a las variaciones de temperatura
6. Drenaje

Posteriormente se tomaron en cuenta las propiedades básicas de la subrasante y se analizaron otro tipo de ensayos que permitieran conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos. Se efectuaron ensayos utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, ensayos de compresión simple. Estos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el del módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad. La calidad de los suelos en el caso de las subrasantes, se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson¹, valor soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante.

3.1 Propiedades físico-mecánicas de los suelos para subrasante.

La subrasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento. Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc., Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos.

¹: Modulo de Elasticidad.

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

1. Granulometría
2. Límites de Atterberg (líquido e índice plástico)
3. Valor Soporte (CBR)
4. Densidad (Proctor)
5. Humedad

Con los datos obtenidos, se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

3.2 Clasificación de suelos.

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico - mecánicas que tienen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la clasificación de AASHTO M-145; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad. En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- ✓ **Grava:** de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm)
- ✓ **Arena Gruesa:** de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No.40 (0.425 mm)
- ✓ **Arena Fina:** de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz No.200 (0.075 mm)
- ✓ **Limos y Arcillas:** tamaños menores de 0.075 mm

Conforme AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7. Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz No. 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

! **Límite Líquido o LL²:** Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido.

! **Límite Plástico o LP²:** Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo.

! **Índice Plástico o IP²:** es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

De lo descrito anteriormente, se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg. La relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado, es una situación muy importante que se requiere al analizar las propiedades del mismo.

²: Rico y del Castillo, La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres, México, 1,992.

Para el efecto se desarrollaron los ensayos Proctor, AASHTO T-99 (estándar) y T-180 (modificado) y son los que permiten determinar la humedad óptima o sea la humedad ideal en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas. El valor de esta humedad óptima depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el suelo; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

3.3 Ensayos de suelos.

Existen diferentes métodos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante que han sido sometidos a cargas dinámicas de tránsito, entre los cuales están los siguientes:

- * Relación de Valor Soporte de California (CBR, California Bearing Ratio).
- * Valor de resistencia Hveem (Valor R).
- * Ensayo de plato de carga (Valor k)
- * Penetración dinámica con cono.
- * Módulo de resiliencia (Mr) para pavimentos flexibles.
- * Módulo de reacción (Mk) para pavimentos rígidos.

a) Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193).

En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3plg². de área en una muestra de suelo de 6 plg. (15 cm) de diámetro y 5 plg. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.5 plg. /min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra patrón}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4 % en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR's de los suelos bajo las condiciones más críticas.

En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

b) Valor de resistencia HVEEM (Valor R, AASHTO T-246).

Este ensayo consiste en preparar una muestra cilíndrica de 4” de diámetro y 2.5” de alto envuelta en una membrana y sometida a carga vertical sobre la sección completa de la muestra a una presión dada; con esto se mide la presión horizontal resultante, que es la que sirve para calcular el valor R, para lo cual se utiliza la siguiente formula:

$$R = 100 - \frac{100}{\left(\frac{2.5 (P_x - 1)}{D \times P_h} \right) + 1}$$

En donde:

P_x= Carga vertical aplicada

P_h= Presión horizontal en el manómetro

D= Desplazamiento horizontal de la muestra, registrado por el número de vueltas de la manivela para pasar de P_h a 7 kg/cm² (100 lbs/plg²)

Los valores que se obtienen en estos ensayos de laboratorio, han sido correlacionados con los ensayos de CBR, según se muestra en la Figura 5-5 del capítulo V.

c) Ensayo de plato de carga (Valor k, AASHTO T-222).

Este ensayo consiste en cargar un plato y medir la presión necesaria para producir una determinada deformación en el suelo. k es el cociente de dividir la presión (p) aplicada entre de la deformación (Δ) producida en el suelo.

$$k = p/\Delta$$

El valor k esta en función del plato de carga, ya que los de diámetro igual a 91.4 cm (36”) se usan para pavimentos rígidos y los de 30.5 o 45.7 (12” a 18”) para pavimentos flexibles.

d) Penetración dinámica PR con cono.

Este ensayo sirve para medir en el terreno, la resistencia que tienen los materiales, tanto de estructuras de pavimento como de subrasantes. La operación consiste en hacer penetrar el cono dentro del pavimento o suelo, haciendo que una carga concentrada que funciona como martillo se deje caer repetidamente y se registre la penetración obtenida en cada caída en mm/golpe, denominado cada valor como tasa de penetración dinámica = PR (Penetration Rate).

El CBR está relacionado con PR en la siguiente forma:

$$\text{CBR} = 405.3 / \text{PR}^{1.259} \text{ para conos a } 60^\circ$$
$$\text{CBR} = 2.2 - 0.71 \text{ Log (DCP)}^{1.3} \text{ para conos a } 30^\circ$$

En donde:

PR = tasa de penetración en mm/golpe

DCP = tasa de penetración en plg/golpe

e) Módulo de resiliencia (Mr, AASHTO T – 294).

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito. Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a estas fuerzas, cada capa de pavimento se deforma; el resultado de estas fuerzas de reacción varía desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo.

Este ensayo no es destructivo de la muestra, ya que estas no fallan durante el análisis. Dichas muestras son de forma cilíndrica y se colocan en una cámara triaxial, la cual permite ejercer innumerables presiones de confinamiento a la muestra; con un dispositivo especial es posible aplicar cargas pulsantes de diferente magnitud y duración. En dicho ensayo se registra la deformación sufrida por la muestra.

En el ensayo se siguen las directrices de AASHTO T-294-92, el cual se divide en dos procedimientos, como sigue:

- a) Para materiales tipo 1 o sea materiales granulares no ligados y subrasantes con menos del 70% de pasa tamiz No. 10 y menos del 20 % pasa tamiz No. 200; y
- b) para materiales tipo 2 o sea subrasantes que no cumplen con los requerimientos del tipo 1, tales como los suelos A-4, A-5, A-6, A-7 y en algunos casos los A-1-b, A-2 y A-3.

Este ensayo del módulo de resiliencia es más sensible a las propiedades de los suelos que otros ensayos de resistencia; una cualidad de este ensayo, es que al no romperse la muestra, ésta se puede someter a varios tipos de tensiones, lo que permite ahorrar tiempo en la preparación de otras, reduciendo errores. Las muestras se pueden preparar con diferentes contenidos de humedad, así como diferentes valores de compactación.

El contenido de humedad de un suelo tiene un fuerte impacto en el valor del módulo de resiliencia, ya que éste disminuye cuando se incrementa el contenido de humedad y obliga a hacer ajustes en los valores del módulo cuando el pavimento se satura en determinada época climatológica. Aparte de la humedad, también la temperatura incide fuertemente, ya que existen zonas en las cuales los suelos son sometidos a períodos de congelación y deshielo; cuando esto sucede, se establece la relación de que a mayor número de períodos de congelación y deshielo también será mayor la pérdida del módulo de resiliencia.

Por el tipo de pruebas, es muy difícil dar valores típicos del módulo de resiliencia para cada uno de los tipos de suelo, ya que este valor no solo está afectado por las diferentes formas de construcción sino que también por el tipo de suelo, granulometría, contenido de humedad, etc.. Es conveniente tratar de tener para cada área de construcción, el análisis de los suelos predominantes, con el objeto de que para otros proyectos se puedan correlacionar los módulos de resiliencia.

e.1) Módulo de resiliencia (Mr) para pavimentos flexibles.

En el método de AASHTO (1986 y 1993), el módulo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor k) para el diseño de pavimentos rígidos. En este método de AASHTO se deben usar los valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, ya que la incertidumbre de la confiabilidad (R) debe tomarse en cuenta.

Como la humedad en la subrasante es variable en el transcurso del año, es necesario hacer el estudio de la variación del módulo de resiliencia (Mr) con respecto a la humedad y poder determinar un Mr promedio de diseño, para lo cual debe procederse así:

- I. Es necesario efectuar ensayos de Mr en el laboratorio, sobre muestras de suelo que representen las condiciones de tensión y humedad que simulen bajo las cuales estarán en el transcurso del año. Con estas pruebas se establece una relación en el laboratorio, de las condiciones entre el módulo de resiliencia y la humedad.
- II. Se determina el módulo de resiliencia en el lugar, por medio de las deflexiones obtenidas en los pavimentos; el módulo de resiliencia se ajusta para analizar las posibles diferencias que existen entre los resultados de laboratorio y los obtenidos en el lugar.
- III. Es posible estimar valores normales (en época seca) del módulo de resiliencia, en función de las propiedades conocidas de los suelos y utilizar relaciones empíricas para calcular las variaciones conforme las épocas del año; El módulo de resiliencia en la época del deshielo es entre un 10 a un 20 % menor que el Mr normal y cuando es suelo congelado éste varía hasta dos veces su valor, mayor que el normal.

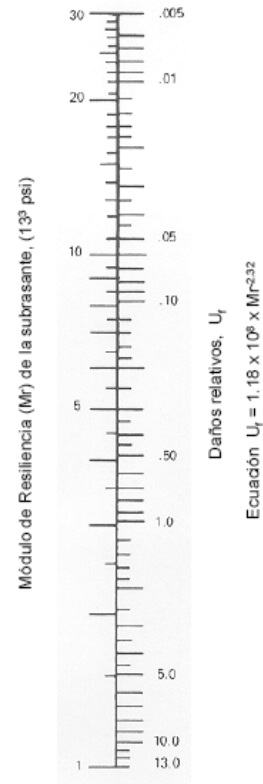
Considerando lo anterior como base, el año se divide en períodos en los cuales el Módulo de resiliencia (Mr) se mantiene constante; dichos períodos no pueden ser menores de 15 días. Con cada valor del Módulo de resiliencia (Mr) se determina mediante la Figura 3-1 el valor del Daño Relativo (Uf) o puede usarse la siguiente fórmula:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$$

Figura 3 – 1

Modulo efectivo de Resiliencia de la subrasante para pavimentos flexibles en función del criterio de serviciabilidad.

No.	Meses	Módulo de la subrasante Mr (PSI)	Daño Relativo U _f
1	Enero	20,000	0.012402
2	Febrero	20,000	0.012402
3	Marzo	2,500	1.544049
4	Abril	4,000	0.518923
5	Mayo	4,000	0.518923
6	Junio	7,000	0.141662
7	Julio	7,000	0.141662
8	Agosto	7,000	0.141662
9	Septiembre	7,000	0.141662
10	Octubre	7,000	0.141662
11	Noviembre	4,000	0.518923
12	Diciembre	20,000	0.012402
		Suma U_f	3.846336
		U_f promedio	0.3205280039



Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO, 1,993 y datos calculados, conforme la ecuación U_f

Seguidamente, se determina el daño relativo medio anual, para lo cual se suman todos los U_f y se divide entre el número de meses tomados en cuenta. El Módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante es el correspondiente al U_f medio y éste será el valor a considerar para el diseño del pavimento flexible, siendo en el presente caso igual a 4,800.

Convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (Mr) con el CBR, el valor R y el índice de suelo. Se han dado correlaciones para encontrar el valor del módulo de resiliencia (Mr) como la siguiente relación:

$$M_r = B \times CBR$$

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

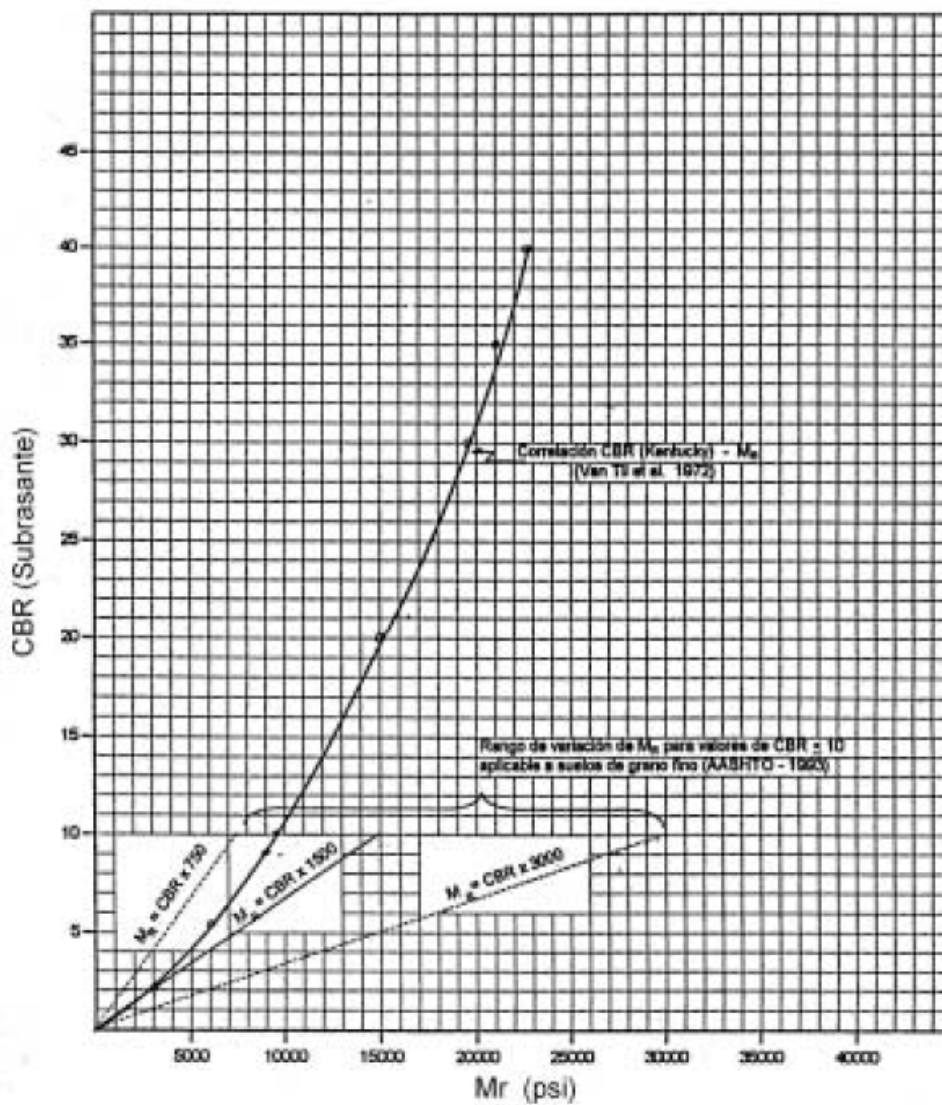
Este valor está desarrollado si el CBR < 10%, en donde B = 1500 pero este valor puede variar entre 750 y 3000 para un Mr en PSI, según Figura 3-2.

Con respecto al valor R (Resistencia) de Hveem se tiene:

$$M_r = A + B \times R$$

Si $R < 20$, A vale 1000, B vale 555, pero A puede variar entre 772 y 1155 y B entre 369 y 555.

Figura 3 – 2
Correlación CBR – Mr (Gráfica de Kentucky).



Fuente: Van Til, C. J. B. F. McCollough, B. A. Vallergera, and R. G. Hicks. 1972. evaluation of AASHTO interim Guides for Design of Pavement structures. NCHRP report 128.

f) Módulo de reacción (Mk) para pavimentos rígidos.

El módulo de reacción de la subrasante, sirve para el diseño de pavimentos rígidos; y para la determinación del valor efectivo de Mk, debe proceder así:

Es conveniente asumir combinaciones de los diferentes datos que son necesarios para el cálculo del módulo de reacción de la subrasante, los cuales deberán ser considerados como sigue:

- I. Tipo de Sub.-bases con resistencias y valores del módulo.
- II. Espesor de la Sub.-base.
- III. Pérdida de soporte (LS).
- IV. Profundidad a la fundación rígida.
- V. Espesor estimado de la losa.

EJEMPLO: Cálculo para obtener el Módulo de reacción de la subrasante para pavimentos rígidos:

Datos

Tipo de Subbase	Granular
Espesor de la Subbase (plgs)	6
Pérdida de soporte (LS)	10
Profundidad a la fundación rígida (pies)	5
Espesor de losa proyectado (plgs)	9

Para cada combinación de datos que se efectúe cambiando los factores, es necesario hacer una tabla similar a la Tabla 3-1, separada para cada uno y poder determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante.

Tabla 3 – 1

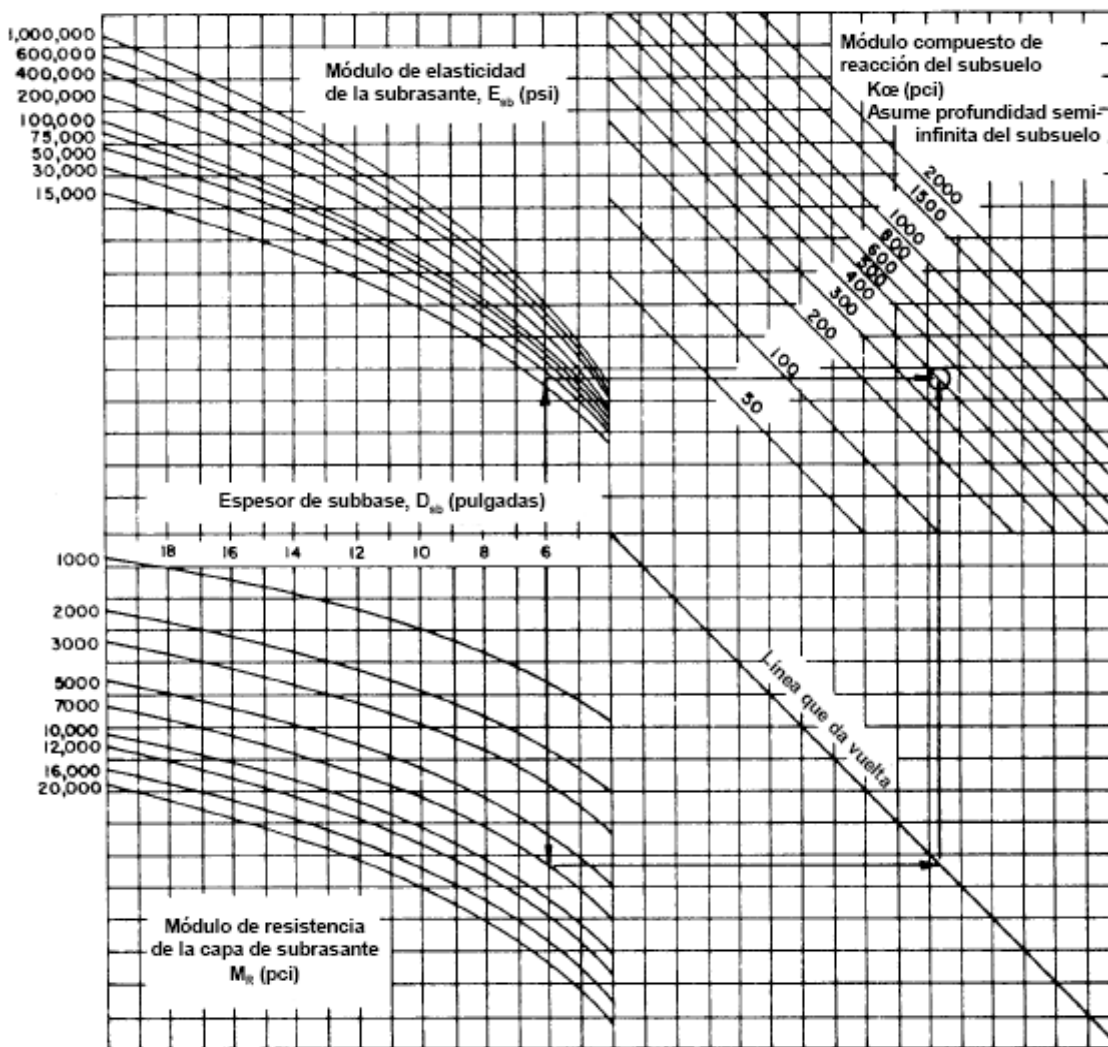
Cálculo del daño relativo (Uf)

1	2	3	4	5	6
mes	Módulo de subrasante Mr (PSI)	Módulo de subbase Esb (PSI)	Valor compuesto k (PCI)	Valor de k en fundación rígida (PCI)	Daño relativo Uf
Enero	20,000	50,000	1,100	1,350	0.35
Febrero	20,000	50,000	1,100	1,350	0.35
Marzo	2,500	15,000	180	230	0.88
Abril	4,000	15,000	230	300	0.78
Mayo	4,000	15,000	230	300	0.78
Junio	7,000	20,000	400	540	0.78
Julio	7,000	20,000	400	540	0.60
Agosto	7,000	20,000	400	540	0.60
Septiembre	7,000	20,000	400	540	0.60
Octubre	7,000	20,000	400	540	0.60
Noviembre	4,000	15,000	230	300	0.78
Diciembre	20,000	50,000	1,100	1,350	0.35
				Total	7.25
Promedio = U / # meses considerados. = 7.25 / 12 = 0.60					
Módulo efectivo de reacción de la subrasante =				k (PCI)	= 540
Corrección por pérdida de soporte =				k (PCI)	= 170
				k (PCI)	= 46.1

Fuente: datos obtenidos para el desarrollo del ejemplo.

1. En la columna 2 se coloca el módulo de resiliencia de la subrasante para cada mes.
2. En la columna 3 se colocan valores del módulo de resiliencia de la subbase, los cuales serán asumidos.
3. Partiendo de los datos del ejemplo y de la tabla 3-1, y por medio del ábaco de la figura 3-2, para cada uno de los meses, se estima el valor de k, que es el efecto combinado de la subrasante y subbase; esto es, suponiendo que la capa rígida se encuentra a más de 3 metros de profundidad.

Figura 3 – 3
Modulo compuesto de reacción de la subrasante.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

En el ejemplo, se usará el mes de junio, comenzando por el espesor de la subbase de 6'', hacia arriba se encuentra el módulo de la subbase de 20,000; hacia abajo se encuentra la curva del módulo de resiliencia de la subrasante que es de 7,000; del punto de abajo se desplaza hacia la derecha hasta encontrar la línea que da vuelta y luego hacia arriba a converger con la otra línea de arriba y se encuentra el valor de 400, que es el Módulo compuesto de reacción de la subrasante; dato que se coloca en la columna 4.

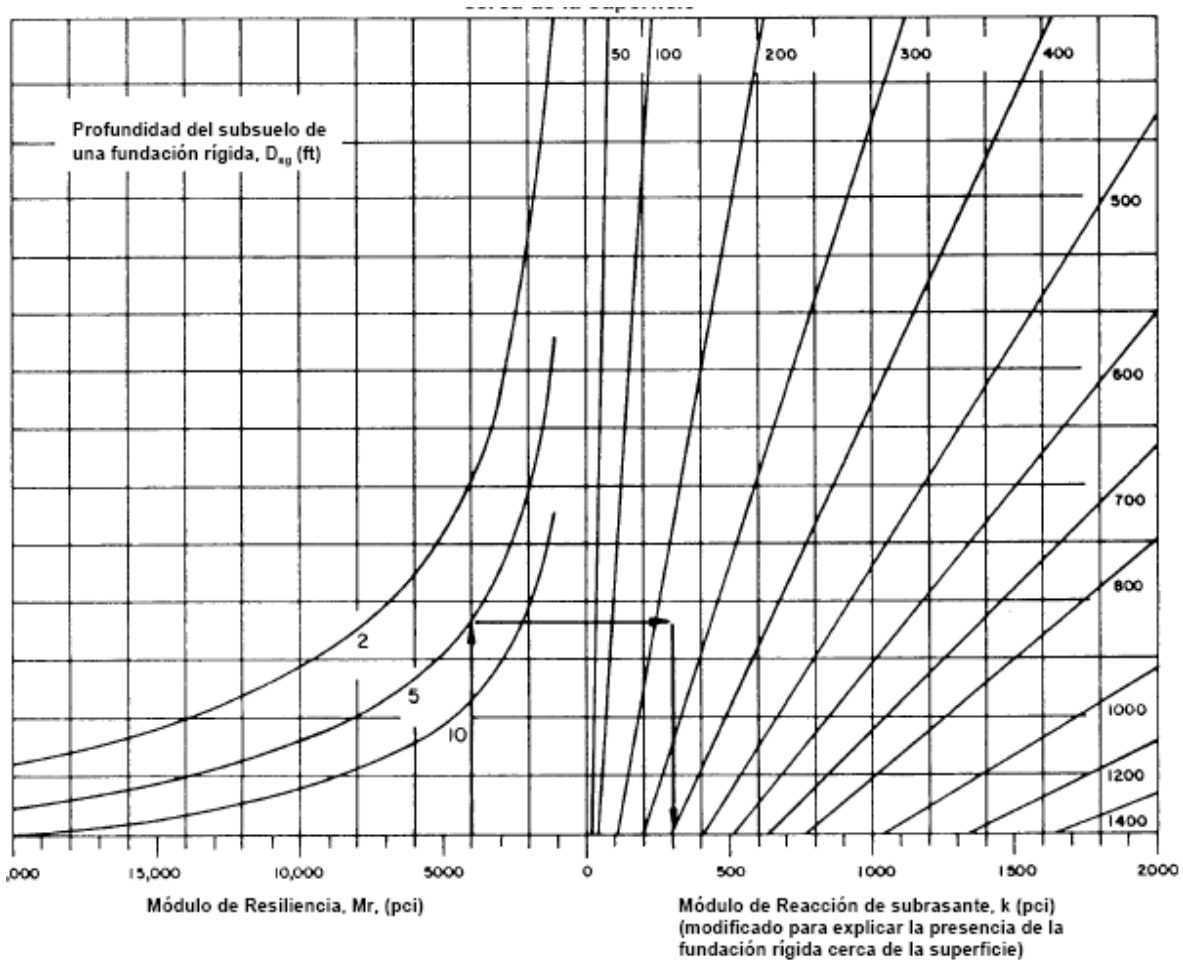
- En otro ejemplo se partirá de los datos del mes de abril de la tabla 3-1, en la cual el efecto de M_r de la fundación rígida cercana a la superficie es de 4000 PSI y está a menos de 1.5 metros de profundidad ó sea 5 pies, con estos datos y conforme el ábaco de la figura 3-4, se sale de la parte izquierda del mismo, en donde partiendo de 4000 PSI hacia arriba encontramos la curva de 5 pies y luego horizontalmente nos pasamos hacia la derecha hasta encontrar la curva del valor compuesto de $k = 230$ (PCI) y de allí hacia abajo encontramos el valor de $k = 300$ (PCI) que es el valor de reacción de la fundación rígida; valor que colocamos en la columna 5.

- Como otro ejemplo y con el valor estimado del espesor (9'') de la losa y utilizando el valor de $k = 540$, del mes de Julio de la tabla 3-1, en el ábaco de la figura 3-5, partiendo de 540 hacia arriba encontramos la curva de 9 y hacia la izquierda encontramos el valor de 0.60 que es el daño relativo U en función de k para cada mes, dato que se coloca en la columna 6.

- Teniendo todos los valores de U_f en la tabla 3-1, éstos se suman y se dividen entre el número de meses incluidos en el cálculo para sacar el promedio; el valor efectivo de k es el que corresponde al valor medio del daño relativo (U_f) para el espesor de la losa proyectada.

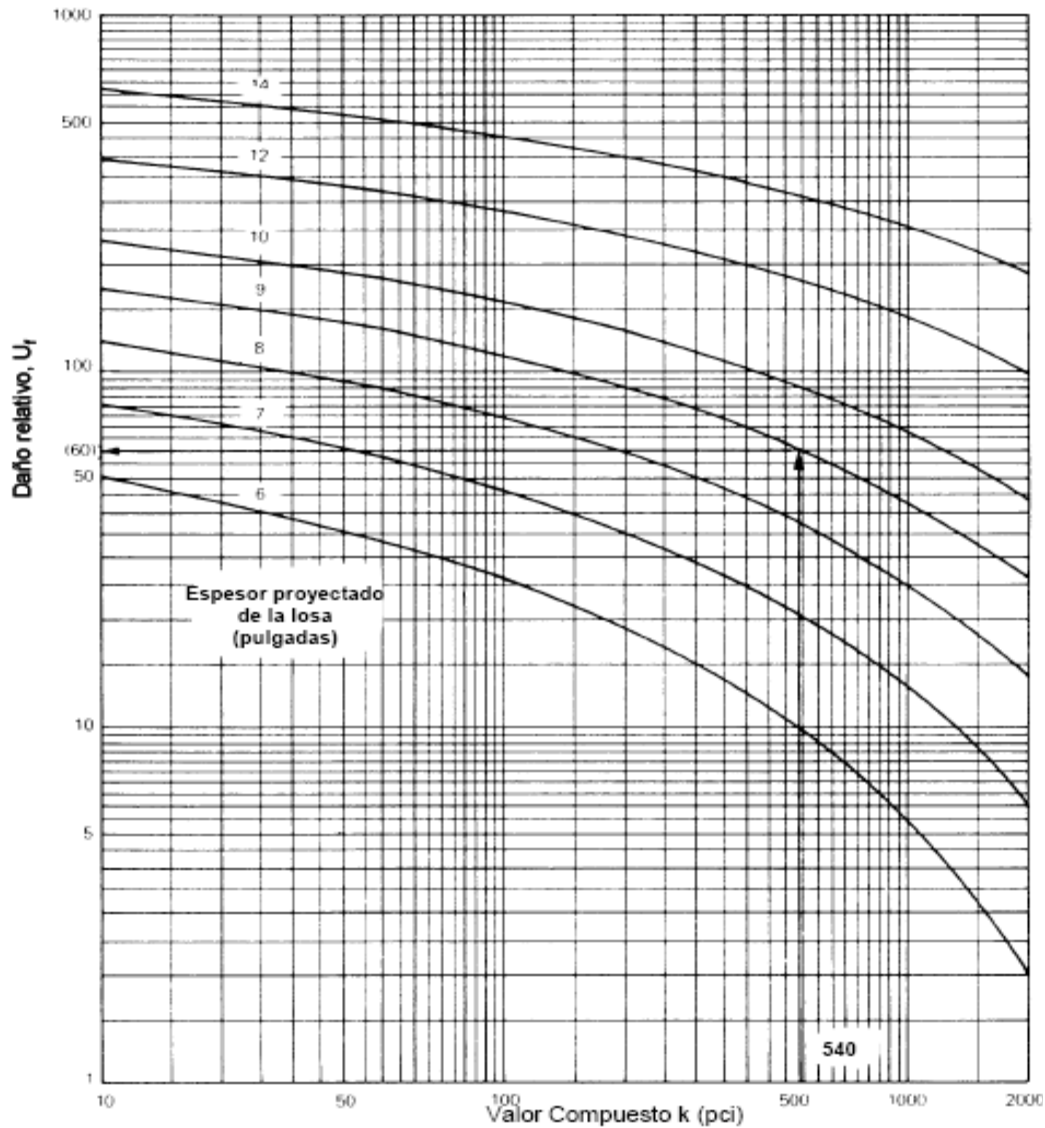
- Seguidamente se tiene que ajustar el valor efectivo de k , tomando en cuenta la pérdida de soporte de la subbase, LS , por erosión. Dicho ajuste se hace por medio del ábaco de la figura 3-6 y con este valor calculado se procede al diseño del pavimento rígido. Partiendo del valor del módulo efectivo de la reacción de la subrasante $k = 540$, hacia arriba encontramos la recta en la cual interceptamos con el valor asumido de la pérdida de soporte $LS = 1.0$ y seguidamente hacia la izquierda encontramos en valor efectivo del módulo de reacción de la subrasante K (PCI)=170 en función de la pérdida potencial de soporte de la subrasante.

Figura 3 – 4
Cálculo del modulo de reacción de la subrasante para considerar efectos de la fundación rígida cerca de la superficie.



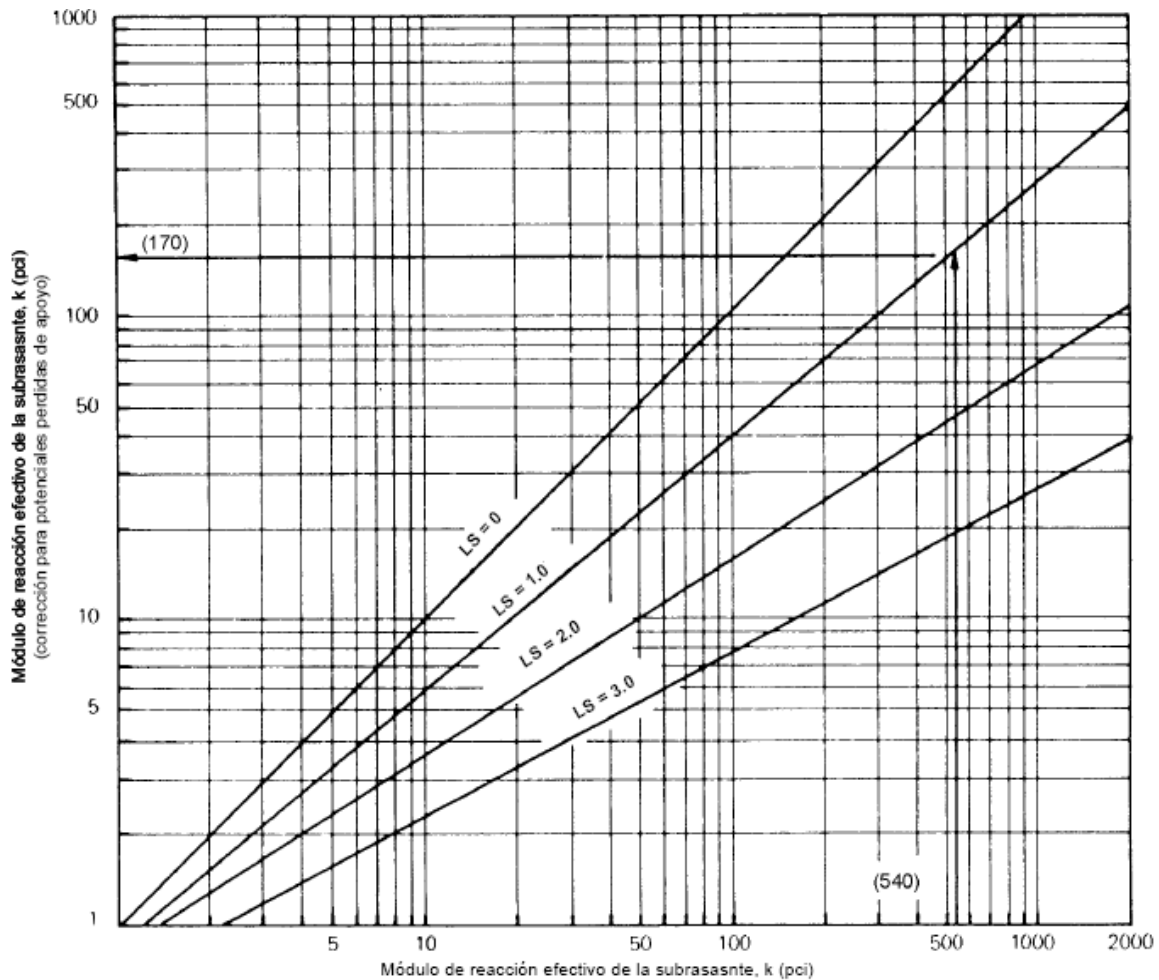
Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 3 – 5
Cálculo del Daño Relativo (U_f) en pavimentos rígidos, en función del espesor de la losa y Módulo de Reacción de la Subrasante.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 3 – 6
Corrección del Módulo efectivo de Reacción de la subrasante
por la pérdida de apoyo de la sub.-base.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

CAPÍTULO IV.

ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

4.1 Escenarios Tipos.

Las carreteras, como obras de carácter horizontal, se extienden a lo largo y ancho del país, atravesando zonas de variadas clases de uso, intensidad de uso, calidades ambientales, topográficas, climáticas, etc. Los escenarios varían para cada carretera, lo cual implica exigencias a tomar en cuenta para que la vía responda adecuadamente de cara a la eficiencia del servicio, la comodidad y la seguridad para los distintos usuarios.

Estas exigencias pueden ser reflejadas por parámetros que sirven como índices cuantitativos o cualitativos que son numerosos, entre lo cuales, por su importancia y grado de valoración que aporten, fueron tomados ciertos índices básicos: **tipo de usos o actividades de usuarios en la vía, transito efectivo.**

Una manera aproximada de definir la influencia de los escenarios en las principales vías y carreteras del país es mediante los siguientes tipos:

Escenario Rural (R), con actividades o edificaciones muy dispersas, accesos distanciados y la circulación de peatones es escaso o nulo.

Escenario de Baja Densidad de Tráfico (BD). Entorno con desarrollos residenciales de baja densidad. La densidad de intersecciones aumenta y puede presentarse algún tráfico puntual de peatones y automóviles. A este escenario se asimilan también las áreas en las que existen instalaciones industriales de media densidad.

Escenario de Media Densidad de Tráfico (MD). Lo constituyen áreas mayormente urbanizadas, en las que está presente comercio activo tales como pequeños mercados, donde la circulación vehicular es meramente comercial, de peatones y con densidad suficientes de intersecciones o accesos con nivel medio.

Escenario de Alta Densidad de Tráfico (AD). Son las travesías con mayor densidad poblacional y por ende vehicular, esto conlleva a que la carretera se vea expuesta a distintos tipos de carga pesada y/o liviana. Como ejemplo tenemos principales cabeceras departamentales y carreteras de producción.

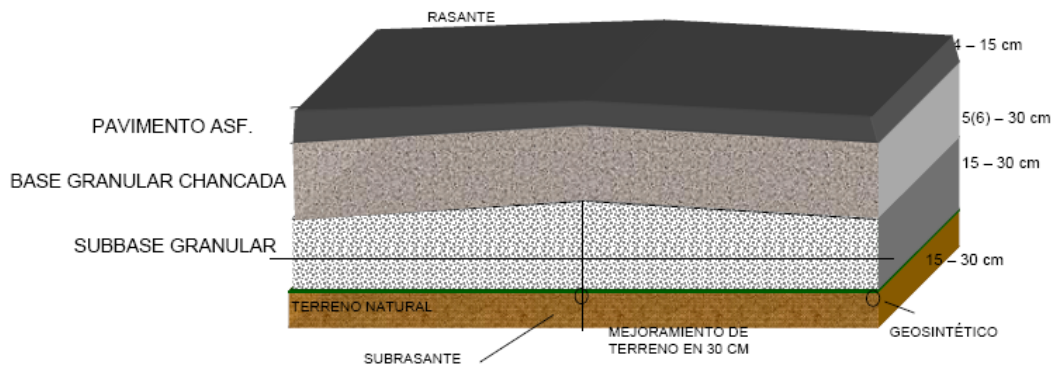
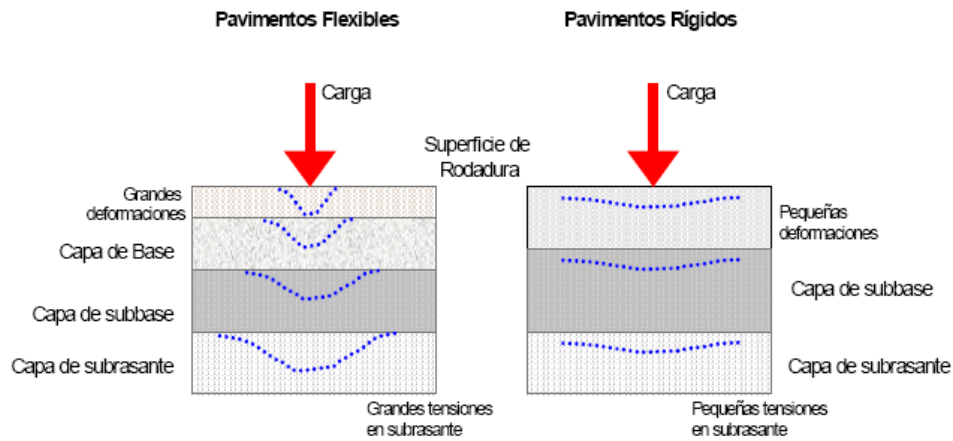
Cabe mencionar que las carreteras están en dependencia del tipo de escenario por el cual este cruce, puesto que en carreteras que se encuentran en zonas rurales se da una mayor afluencia de vehículos pesados por motivos de transporte de carácter económico y colectivo, por este motivo es el desarrollo de la Red Vial.

Esto se debe de tener en cuenta a la hora del Diseño o Rehabilitación de una carretera, ya que del tráfico existente y del impacto directo de la misma, podrá seleccionarse una mejor opción de durabilidad, confort y seguridad para los usuarios.

4.2 Tipos de pavimento.

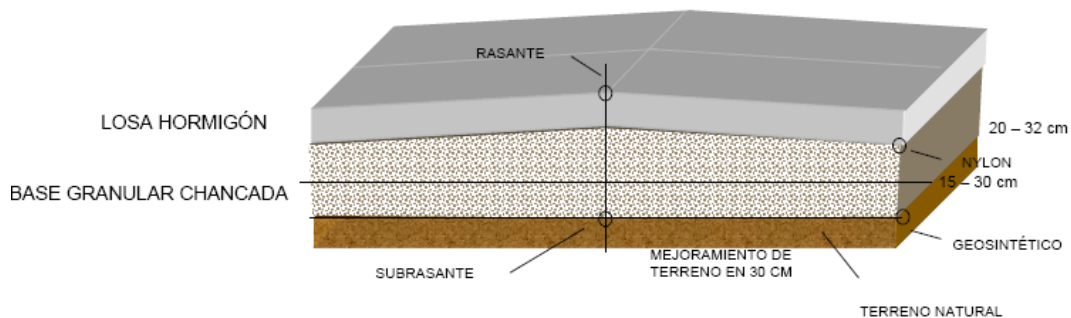
Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura 4.1, 4.2 y 4.3.

Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos. Figura 4.1.



Esquema de los Pavimentos Flexibles. Figura 4.2.

Esquema de los Pavimentos Rígidos. Figura 4.3.



En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

4.3 Elementos que integran el Pavimento Flexible.

4.3.1 Subrasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

a) Materiales.

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia.

Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

b) Compactación.

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima según AASHTO T-180.

4.3.2 Sub.-base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

a) Materiales.

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

a.1 El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180.

a.2 El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27.

a.3 El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T- 90, y el límite líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.

a.4 El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176.

a.5 El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

b) Compactación.

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

4.3.3 Base.

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

4.3.3.1 Base granular.

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

a) Materiales.

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T-11. Además, el material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

a.1 Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T 193.

a.2 El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.

a.3 La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión, según AASHTO T-96.

a.4 La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T-25.

a.5 El porcentaje que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

a.6 El equivalente de arena no debe de ser menor a como se indica en AASHTO T-176.

a.7 Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10.

b) Compactación.

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada. Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores

de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

4.3.3.2 Base estabilizada.

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparados y construidos aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

PRODUCTOS ESTABILIZADORES.

i. Cemento Pórtland.

Es el producto de la mezcla de diferentes materiales que se someten a un proceso de cocción y molido, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento.

La adición de cemento a ciertos suelos plásticos los transforma en buenos materiales para base. La utilización de cemento Pórtland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite el apareamiento de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a combinar son de la misma generación que él (gravas, rocas, arenas, etc.), pero al utilizarse con suelos como limos, arcillas, etc. La situación cambia, ya que estos son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

a) Requisitos del cemento Pórtland.

El cemento Pórtland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 85-63. La cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo a un 8% máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.

b) Compactación.

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada es muy alta, la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación y el inicio de la compactación. Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión según ASTM1 D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado.

c) Curado.

La superficie debe protegerse, aplicándole un material de curado que sea adecuado para este tipo de trabajo. Lo que normalmente se hace, es aplicar un riego de imprimación con material bituminoso líquido, con el fin de formar una capa impermeable y así evitar que el agua necesaria para el fraguado del cemento, se evapore. Para lograr la resistencia requerida, el curado debe realizarse en forma eficiente, de lo contrario la resistencia puede disminuir hasta un 40%.

ii. Cal.

Es el producto de la cocción de la piedra caliza, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo. Cuando ha sido compactada a su humedad óptima y densidad máxima, constituye una base integrante de un pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

La utilización de cal para la estabilización de bases, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar las condiciones mecánicas del material. Es conveniente que al utilizar cal para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en las muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera. Es necesario tomar en cuenta, que el utilizar cal para estabilizar, los materiales obtienen del material estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR; en el caso de la cal es difícil llegar a tener un material rígido, porque la reacción química es bastante más lenta que con cemento para lograr una resistencia especificada.

Es conveniente hacer notar que la cal como estabilizador es un material de calidad, ya que por ser un producto derivado de piedra caliza, tiene la capacidad de combinarse con cualquier otro material sin producir reacciones químicas que involucren un fraguado rápido, ni una rigidización que derive en el apareamiento prematuro de grietas por contracción.

a) Requisitos de la cal.

La cal hidratada debe cumplir con lo establecido en AASHTO M-216. Las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso, del material a estabilizar.

Como los materiales a estabilizar con cal pueden ser de cualquier clase de suelo, lo recomendable es hacer pruebas de laboratorio, para determinar la cantidad adecuada en porcentaje con respecto al peso que es necesario aplicar, efectuando pruebas de compresión no confinada y observando el comportamiento de las muestras al dejarlas secar al aire.

El material debe ser regado con agua en cantidad adecuada para su homogenización. La lechada de cal, puede hacerse con cal hidratada o cal viva pulverizada, cumpliendo los siguientes requisitos:

- a.1) El contenido de sólidos debe ser un mínimo del 87% en masa, de óxidos de calcio y magnesio.
- a.2) El porcentaje retenido del residuo en masa debe cumplir con lo indicado en la tabla 3.1 según el tamaño de los tamices¹.

Tamaño del Tamiz	% máximo retenido en masa
3.350mm (No.6)	0.2
0.600mm (No.30)	4.0

- a.3) El grado de la lechada debe corresponder como sigue:
 - Lechada grado 1: contenido de sólidos no debe ser mayor de 31% de la masa total de la lechada.
 - Lechada grado 2: contenido de sólidos no debe ser mayor de 35% de la masa total de la lechada.

iii. Materiales Bituminosos.

Asfalto es el último producto resultante de la destilación del petróleo. La combinación de suelos con asfalto mejora las condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando mejor distribución de las cargas ocasionadas por el tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento.

a) Requisitos del material bituminoso.

El material bituminoso debe ser cemento asfáltico de alta penetración, asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y alquitranes. La cantidad de emulsión asfáltica puede variar entre 4% y 8% y al utilizar asfaltos rebajados, entre 3.5% a 7.5% con respecto al peso seco del material a estabilizar.

¹: Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, Guatemala, año 2,000.

b) Compactación.

La mezcla debe ser uniformemente compactada, hasta lograr la densidad máxima. En caso que el espesor de la base estabilizada con material bituminoso fuera mayor de 15 centímetros, la mezcla debe ser tendida y compactada en dos ó más capas.

iv. Otros productos estabilizadores.

Podrán usarse compuestos estabilizadores químicos y orgánicos basados en resinas sintéticas, solos o en combinación con cal, cemento o material bituminoso. Estos productos deben requerir el certificado de calidad extendido por el fabricante o distribuidor, incluyendo los aspectos referentes a dosificación, procedimientos de aplicación, resistencia y durabilidad del producto.

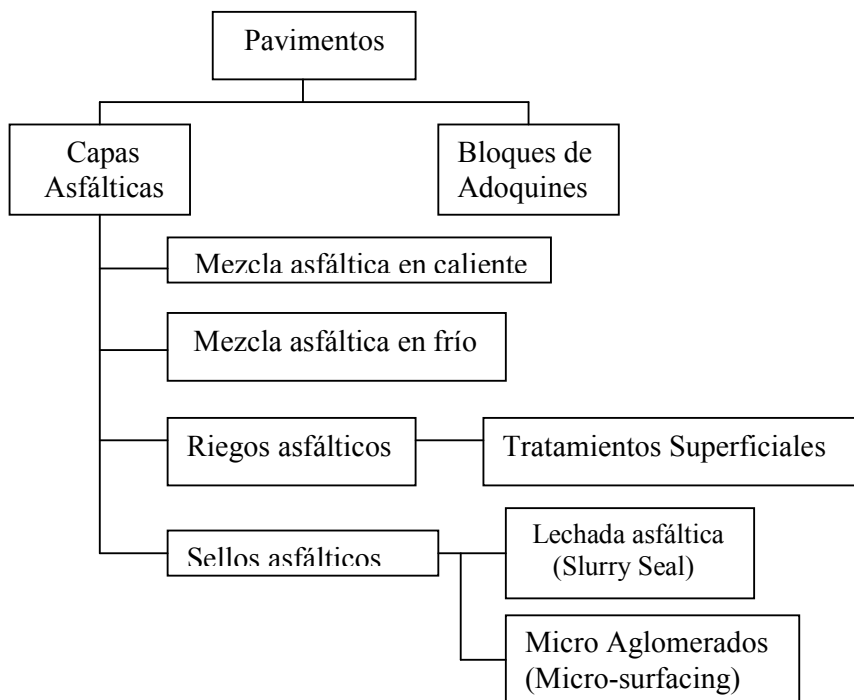
4.3.4 Superficie de rodadura.

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la figura 4-4:

Figura 4-4
Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.



CAPAS ASFÁLTICAS:

4.3.4.1 Mezcla asfáltica en frío.

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales son mezclados mediante procedimientos controlados y darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material bituminoso para la fabricación de la mezcla, será una emulsión asfáltica ó asfalto rebajado seleccionado de acuerdo al tipo de agregados que se pretenda utilizar, cumpliendo con AASHTO M- 140 y M-208.

a.2) Agregados pétreos.

Los agregados pétreos serán rocas o gravas trituradas siendo materiales limpios, densos y durables, libre de polvo, terrones de arcilla u otras materias indeseables, que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados pétreos.

Los materiales deben cumplir con el ensayo de abrasión según AASHTO T-96; equivalente de arena según AASHTO T-176; límite plástico según AASHTO T-90; límite líquido según AASHTO T-89 y desintegración al sulfato de sodio según AASHTO T-104.

4.3.4.2 Mezcla asfáltica en caliente.

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material asfáltico, tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico o del cemento asfáltico modificado con polímeros a usar, debe ser uno de los establecidos en la tabla 4-2. Para el caso de asfaltos con clasificación PG (Performance Grade ó grado de comportamiento), el grado será de acuerdo con el rango comprendido entre el promedio de las temperaturas máximas durante los siete días más calurosos del año y la temperatura mínima donde se localice el proyecto incrementando el valor de temperatura alta un grado de conformidad con el manual del Instituto de Asfalto para tránsito lento y un grado adicional si el tránsito esperado excede ESAL's de 30×10^6 en el carril de diseño, pudiéndose fijar grados intermedios para los rangos de temperatura indicados en la tabla 4-2 o grados mayores que los indicados cuando así se requiera.

Tabla 4-2
Especificaciones del cemento Asfáltico²

Tipo y grado de cemento asfáltico	Especificación
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none">➤ AC-10➤ AC-20➤ AC-40	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none">➤ 40-50➤ 60-70➤ 85-100➤ 120-150	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none">➤ 22-64➤ 22-70➤ 22-76➤ 22-82	AASHTO MP 1

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales-segundo (Pa-s) (150 y 190 centiStokes cS).

Para el diseño de mezcla asfáltica por el procedimiento de SUPERPAVE, sólo se podrán usar los asfaltos con clasificación PG.

a.2) Agregados pétreos.

Para los requerimientos de la Mezcla Asfáltica, se adoptará el método Marshall según AASHTO T-245, que sirve para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, SIECA, 2,001.

La porción de agregados minerales gruesos retenida en la malla No. 8 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas. Sólo se podrá utilizar un tipo único de agregado grueso. La piedra o grava triturada debe ser limpia, compacta y durable, carente de suciedad u otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96.

La porción de agregados minerales que pasa la malla No. 8 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos. Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes. El material de relleno de origen mineral (filler) que sea necesario emplear, se compondrá de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Pórtland u otros elementos no plásticos.

²: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones, y cuando sean ensayados en el laboratorio deben cumplir las siguientes exigencias granulométricas:

Tabla 4-3
Granulometría del relleno mineral³

Tamiz	% Que pasa
0.60 mm (No. 30)	100
38.1 mm (No. 100)	95 – 100
25.0 mm (No. 200)	65 – 100

4.3.4.3 Riegos asfálticos.

Son riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados para lograr una acomodación más densa. Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje. Se pueden mencionar: Tratamientos superficiales simples, dobles y triples.

i. Tratamientos superficiales:

Consiste en la aplicación de material asfáltico sobre la superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material asfáltico usado será cemento asfáltico de penetración 120 – 150 según AASHTO M-20; cemento asfáltico de graduación por viscosidad AC-20 según AASHTO M-26 o emulsiones asfálticas RS-1, RS-2; CRS-1 y CRS-2, según AASHTO M-140.

Deben aplicarse a razón de 0.20 a 0.40 galones (US) de asfalto residual por metro cuadrado, a una temperatura entre 140 °C y 177 °C para el Cemento asfáltico 85-100 ò el AC-20 por viscosidad; y una temperatura de 75 °C a 130 °C para RS-1 y CRS-1, una temperatura de 110 °C a 160 °C para RS-2 y CRS-2 y rebajados.

a.2) Agregados pétreos.

El material de cubierta debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 4-4:

Tabla 4-4
Especificaciones de referencia⁴

Análisis Mecánico	AASHTO T-27
Ensayo de Desgaste de Los Ángeles	AASHTO T-96
Desintegración al sulfato ² (5 ciclos) de sodio	AASHTO T-104
Afinidad de asfalto	AASHTO T-182

³: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

⁴: Análisis generados por el Consultor.

El material de cubierta debe aplicarse a razón de 9.0 a 20.0 Kg/m² y debe cumplir con los requisitos de graduación, según AASHTO M – 43. El agregado a utilizar debe tener un porcentaje de desgaste no mayor de 35% y no debe tener una desintegración máxima al sulfato de sodio de 12%.

NOTA:

Se recomienda la colocación de riegos asfálticos sobre bases estabilizadas con cemento Portland, para minimizar que las grietas por dilatación o contracción se reflejen en la superficie; o en su caso, posterior a la estabilización, la colocación del tratamiento superficial debe efectuarse como mínimo 3 meses después, para dar lugar a que las grietas en la base se manifiesten, entre otras.

4.3.4.4 Sellos asfálticos.

Es el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de los vacíos y grietas y/o evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: La lechada asfáltica (slurry seal) y los micro aglomerados (micro-surfacing).

i. Lechada Asfáltica (Slurry Seal):

Consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que se aplica, sobre un pavimento, como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarlo; proporcionando una textura resistente, antideslizante y adherida firmemente a la superficie.

a) Materiales.

Los agregados pétreos deben ser naturales o producidos por trituración, tales como: granito, basalto, escoria o algún otro material de alta calidad o combinación de estos. Se recomienda siempre la combinación de arenas naturales y arenas producto de trituración, para tener una estructura estable.

Las arenas de río tendrán una absorción máxima de 1.25% y su porcentaje en la composición de la mezcla puede variar de 30 a 60%, la arena debe someterse a ensayos y debe cumplir con las siguientes normas:

**Tabla 4-5
Métodos de prueba⁵**

Prueba	Método
Equivalente de Arena	AASHTO T-176
Desintegración al sulfato de sodio	AASHTO T-104
Granulometría	AASHTO T-27 y T-11
Modulo de finura	AASHTO T-27
Desgaste de Los Ángeles	AASHTO T-96

⁵: Análisis generados por el Consultor.

El Filler o llenante mineral a utilizar debe ser cemento tipo Pórtland, cal hidratada procesada industrialmente, cenizas volantes o algún otro filler según AASHTO M-19. La cantidad de la llenante mineral que se emplee debe tomarse como parte de la granulometría y la misma será la parte faltante que pase por tamiz No. 200. No se permitirá el empleo de limos como llenante mineral.

El agua a utilizar debe ser potable y debe garantizarse su compatibilidad con el resto de los materiales La emulsión asfáltica a utilizar, en cuanto a tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación, será conforme a la tabla 4-6.

Tabla 4-6
Requisitos para las Emulsiones Asfálticas⁶

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Especificación	Temperatura de aplicación en ° C
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)		
Aniónicas: SS-1, SS-1h	AASHTO M 140	20-70
Catiónicas: CSS-1, CSS-1h	AASHTO M 208	50-85

Se debe utilizar cemento asfáltico emulsificado, de los mencionados a continuación:

- Emulsión asfáltica de rompimiento rápido controlado con 3 minutos como mínimo de mezclado.
- Emulsión asfáltica de rompimiento medio controlado con un tiempo de mezclado de más de 3 minutos y un rompimiento entre 10 a 30 minutos.
- Emulsión asfáltica del tipo lento (súper estable). El rompimiento de la emulsión puede ocurrir entre los 30 minutos a dos horas de acuerdo a la temperatura ambiente.
- La emulsión utilizada debe cumplir con AASHTO M - 140.

ii. Micro aglomerados (Micro-surfacing):

El Micro-surfacing, también conocido como sistema MS-1, consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre una superficie pavimentada, evitando la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorando su resistencia contra el deslizamiento, aumentando su durabilidad.

a) Materiales.

La emulsión asfáltica debe modificarse con un polímero que se incorporará al cemento asfáltico antes de emulsificarlo. El residuo asfáltico de una emulsión modificada, debe tener al menos 3% de polímero calculado en peso.

⁶: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

La tabla 4-7 da las especificaciones para la emulsión asfáltica catiónica modificada dados por AASHTO:

Tabla 4-7.
Normas para emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros⁷

Descripción	AASHTO
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	T-59
Estabilidad en almacenaje 1 día en % sedimentado	1%
Carga de la Partícula DOTD TR 311	Positiva, mínima
% de emulsión retenido en malla No. 20	0.1% máxima
Residuo Asfáltico obtenido por destilación	T-59
Penetración a 25°C, 100 gr., 5 segundos	T-49
Ductibilidad a 25°C, 5cm/min, en cm.	T-51
Solubilidad en tricloro estileno,	T-44

La emulsión de asfalto modificada debe ser formulada para que la mezcla de pavimento MS-1 pueda ser aplicada con humedad relativa no mayor del 50% y una temperatura ambiental de no menos de 24°C, y fraguar lo suficiente para que al abrir el tránsito en una hora la carpeta no sufra daños.

Los agregados minerales deben ser compuestos por partículas limpias, duras y durables de piedra triturada (Basalto, granito o polvo de roca). El equivalente de arena según AASHTO T -176. El ensayo de desgaste de la grava según AASHTO T- 96.

Como material rellenedor o mineral fino se puede usar cemento Pórtland ó Cal hidratada. El porcentaje a usar es como máximo el 3% en peso de la mezcla.

La tolerancia es +/- 0.25%.

El agua debe estar totalmente libre de sales solubles nocivas, materia orgánica y otras propiedades no compatibles con la mezcla, según AASHTO T-263.

Los aditivos pueden agregarse a la emulsión de asfalto modificado, al agua o directamente a la mezcla, dependiendo del diseño de la emulsión.

4.4 Elementos que integran el Pavimento Rígido.

4.4.1 Subrasante.

Conforme lo indicado en el numeral 4.3.2 de esta sección.

4.4.2 Sub.-base.

Conforme lo indicado en el numeral 4.3.1 de esta sección.

⁷: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, 2,001.

4.4.3 Superficie de rodadura.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

i. Concreto hidráulico simple.

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros ó 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

ii. Concreto hidráulico reforzado.

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros ó 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

iii. Concreto hidráulico reforzado continuo.

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

a) Materiales.

a.1) Cemento tipo Pórtland:

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las Normas AASHTO M-85 para los Cementos Pórtland y a las normas AASHTO M-240, para Cementos Hidráulicos Mezclados.

El cemento Pórtland debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 4-8.

Además, se debe indicar su clase de resistencia en MPa o en lbs/pulg², según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MPa (3000, 4000, 5000 y 6000 lb/pulg²), que corresponde a una resistencia mínima a 28 días.

Cuando no se especifique el cemento a usar, éstos deberán tener una clase de resistencia de 28 MPa (4000 lb/pulg²) o mayor.

a.2) Agregados finos:

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de acuerdo a AASHTO M 6, clase B.

Tabla 4-8.
Especificaciones para el Cemento Pórtland⁸

AASHTO	Referencia
T – 89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T – 105	Composición química del cemento
T – 106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T – 107	Expansión del cemento en autoclave
T – 127	Muestreo del cemento
T – 131	Tiempo de fraguado (agua de Vicat)
T – 137	Contenido de aire del mortero de cemento
T – 153	Finura del cemento (Permeámetro)
T – 154	Tiempo de fraguado (aguja de Gilmore)
T - 186	Endurecimiento inicial del cemento

a.3) Agregados gruesos:

Deben consistir en gravas o piedras trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, de acuerdo con AASHTO M 80.

a.4) Agua:

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua de mar o salóbregas y de pantanos, no deben usarse para concreto hidráulico. El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos.

b) Aditivo.

El uso de aditivos para concreto, tiene por objeto mantener y mejorar esencialmente la composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica.

b.1) Ceniza Volante:

Se ha usado ceniza volante para mezclas del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como sustituto del cemento Pórtland y debe cumplir con lo estipulado en AASHTO M-295.

b.2) Aditivos Químicos:

Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción, siendo estos: inclusores de aire según AASHTO M-159, reductores de agua según AASHTO M-194, acelerantes y desacelerantes de fraguado según AASHTO M-194.

⁸: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes regionales, SIECA, 2,001.

CAPÍTULO IV.

ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

4.1 Escenarios Tipos.

Las carreteras, como obras de carácter horizontal, se extienden a lo largo y ancho del país, atravesando zonas de variadas clases de uso, intensidad de uso, calidades ambientales, topográficas, climáticas, etc. Los escenarios varían para cada carretera, lo cual implica exigencias a tomar en cuenta para que la vía responda adecuadamente de cara a la eficiencia del servicio, la comodidad y la seguridad para los distintos usuarios.

Estas exigencias pueden ser reflejadas por parámetros que sirven como índices cuantitativos o cualitativos que son numerosos, entre lo cuales, por su importancia y grado de valoración que aporten, fueron tomados ciertos índices básicos: **tipo de usos o actividades de usuarios en la vía, tránsito efectivo.**

Una manera aproximada de definir la influencia de los escenarios en las principales vías y carreteras del país es mediante los siguientes tipos:

Escenario Rural (R), con actividades o edificaciones muy dispersas, accesos distanciados y la circulación de peatones es escaso o nulo.

Escenario de Baja Densidad de Tráfico (BD). Entorno con desarrollos residenciales de baja densidad. La densidad de intersecciones aumenta y puede presentarse algún tráfico puntual de peatones y automóviles. A este escenario se asimilan también las áreas en las que existen instalaciones industriales de media densidad.

Escenario de Media Densidad de Tráfico (MD). Lo constituyen áreas mayormente urbanizadas, en las que está presente comercio activo tales como pequeños mercados, donde la circulación vehicular es meramente comercial, de peatones y con densidad suficientes de intersecciones o accesos con nivel medio.

Escenario de Alta Densidad de Tráfico (AD). Son las travesías con mayor densidad poblacional y por ende vehicular, esto conlleva a que la carretera se vea expuesta a distintos tipos de carga pesada y/o liviana. Como ejemplo tenemos principales cabeceras departamentales y carreteras de producción.

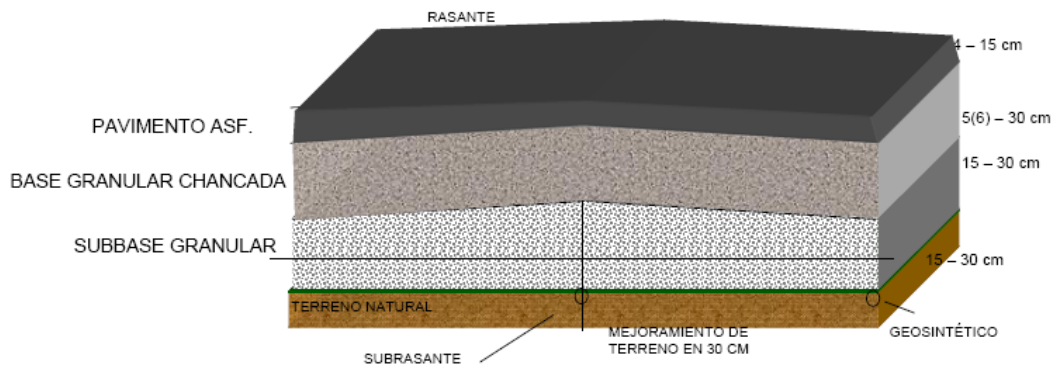
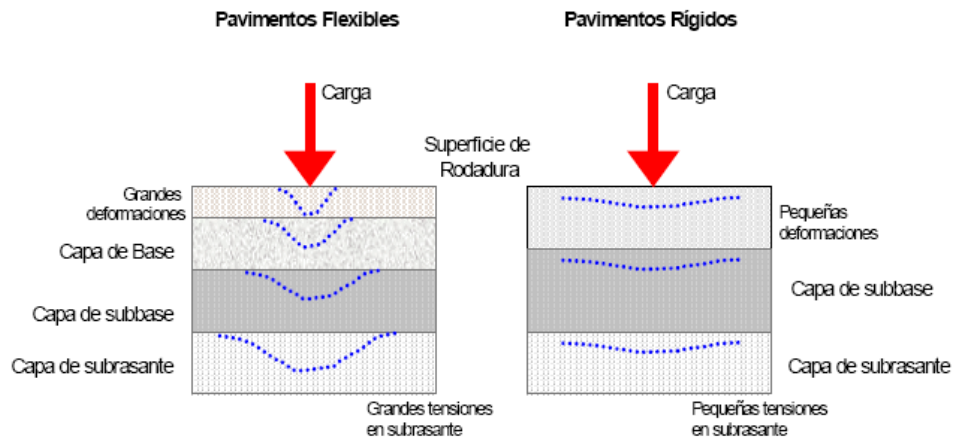
Cabe mencionar que las carreteras están en dependencia del tipo de escenario por el cual este cruce, puesto que en carreteras que se encuentran en zonas rurales se da una mayor afluencia de vehículos pesados por motivos de transporte de carácter económico y colectivo, por este motivo es el desarrollo de la Red Vial.

Esto se debe de tener en cuenta a la hora del Diseño o Rehabilitación de una carretera, ya que del tráfico existente y del impacto directo de la misma, podrá seleccionarse una mejor opción de durabilidad, confort y seguridad para los usuarios.

4.2 Tipos de pavimento.

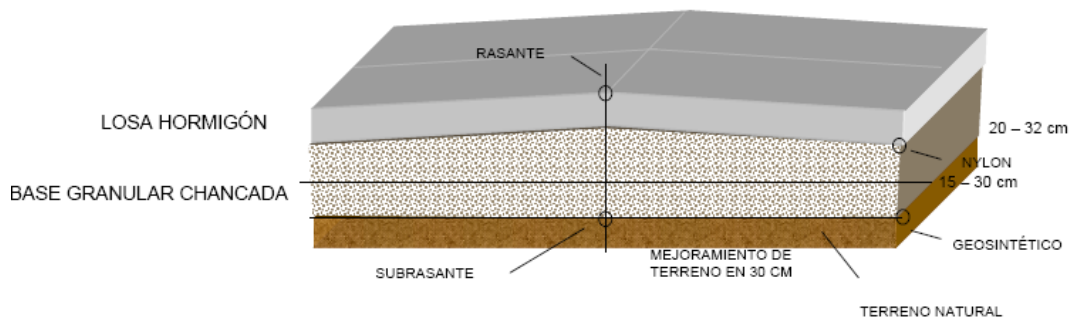
Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura 4.1, 4.2 y 4.3.

Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos. Figura 4.1.



Esquema de los Pavimentos Flexibles. Figura 4.2.

Esquema de los Pavimentos Rígidos. Figura 4.3.



En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

4.3 Elementos que integran el Pavimento Flexible.

4.3.1 Subrasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

a) Materiales.

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia.

Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

b) Compactación.

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima según AASHTO T-180.

4.3.2 Sub.-base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

a) Materiales.

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

a.1 El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180.

a.2 El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27.

a.3 El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T- 90, y el límite líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.

a.4 El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176.

a.5 El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

b) Compactación.

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

4.3.3 Base.

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

4.3.3.1 Base granular.

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

a) Materiales.

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T-11. Además, el material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

a.1 Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T 193.

a.2 El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.

a.3 La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión, según AASHTO T-96.

a.4 La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T-25.

a.5 El porcentaje que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

a.6 El equivalente de arena no debe de ser menor a como se indica en AASHTO T-176.

a.7 Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10.

b) Compactación.

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada. Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores

de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

4.3.3.2 Base estabilizada.

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparados y construidos aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

PRODUCTOS ESTABILIZADORES.

i. Cemento Pórtland.

Es el producto de la mezcla de diferentes materiales que se someten a un proceso de cocción y molido, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento.

La adición de cemento a ciertos suelos plásticos los transforma en buenos materiales para base. La utilización de cemento Pórtland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite el apareamiento de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a combinar son de la misma generación que él (gravas, rocas, arenas, etc.), pero al utilizarse con suelos como limos, arcillas, etc. La situación cambia, ya que estos son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

a) Requisitos del cemento Pórtland.

El cemento Pórtland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 85-63. La cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo a un 8% máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.

b) Compactación.

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada es muy alta, la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación y el inicio de la compactación. Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión según ASTM1 D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado.

c) Curado.

La superficie debe protegerse, aplicándole un material de curado que sea adecuado para este tipo de trabajo. Lo que normalmente se hace, es aplicar un riego de imprimación con material bituminoso líquido, con el fin de formar una capa impermeable y así evitar que el agua necesaria para el fraguado del cemento, se evapore. Para lograr la resistencia requerida, el curado debe realizarse en forma eficiente, de lo contrario la resistencia puede disminuir hasta un 40%.

ii. Cal.

Es el producto de la cocción de la piedra caliza, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo. Cuando ha sido compactada a su humedad óptima y densidad máxima, constituye una base integrante de un pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

La utilización de cal para la estabilización de bases, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar las condiciones mecánicas del material. Es conveniente que al utilizar cal para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en las muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera. Es necesario tomar en cuenta, que el utilizar cal para estabilizar, los materiales obtienen del material estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR; en el caso de la cal es difícil llegar a tener un material rígido, porque la reacción química es bastante más lenta que con cemento para lograr una resistencia especificada.

Es conveniente hacer notar que la cal como estabilizador es un material de calidad, ya que por ser un producto derivado de piedra caliza, tiene la capacidad de combinarse con cualquier otro material sin producir reacciones químicas que involucren un fraguado rápido, ni una rigidización que derive en el apareamiento prematuro de grietas por contracción.

a) Requisitos de la cal.

La cal hidratada debe cumplir con lo establecido en AASHTO M-216. Las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso, del material a estabilizar.

Como los materiales a estabilizar con cal pueden ser de cualquier clase de suelo, lo recomendable es hacer pruebas de laboratorio, para determinar la cantidad adecuada en porcentaje con respecto al peso que es necesario aplicar, efectuando pruebas de compresión no confinada y observando el comportamiento de las muestras al dejarlas secar al aire.

El material debe ser regado con agua en cantidad adecuada para su homogenización. La lechada de cal, puede hacerse con cal hidratada o cal viva pulverizada, cumpliendo los siguientes requisitos:

- a.1) El contenido de sólidos debe ser un mínimo del 87% en masa, de óxidos de calcio y magnesio.
- a.2) El porcentaje retenido del residuo en masa debe cumplir con lo indicado en la tabla 3.1 según el tamaño de los tamices¹.

Tamaño del Tamiz	% máximo retenido en masa
3.350mm (No.6)	0.2
0.600mm (No.30)	4.0

- a.3) El grado de la lechada debe corresponder como sigue:
 - Lechada grado 1: contenido de sólidos no debe ser mayor de 31% de la masa total de la lechada.
 - Lechada grado 2: contenido de sólidos no debe ser mayor de 35% de la masa total de la lechada.

iii. Materiales Bituminosos.

Asfalto es el último producto resultante de la destilación del petróleo. La combinación de suelos con asfalto mejora las condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando mejor distribución de las cargas ocasionadas por el tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento.

a) Requisitos del material bituminoso.

El material bituminoso debe ser cemento asfáltico de alta penetración, asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y alquitranes. La cantidad de emulsión asfáltica puede variar entre 4% y 8% y al utilizar asfaltos rebajados, entre 3.5% a 7.5% con respecto al peso seco del material a estabilizar.

¹: Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, Guatemala, año 2,000.

b) Compactación.

La mezcla debe ser uniformemente compactada, hasta lograr la densidad máxima. En caso que el espesor de la base estabilizada con material bituminoso fuera mayor de 15 centímetros, la mezcla debe ser tendida y compactada en dos ó más capas.

iv. Otros productos estabilizadores.

Podrán usarse compuestos estabilizadores químicos y orgánicos basados en resinas sintéticas, solos o en combinación con cal, cemento o material bituminoso. Estos productos deben requerir el certificado de calidad extendido por el fabricante o distribuidor, incluyendo los aspectos referentes a dosificación, procedimientos de aplicación, resistencia y durabilidad del producto.

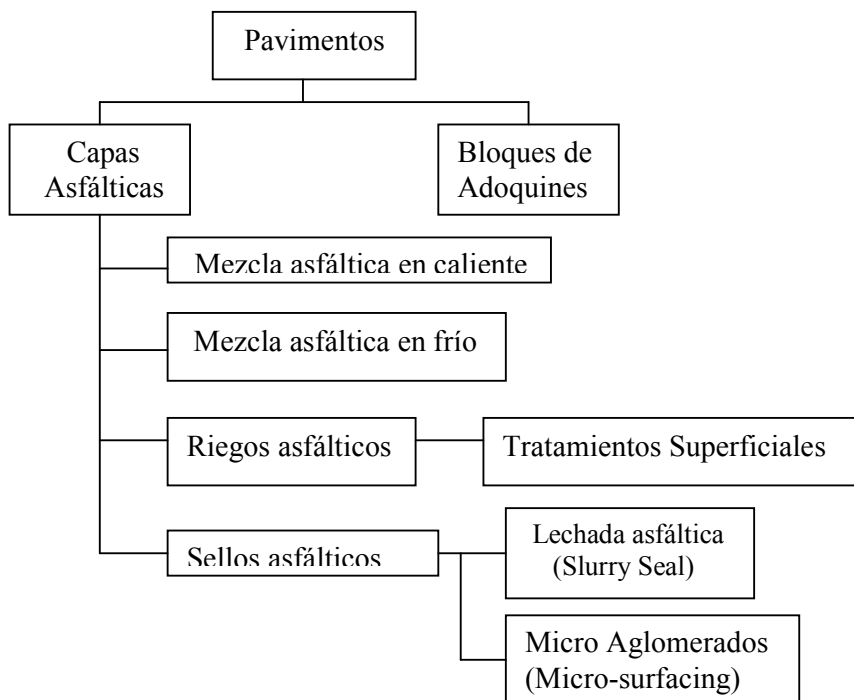
4.3.4 Superficie de rodadura.

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la figura 4-4:

Figura 4-4
Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.



CAPAS ASFÁLTICAS:

4.3.4.1 Mezcla asfáltica en frío.

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales son mezclados mediante procedimientos controlados y darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material bituminoso para la fabricación de la mezcla, será una emulsión asfáltica ó asfalto rebajado seleccionado de acuerdo al tipo de agregados que se pretenda utilizar, cumpliendo con AASHTO M- 140 y M-208.

a.2) Agregados pétreos.

Los agregados pétreos serán rocas o gravas trituradas siendo materiales limpios, densos y durables, libre de polvo, terrones de arcilla u otras materias indeseables, que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados pétreos.

Los materiales deben cumplir con el ensayo de abrasión según AASHTO T-96; equivalente de arena según AASHTO T-176; límite plástico según AASHTO T-90; límite líquido según AASHTO T-89 y desintegración al sulfato de sodio según AASHTO T-104.

4.3.4.2 Mezcla asfáltica en caliente.

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material asfáltico, tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico o del cemento asfáltico modificado con polímeros a usar, debe ser uno de los establecidos en la tabla 4-2. Para el caso de asfaltos con clasificación PG (Performance Grade ó grado de comportamiento), el grado será de acuerdo con el rango comprendido entre el promedio de las temperaturas máximas durante los siete días más calurosos del año y la temperatura mínima donde se localice el proyecto incrementando el valor de temperatura alta un grado de conformidad con el manual del Instituto de Asfalto para tránsito lento y un grado adicional si el tránsito esperado excede ESAL's de 30×10^6 en el carril de diseño, pudiéndose fijar grados intermedios para los rangos de temperatura indicados en la tabla 4-2 o grados mayores que los indicados cuando así se requiera.

Tabla 4-2
Especificaciones del cemento Asfáltico²

Tipo y grado de cemento asfáltico	Especificación
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none">➤ AC-10➤ AC-20➤ AC-40	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none">➤ 40-50➤ 60-70➤ 85-100➤ 120-150	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none">➤ 22-64➤ 22-70➤ 22-76➤ 22-82	AASHTO MP 1

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales-segundo (Pa-s) (150 y 190 centiStokes cS).

Para el diseño de mezcla asfáltica por el procedimiento de SUPERPAVE, sólo se podrán usar los asfaltos con clasificación PG.

a.2) Agregados pétreos.

Para los requerimientos de la Mezcla Asfáltica, se adoptará el método Marshall según AASHTO T-245, que sirve para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, SIECA, 2,001.

La porción de agregados minerales gruesos retenida en la malla No. 8 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas. Sólo se podrá utilizar un tipo único de agregado grueso. La piedra o grava triturada debe ser limpia, compacta y durable, carente de suciedad u otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96.

La porción de agregados minerales que pasa la malla No. 8 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos. Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes. El material de relleno de origen mineral (filler) que sea necesario emplear, se compondrá de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Pórtland u otros elementos no plásticos.

²: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones, y cuando sean ensayados en el laboratorio deben cumplir las siguientes exigencias granulométricas:

Tabla 4-3
Granulometría del relleno mineral³

Tamiz	% Que pasa
0.60 mm (No. 30)	100
38.1 mm (No. 100)	95 – 100
25.0 mm (No. 200)	65 – 100

4.3.4.3 Riegos asfálticos.

Son riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados para lograr una acomodación más densa. Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje. Se pueden mencionar: Tratamientos superficiales simples, dobles y triples.

i. Tratamientos superficiales:

Consiste en la aplicación de material asfáltico sobre la superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

a) Materiales.

a.1) Material bituminoso.

El material asfáltico usado será cemento asfáltico de penetración 120 – 150 según AASHTO M-20; cemento asfáltico de graduación por viscosidad AC-20 según AASHTO M-26 o emulsiones asfálticas RS-1, RS-2; CRS-1 y CRS-2, según AASHTO M-140.

Deben aplicarse a razón de 0.20 a 0.40 galones (US) de asfalto residual por metro cuadrado, a una temperatura entre 140 °C y 177 °C para el Cemento asfáltico 85-100 ò el AC-20 por viscosidad; y una temperatura de 75 °C a 130 °C para RS-1 y CRS-1, una temperatura de 110 °C a 160 °C para RS-2 y CRS-2 y rebajados.

a.2) Agregados pétreos.

El material de cubierta debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 4-4:

Tabla 4-4
Especificaciones de referencia⁴

Análisis Mecánico	AASHTO T-27
Ensayo de Desgaste de Los Ángeles	AASHTO T-96
Desintegración al sulfato ² (5 ciclos) de sodio	AASHTO T-104
Afinidad de asfalto	AASHTO T-182

³: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

⁴: Análisis generados por el Consultor.

El material de cubierta debe aplicarse a razón de 9.0 a 20.0 Kg/m² y debe cumplir con los requisitos de graduación, según AASHTO M – 43. El agregado a utilizar debe tener un porcentaje de desgaste no mayor de 35% y no debe tener una desintegración máxima al sulfato de sodio de 12%.

NOTA:

Se recomienda la colocación de riegos asfálticos sobre bases estabilizadas con cemento Portland, para minimizar que las grietas por dilatación o contracción se reflejen en la superficie; o en su caso, posterior a la estabilización, la colocación del tratamiento superficial debe efectuarse como mínimo 3 meses después, para dar lugar a que las grietas en la base se manifiesten, entre otras.

4.3.4.4 Sellos asfálticos.

Es el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de los vacíos y grietas y/o evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: La lechada asfáltica (slurry seal) y los micro aglomerados (micro-surfacing).

i. Lechada Asfáltica (Slurry Seal):

Consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que se aplica, sobre un pavimento, como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarlo; proporcionando una textura resistente, antideslizante y adherida firmemente a la superficie.

a) Materiales.

Los agregados pétreos deben ser naturales o producidos por trituración, tales como: granito, basalto, escoria o algún otro material de alta calidad o combinación de estos. Se recomienda siempre la combinación de arenas naturales y arenas producto de trituración, para tener una estructura estable.

Las arenas de río tendrán una absorción máxima de 1.25% y su porcentaje en la composición de la mezcla puede variar de 30 a 60%, la arena debe someterse a ensayos y debe cumplir con las siguientes normas:

**Tabla 4-5
Métodos de prueba⁵**

Prueba	Método
Equivalente de Arena	AASHTO T-176
Desintegración al sulfato de sodio	AASHTO T-104
Granulometría	AASHTO T-27 y T-11
Modulo de finura	AASHTO T-27
Desgaste de Los Ángeles	AASHTO T-96

⁵: Análisis generados por el Consultor.

El Filler o llenante mineral a utilizar debe ser cemento tipo Pórtland, cal hidratada procesada industrialmente, cenizas volantes o algún otro filler según AASHTO M-19. La cantidad de la llenante mineral que se emplee debe tomarse como parte de la granulometría y la misma será la parte faltante que pase por tamiz No. 200. No se permitirá el empleo de limos como llenante mineral.

El agua a utilizar debe ser potable y debe garantizarse su compatibilidad con el resto de los materiales La emulsión asfáltica a utilizar, en cuanto a tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación, será conforme a la tabla 4-6.

Tabla 4-6
Requisitos para las Emulsiones Asfálticas⁶

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Especificación	Temperatura de aplicación en ° C
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)		
Aniónicas: SS-1, SS-1h	AASHTO M 140	20-70
Catiónicas: CSS-1, CSS-1h	AASHTO M 208	50-85

Se debe utilizar cemento asfáltico emulsificado, de los mencionados a continuación:

- Emulsión asfáltica de rompimiento rápido controlado con 3 minutos como mínimo de mezclado.
- Emulsión asfáltica de rompimiento medio controlado con un tiempo de mezclado de más de 3 minutos y un rompimiento entre 10 a 30 minutos.
- Emulsión asfáltica del tipo lento (súper estable). El rompimiento de la emulsión puede ocurrir entre los 30 minutos a dos horas de acuerdo a la temperatura ambiente.
- La emulsión utilizada debe cumplir con AASHTO M - 140.

ii. Micro aglomerados (Micro-surfacing):

El Micro-surfacing, también conocido como sistema MS-1, consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre una superficie pavimentada, evitando la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorando su resistencia contra el deslizamiento, aumentando su durabilidad.

a) Materiales.

La emulsión asfáltica debe modificarse con un polímero que se incorporará al cemento asfáltico antes de emulsificarlo. El residuo asfáltico de una emulsión modificada, debe tener al menos 3% de polímero calculado en peso.

⁶: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y Puentes. Dirección General de Camino, Guatemala, 2000.

La tabla 4-7 da las especificaciones para la emulsión asfáltica catiónica modificada dados por AASHTO:

Tabla 4-7.
Normas para emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros⁷

Descripción	AASHTO
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	T-59
Estabilidad en almacenaje 1 día en % sedimentado	1%
Carga de la Partícula DOTD TR 311	Positiva, mínima
% de emulsión retenido en malla No. 20	0.1% máxima
Residuo Asfáltico obtenido por destilación	T-59
Penetración a 25°C, 100 gr., 5 segundos	T-49
Ductibilidad a 25°C, 5cm/min, en cm.	T-51
Solubilidad en tricloro estileno,	T-44

La emulsión de asfalto modificada debe ser formulada para que la mezcla de pavimento MS-1 pueda ser aplicada con humedad relativa no mayor del 50% y una temperatura ambiental de no menos de 24°C, y fraguar lo suficiente para que al abrir el tránsito en una hora la carpeta no sufra daños.

Los agregados minerales deben ser compuestos por partículas limpias, duras y durables de piedra triturada (Basalto, granito o polvo de roca). El equivalente de arena según AASHTO T -176. El ensayo de desgaste de la grava según AASHTO T- 96.

Como material rellenedor o mineral fino se puede usar cemento Pórtland ó Cal hidratada. El porcentaje a usar es como máximo el 3% en peso de la mezcla.

La tolerancia es +/- 0.25%.

El agua debe estar totalmente libre de sales solubles nocivas, materia orgánica y otras propiedades no compatibles con la mezcla, según AASHTO T-263.

Los aditivos pueden agregarse a la emulsión de asfalto modificado, al agua o directamente a la mezcla, dependiendo del diseño de la emulsión.

4.4 Elementos que integran el Pavimento Rígido.

4.4.1 Subrasante.

Conforme lo indicado en el numeral 4.3.2 de esta sección.

4.4.2 Sub.-base.

Conforme lo indicado en el numeral 4.3.1 de esta sección.

⁷: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, 2,001.

4.4.3 Superficie de rodadura.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

i. Concreto hidráulico simple.

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros ó 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

ii. Concreto hidráulico reforzado.

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros ó 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

iii. Concreto hidráulico reforzado continuo.

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

a) Materiales.

a.1) Cemento tipo Pórtland:

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las Normas AASHTO M-85 para los Cementos Pórtland y a las normas AASHTO M-240, para Cementos Hidráulicos Mezclados.

El cemento Pórtland debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 4-8.

Además, se debe indicar su clase de resistencia en MPa o en lbs/pulg², según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MPa (3000, 4000, 5000 y 6000 lb/pulg²), que corresponde a una resistencia mínima a 28 días.

Cuando no se especifique el cemento a usar, éstos deberán tener una clase de resistencia de 28 MPa (4000 lb/pulg²) o mayor.

a.2) Agregados finos:

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de acuerdo a AASHTO M 6, clase B.

Tabla 4-8.
Especificaciones para el Cemento Pórtland⁸

AASHTO	Referencia
T – 89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T – 105	Composición química del cemento
T – 106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T – 107	Expansión del cemento en autoclave
T – 127	Muestreo del cemento
T – 131	Tiempo de fraguado (agua de Vicat)
T – 137	Contenido de aire del mortero de cemento
T – 153	Finura del cemento (Permeámetro)
T – 154	Tiempo de fraguado (aguja de Gilmore)
T - 186	Endurecimiento inicial del cemento

a.3) Agregados gruesos:

Deben consistir en gravas o piedras trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, de acuerdo con AASHTO M 80.

a.4) Agua:

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua de mar o salóbregas y de pantanos, no deben usarse para concreto hidráulico. El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos.

b) Aditivo.

El uso de aditivos para concreto, tiene por objeto mantener y mejorar esencialmente la composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica.

b.1) Ceniza Volante:

Se ha usado ceniza volante para mezclas del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como sustituto del cemento Pórtland y debe cumplir con lo estipulado en AASHTO M-295.

b.2) Aditivos Químicos:

Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción, siendo estos: inclusores de aire según AASHTO M-159, reductores de agua según AASHTO M-194, acelerantes y desacelerantes de fraguado según AASHTO M-194.

⁸: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes regionales, SIECA, 2,001.

CAPÍTULO V.

DISEÑO DE ESPESORES.

5.1 Introducción.

Debe reconocerse que los pavimentos que Nicaragua necesita en sus carreteras no son los mismos que fueron en otras épocas. Circunscribiendo las ideas a la Red nacional pavimentada, tal como es el objetivo del presente trabajo, debe de aceptarse un muy importante cambio de circunstancias entre el momento actual y las épocas en que las carreteras nicaragüenses empezaron a ser construidas y en que buenas partes se desarrollaron.

En el desarrollo de la Red son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas. En un principio, la motivación fundamental de la planeación fue, conscientemente o por mandato inapelable de la Red Nacional; la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces carreteros que unen la capital nacional con las cabeceras departamentales, después estas últimas con los municipios y con otras comarcas y finalmente se comunicaron todas esas localidades con la totalidad de los departamentos importantes del país. De esta manera se logró una integración nacional, que garantizó la unidad económica, social y política, a la vez que se lograron las condiciones necesarias para la integración, defensa y homogeneización de la nación.

A esta etapa siguió otra en la que se reconoció que la Red anterior, que podría considerarse como red principal y básica, tendría que ser complementada por una red alimentadora de carácter en gran parte rural y capilar, a fin de lograr un movimiento general más eficiente y de mayor penetración en todo el territorio nacional. De esta manera nació un muy importante número de caminos rurales, secundarios, pavimentados, adoquinados, etc., siempre con el requisito de garantizar el tránsito en toda época del año. Esta red complementaria que deberá expandirse constantemente en el futuro.

A la segunda etapa arriba descrita siguió lo que podría considerarse como una tercera en donde el énfasis principal de la construcción se puso en carreteras muy modernas de altas especificaciones, frecuentemente de dos carriles hasta cuatro. En esta etapa se desarrollaron también nuevas formas de financiamiento, responsabilidad y cuidado de conservación y operación de las mismas carreteras.

En este capítulo, se describen los procedimientos para el diseño de pavimentos tanto flexibles como rígidos. El diseño de pavimentos flexibles incluye la superficie con concretos o mezclas asfálticas y el diseño de pavimentos rígidos con superficie de concreto hidráulico con juntas.

El concepto del diseño de pavimentos tanto flexibles como rígidos, es determinar primero el espesor de la estructura basado en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales; el período de desempeño de un pavimento está en función de la pérdida de serviciabilidad.

5.2 Pavimentos Flexibles.

Para el diseño de espesores en pavimentos flexibles, descritos en este trabajo, se usarán dos tipos de métodos, los cuales son los siguientes:

- Método de AASHTO, 1,993.
- Método del Instituto de Asfalto.

5.2.1 Método de AASHTO.

Para el método de AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_r - 8.07$$

En donde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural

a) Las variables que se tienen que considerar en este método, serán las siguientes:

i. Variables en función del tiempo.

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- El período de diseño.
- La vida útil del pavimento

El período de diseño: Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

La vida útil del pavimento: Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad. El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento; en los casos en que se consideren

reconstrucciones ó rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el período de diseño comprende varios períodos de vida útil que son: el de pavimento original y el de las rehabilitaciones. Se recomiendan períodos de diseño en la siguiente forma:

Tabla 5-1
Períodos de diseño¹

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

ii. Variables en función del tránsito.

Esta variable es la calculada en el capítulo II del presente trabajo, que es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) ó ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente ó ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga (LEF's).

iii. Confiabilidad (R).

Este valor se refiere al grado de seguridad ó veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.

iv. Subrasantes expansivas.

En el caso de existir subrasantes expansivas por efecto de la saturación, es necesario analizar la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) debido a esta causa, haciendo los análisis de laboratorio a los materiales existentes en el proyecto.

v. Criterios para determinar la serviciabilidad.

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto)

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial (P_o) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final ó Terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomiendan por experiencia son:

Serviciabilidad inicial.

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

¹: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Serviciabilidad final².

Pt = 2.5 ó más para caminos principales.

Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor.

vi. Propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales, son las que se valoran para obtener el módulo de resiliencia, ya que en función de éste se llega a los coeficientes de los números estructurales (SN).

vii. Drenajes.

Se estudian los valores con el método de AASHTO y éstos son los coeficientes de capa, los cuales se ajustan con factores mayores ó menores que la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación.

b) Determinación de espesores.

En el inciso a) se presentó la fórmula de diseño para pavimentos flexibles y las variables (numerales del i al vii) que intervienen en ella; en los pavimentos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de diseño se obtiene el número estructural (SN) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural; el diseño esta basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando

i. Determinación del número estructural requerido.

En la figura 5-1 se presenta la figura del ábaco por medio del cual se obtiene el número estructural. Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido son las siguientes:

- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril, para el período de diseño.
- La confiabilidad (R) como se indica en a) iii.
- El conjunto total de las desviaciones estándar (So) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.35 – 0.40
En sobre-capas	0.50

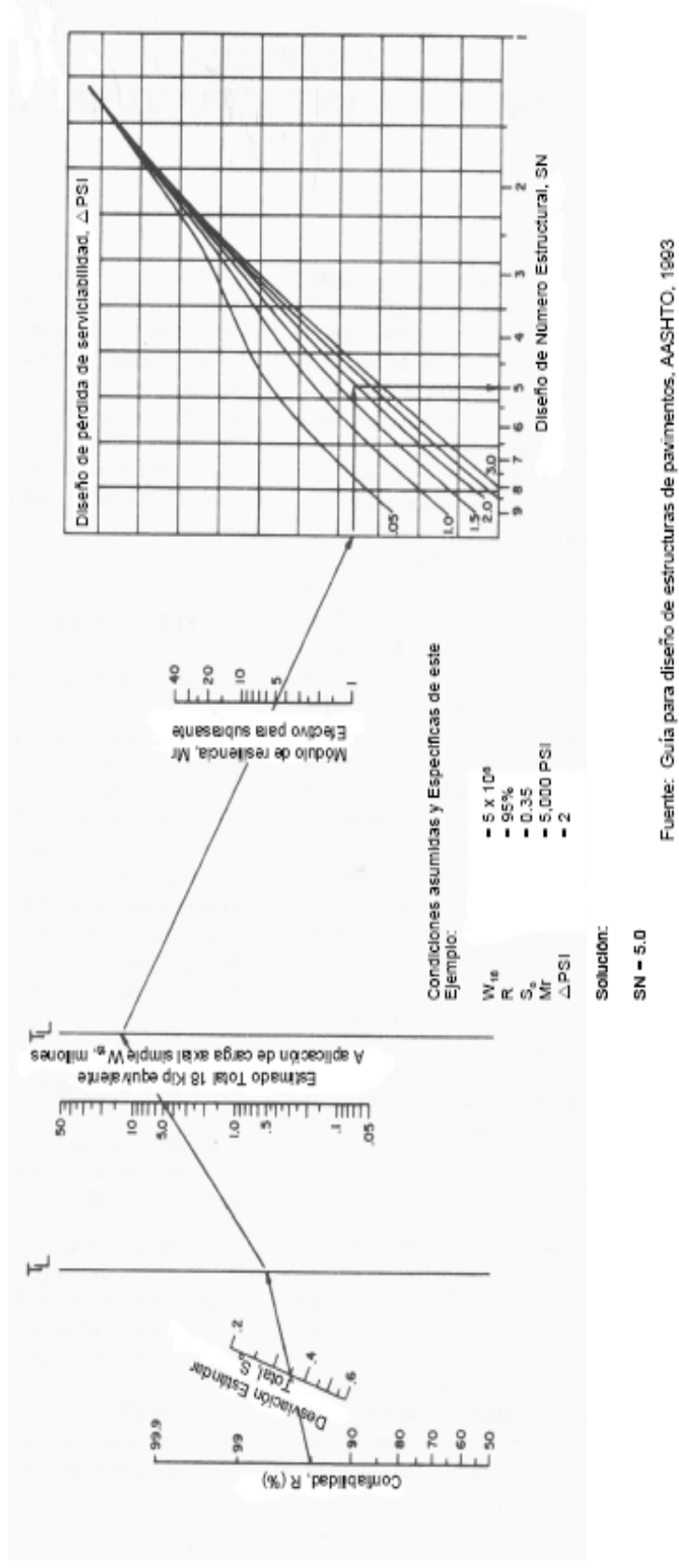
- El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la subrasante (Mr).
- La pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t$

²: Se recomienda que estos valores no sean menores que los indicados.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Figura 5-1.

Diseño de Número Estructural.



La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3 \quad (5-1)$$

En Donde:

- a_1 , a_2 , a_3 son los coeficientes estructurales ó de capa, de la superficie de rodadura, base y sub.-base respectivamente.
- m_2 , m_3 son los coeficientes de drenaje para base y sub.-base.
- D_1 , D_2 , D_3 son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y sub.-base.

Esta fórmula tiene muchas soluciones, en función de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante, existen normativas que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes, por efecto de las capas superiores de mayor resistencia.

Las normas que se deben considerar son las siguientes:

ii. Estabilidad y factibilidad de la construcción.

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

Cuando se utilicen como capa de rodadura tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la subbase ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento.

En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

Tabla 5-2
Espesores mínimos sugeridos.³

Número de ESAL's	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 cm.	10 cm.
50,000 - 150,000	5.0 cm.	10 cm.
150,000 - 500,000	6.5 cm.	10 cm.
500,000. 2,000,000	7.5 cm.	15 cm.
2, 000,000. 7,000,000	9.0 cm.	15 cm.
Más de 7,000,000	10.0 cm.	15 cm.

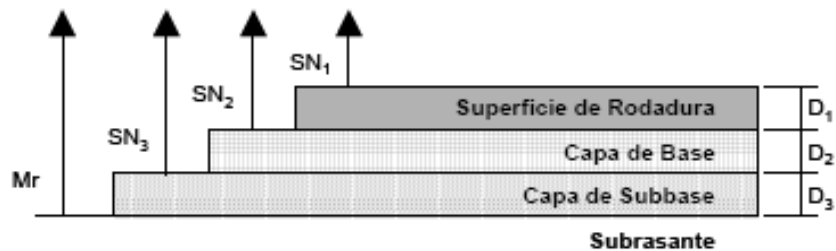
³: Guía para diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993.

Tales mínimos dependen de las prácticas locales y está condicionado el usarlos; diseñadores pueden encontrar necesario modificar hacia arriba los espesores mínimos por su experiencia obtenida; estos valores son sugeridos y se considera su uso tomando en cuenta que son capas asfálticas sobre bases granulares sin tratar.

iii. Espesores mínimos en función del número estructural.

El objeto de este concepto, está basado en que las capas granulares no tratadas, deben de estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El proceso se indica en la figura 5-2.

Figura 5-2
Procedimiento para determinar el espesor.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Para evitar las deformaciones excesivas, los materiales son seleccionados para cada capa así: superficie de rodadura, base granular y subbase con buen CBR, límites, etc. Para cada uno de los materiales se deben conocer los módulos de resiliencia.

Utilizando el ábaco de la figura 5-1, se pueden encontrar los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada, reemplazando el módulo de resiliencia de la capa superior por el módulo de resiliencia de la capa que esta inmediatamente abajo; así, para determinar el espesor D1 de la capa asfáltica se supone un Mr igual al de la base y así se obtiene el SN1, que debe ser absorbido por dicha capa. El espesor de D1 debe ser:

$$D > SN1 / a1 \text{ (valor mínimo requerido para la capa asfáltica)} \quad (5-2)$$

$$D1^* \geq SN1 / a1 \text{ (valor real que debe ser usado)}$$

$$SN1^* = a1 \times D1^* \geq SN1$$

$$SN1^* + SN2^* \geq SN2$$

- a, D, m, y SN están definidos en el texto y son los valores mínimos requeridos.
- El asterisco “*” en D ó SN indica y representa el valor actualmente usado, que debe ser igual ó mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor D1* ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN1^* = a1 \times D1^* \quad (5-3)$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el Mr de la subbase y entonces se obtiene el SN2, a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base. Así:

$$D2^* \geq SN2 - SN1^* / a2 \times m2 \quad (5-4)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor, D2*, y el número estructural absorbido será:

$$SN2^* = a2 \times m2 \times D2^* \quad (5-5)$$

Por último para la subbase, se entra con el Mr correspondiente a la subrasante y se obtiene SN3 = SN para todo el paquete estructural calculado o sea la capa asfáltica, base y subbase. En este caso el espesor es:

$$D3^* \geq SN3 - (SN1^* + SN2^*) / (a3 \times m3) \quad (5-6)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor D3* y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase.

$$SN3^* = a3 \times m3 \times D3 \quad (5-7)$$

Como verificación tenemos:

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* \geq SN \quad (5-8)$$

Con el resultado que se obtiene en la fórmula (5-8) de que el número estructural total debe ser como mínimo igual ó mayor a la suma de los números estructurales de cada capa, el criterio es que cada capa del paquete estructural queda protegida de los esfuerzos a los cuales va a ser sometida.

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas que estén sobre otras que tengan un módulo de resiliencia mayor de 280 MPa (40,000 PSI); en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características, deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma ó utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo; esto quiere decir, que como la capa de abajo tiene un módulo de resiliencia alto, la capa que se coloque encima de ella deberá tener como mínimo un módulo de resiliencia igual ó mayor, y se decidirá si es necesario colocarla ó se utiliza el mínimo especificado.

Para poder determinar el valor del Coeficiente estructural a partir del Modulo elástico del concreto asfáltico, es necesario usar nomogramas según su base triturada o granular, y/o base estabilizada. Ver Figuras 5-1 al 5-5 en Anexos II.

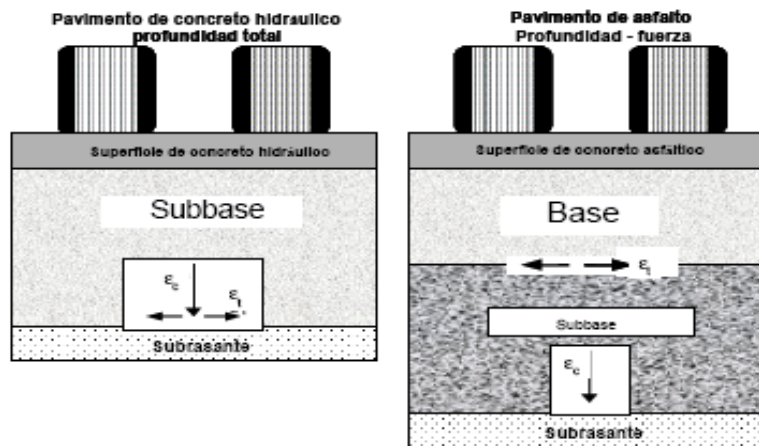
5.2.2 Método del Instituto de Asfalto.

En este procedimiento de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su módulo de elasticidad.

Este procedimiento es usado para el diseño de pavimentos de asfalto compuesto de combinaciones de capa asfáltica, base y subbase sin ningún tratamiento; la subrasante es la capa subyacente más baja y es asumida infinita en el sentido vertical de arriba hacia abajo y en dirección horizontal; las otras capas de un espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto en el sentido horizontal. Una continuidad ó fricción total, es asumida en la unión entre cada una de las capas para efectos del diseño.

En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre la superficie de pavimento producen dos esfuerzos de tensión que son críticos para propósitos del diseño conforme la figura 5-3; estos son: a) el esfuerzo de tensión horizontal ϵ_t sobre el lado debajo en el límite de la capa asfáltica; y 2) el esfuerzo de compresión vertical ϵ_c en la superficie de la subrasante.

Figura 5 – 3.
Localización de tensiones consideradas en el proceso de diseño.



Fuente: Instituto del Asfalto, MS-1, 1,991

Todos los materiales se caracterizan por el Módulo de Elasticidad (E_a) (también llamado Módulo Dinámico (M_d), si las mezclas son de asfalto ó Módulo de Resiliencia (M_r si son materiales granulares ó suelos sin tratar) del cual valores específicos son seleccionados basados en la experiencia y estudios con datos de pruebas verdaderas.

El módulo dinámico (M_d), módulo de elasticidad (E_a) de las mezclas asfálticas, es altamente dependiente de la temperatura que se encuentre sobre el pavimento. Para simular los efectos de la temperatura y sus cambios a través del año, se seleccionaron valores apropiados de módulos dinámicos después de un estudio de la relación módulos-temperatura y las propiedades del asfalto.

El módulo dinámico es función del tiempo de fraguado; períodos de seis meses fueron utilizados para preparar las tablas de diseño; tiempos de fraguado arriba de 24 meses, no tienen significativa influencia sobre el espesor mostrado en las tablas de diseño. El módulo de resiliencia de los materiales granulares sin tratar, pueden variar con las condiciones de esfuerzo en el pavimento. Valores usados en el desarrollo de las tablas de diseño dadas varían poco, desde 103 Mpa (15,000 psi) hasta más de 345 Mpa (50,000 psi).

En adición a los efectos de cambio mensuales de la temperatura a través del año sobre el módulo dinámico de la capa asfáltica, las curvas de diseño también toman consideraciones sobre el efecto de la temperatura sobre el módulo de resiliencia de la subrasante y los materiales de la base.

a) Estimación del tránsito.

En este método se define la diferencia entre período de diseño y período de análisis, en la siguiente forma: Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito en cualquier período de tiempo; el período seleccionado, en años, se define como Período de Diseño, al término de éste, es posible que el pavimento necesite de una acción de rehabilitación mayor, lo cual debe ser una sobrecarpeta de refuerzo para restaurarlo a su condición original.

La vida útil de un pavimento ó Período de Análisis, es el tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que este alcanza las mínimas condiciones de transitabilidad y se puede extender de forma indefinida por medio de la colocación de sobrecarpetas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta debido a cambios significativos como:

- Pendientes.
- Alineamiento geométrico.
- Otros factores.

Como los vehículos tipo camión son los que más daño ocasionan en las carreteras, se debe considerar este tipo de flujo vehicular sobre el carril de diseño, por lo que se utilizan los valores dados en la tabla.

**Tabla 5 – 3.
Factor de distribución por carril⁴.**

Numero de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o mas	40

Para efectos de cálculo, en la tabla 5-4 (factor de crecimiento) se consideran períodos de diseño de 1 a 35 años y tasas de crecimiento vehicular desde 2% hasta 10%.

$$\text{Factor} = \frac{(1 + r)^n}{r}, \text{ donde } r = \frac{\%}{100} \text{ no igual a } 0.$$

Si el crecimiento anual es igual a 0, El Factor de Crecimiento = Período de Diseño.

⁴: Guía para diseño de pavimentos, AASHTO, 1993.

b) Materiales.

En el diseño de espesores de una estructura de pavimento flexible, el método del Instituto de Asfalto, considera como parámetro fundamental la evaluación de los materiales para obtener el Módulo de resiliencia (Mr).

Como no es fácil tener el equipo adecuado para llevar a cabo este tipo de pruebas, se han establecido factores de correlación entre el Módulo de resiliencia (Mr) y la prueba del CBR (AASHTO T-193); los valores obtenidos son bastante aproximados, sin embargo, para obtener resultados más precisos es necesario llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia (Mr) de la Subrasante.

Tabla 5 – 4
Factor de Crecimiento⁵.

Periodo de diseño (años)	Tasa de crecimiento anual (porcentaje)						
	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Para calcular el módulo de resiliencia a partir del CBR se han desarrollado las siguientes fórmulas empíricas:

$$Mr \text{ (MPa)} = 10.3 \times \text{CBR.}$$

$$Mr \text{ (PSI)} = 1,500 \times \text{CBR.}$$

⁵: Instituto de Asfalto (MS-1), 1991.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Es muy importante hacer notar que estos valores solo son aplicables a materiales de la capa de subrasante, ya que no se usan para materiales granulares que se consideren emplear en las capas de base y subbase.

Es necesario para aplicar la metodología descrita, que se incluyan métodos de prueba normados por AASHTO y ASTM, los cuales deben de considerar los parámetros indicados en la Tabla 5-5.

En función del tránsito esperado sobre el pavimento en estudio, el método del Instituto de Asfalto recomienda los siguientes valores percentiles para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa de subrasante, mostrados en la Tabla 5-6.

**Tabla 5 – 5
Normas AASHTO y ASTM⁶.**

Prueba	Uso	AASHTO	ASTM
Límite líquido	Clasificación	T-89	D-4318
Límite plástico	Clasificación	T-90	D-4318
Granulometría	Clasificación	T-88	D-422
Compactación	Relación humedad. densidad	T-180	D-1557
CBR	Básico para diseño de espesores	T-193	D-1883
Valor R	Básico para diseño de espesores	T-190	D-2844
Equivalente de arena	Clasificación	T-176	C-293-79
Pasa tamiz No. 200	Clasificación	T-11 y T-27	C-117-89 y C-136-84
Módulo de resiliencia (Mr)	Básico para diseño de espesores	Se utiliza el método MS-1 del propio Instituto de Asfalto.	

**Tabla 5 – 6
Valor percentil por nivel de tránsito⁷.**

Nivel de tránsito	Valor percentil para Diseño de subrasante
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Con los valores obtenidos en el laboratorio, del Módulo de Resiliencia, de las muestras del campo, se deberá calcular el Mr de diseño de la capa de la subrasante con los percentiles de la tabla anterior.

⁶: Análisis generador por Consultor.

⁷: Instituto de Asfalto (MS-1), 1991.

Para que el diseño de los espesores de una estructura de pavimento llene su cometido, es necesario que los requerimientos de compactación de las capas de base y subbase, cumplan con las siguientes recomendaciones: Las capas de base y subbase que son formadas por materiales granulares sin ningún tratamiento, (no estabilizadas), se deben compactar con un contenido de humedad + ó – 1.5 % de la humedad óptima, para alcanzar la densidad mínima del 100% de la densidad seca máxima de laboratorio; para el efecto se recomiendan los siguientes valores para las diferentes pruebas a realizarse con materiales de subbase y base:

Es importante señalar que también el método incluye factores de medio ambiente y diferentes clases de tipos de asfalto; para el caso se consideran tres diferentes temperaturas dependiendo de la región ó zona en donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos (7°C), templados (15.5°C) y cálidas (24°C) en los cuales se utilizan cementos asfálticos desde el AC-5 hasta el AC-40, por lo que se recomienda la clasificación siguiente:

Tabla 5 – 7
Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima⁸.

Clima	Temperatura media anual del aire (TMAA)	Grado de asfalto
Frío	Menor o igual a 7°C	AC-5, AC-10
Templado	Entre 7° y 24°C	AC-10, AC-20
Cálido	Mayor de 24°C	AC-20, AC-40

Para espesores mínimos en función de la cantidad de tránsito de ejes equivalentes, este método recomienda los siguientes valores para superficies de rodadura construidas sobre bases granulares normales sin ningún proceso de estabilización.

Tabla 5 – 8
Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases⁹.

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del Tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica, en cm.
Hasta 10,000	Ligero	7.5
Entre 10,000 y 1,000,000	Mediano	10.0
Mayor de 1,000,000	Pesado	12.5 o más

c) Espesores de Diseño.

Este método del Instituto de Asfalto, proporciona para el diseño final de los espesores de una estructura de pavimento, 9 Figuras de diseño de la 5-6 a la 5-14* en sistema métrico, decimal y 9 Figuras de diseño de la 5-15 a la 5-23* en sistema inglés, las cuales cubren todas las variables que se puedan involucrar en el diseño y que fueron analizadas en párrafos anteriores.

*: Ver Figuras en Anexo II.

^{8 y 9}: Instituto de Asfalto (MS-1), 1991.

Las figuras se presentan en escalas logarítmicas para los siguientes parámetros:

- 1) Las tres condiciones climáticas consideradas en la Temperatura Media Anual del Aire (TMAA)¹⁰.
- 2) Total de ejes equivalentes acumulados durante el período de diseño, Hoja de Trabajo HT-01.
- 3) Módulo de Resiliencia de la subrasante.
- 4) Capa de Concreto Asfáltico de una sola capa ó espesor total.
- 5) Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 15 cm (6’’)
- 6) Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 30 cm (12’’)

5.3 Pavimentos Rígidos.

Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, descritos en este manual, se usarán dos tipos de métodos, los cuales son los siguientes:

- Método de AASHTO.
- Método del PCA

5.3.1 Método AASHTO.

Para el Método AASHTO la formula de diseño es:

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{18}}{(D + 25.4)^{4.4}}} + (4.22 - 0.32 P_f) \times \log_{10} \left[\frac{M_1 C_{20} (0.09 D^{0.18} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.18} - \frac{23.24}{(E_p / k)^{0.18}} \right)} \right]$$

En donde:

W82 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño.

Zr = Desviación normal estándar.

So = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

¹⁰: Manual de SIECA, Capítulo 7, Pág. 27.

Pt = Índice de serviciabilidad o servicio final.

Mr = Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

Cd = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

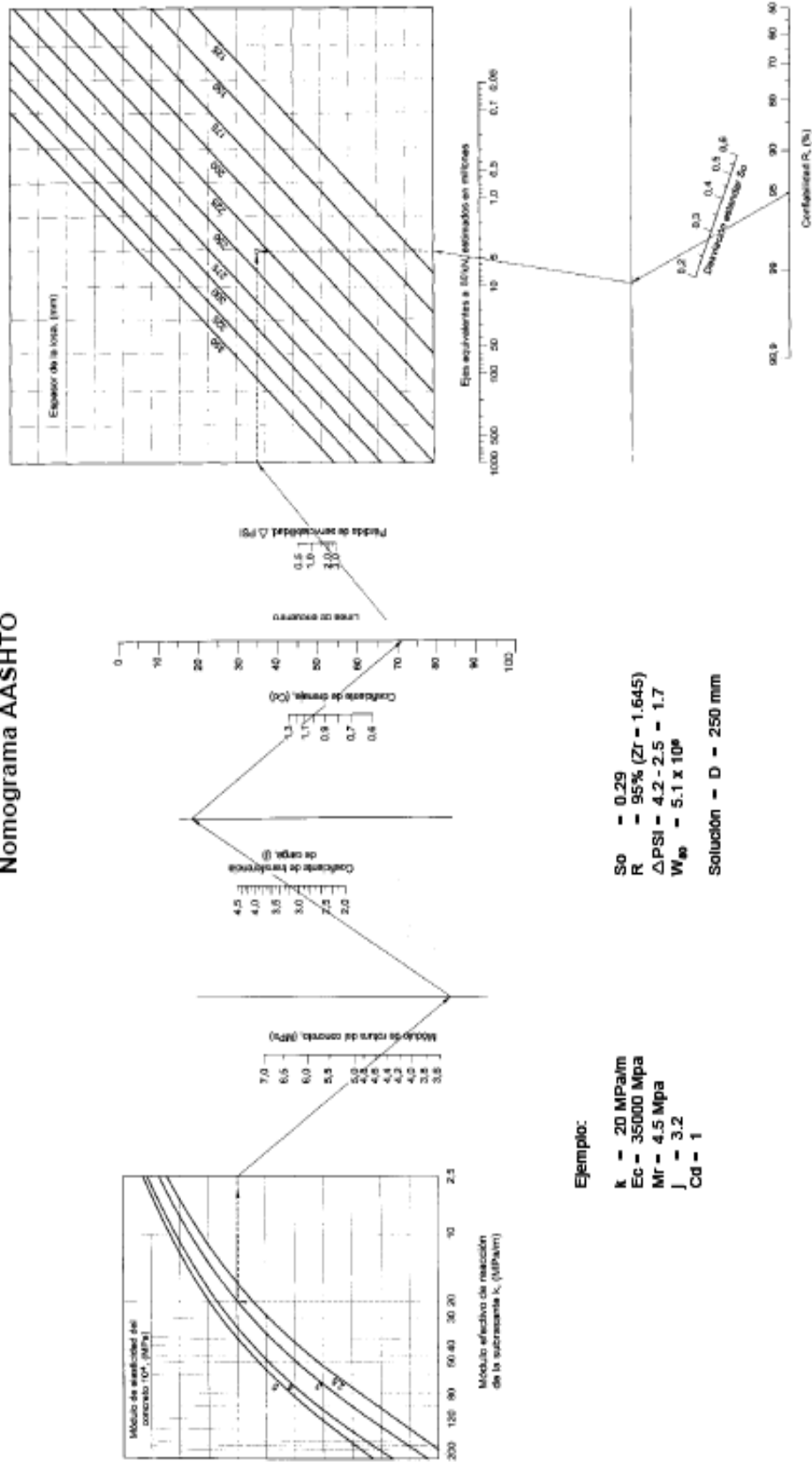
Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

k = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Para facilitar la utilización de la ecuación, se ha preparado un nomograma, representado en la figura 5-4.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Figura 5-4.
Nomograma AASHTO



a) Variables a considerar en este método.

i. Ejes simples equivalentes de 82 kN (W80) a lo largo del período de diseño.

En este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 82 kN (8.0 toneladas métrica ó 18,000 lbs.) los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento durante su período de diseño. Para ello en el Capítulo II, se incluyen las tablas, con los índices de servicio final (Pt) para cada uno de los tres tipos de ejes principales (simple, tándem y tridem).

Para el período de diseño, por el tipo de construcción que es, se necesita que este no sea menor a 20 años, con el objeto de poder considerar diferentes alternativas en el plazo que se decida e incluso es recomendable que, durante el período de análisis se incluya por lo menos una rehabilitación.

Conforme el número de carriles en ambas direcciones para efectos de diseño, el tránsito que se debe de tomar en cuenta es el que utiliza el carril objeto de diseño, por lo que generalmente se admite que en cada dirección circula el 50% del tránsito total (del que viaja en las dos direcciones) y que dependiendo del lugar puede variar entre 30% y 70%; conforme la tabla siguiente:

**Tabla 5 – 9
Porcentajes de camiones en el carril de diseño¹¹.**

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 ó más	40

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Conforme el número de carriles en cada dirección, sobre el carril de diseño se puede suponer que circulan los porcentajes de tránsito siguientes:

**Tabla 5 – 10
Número de carriles en una dirección¹².**

No. de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 kN en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

¹¹ y ¹²: Guía para Diseño de Estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993.

ii. Desviación normal estándar Zr.

Esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal con una media M_t y una desviación típica S_o y por medio de la tabla 5-11 con dicha distribución se obtiene el valor de Z_r en función de un nivel de confiabilidad R , de forma que exista una posibilidad de que $1 - R/100$ del tránsito realmente soportado sea inferior a $Z_r \times S_o$.

Tabla 5 – 11
Valores de Z r en función de la confiabilidad R¹³.

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z r
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

iii. Error estándar combinado So.

Como lo indicado anteriormente, este valor representa la desviación estándar **conjunta**, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_t

Se recomienda utilizar para S_o valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos rígidos	0.30 – 0.40
En construcción nueva	0.35
En sobre-capas	0.40

¹³: Guía para Diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Los niveles de confiabilidad R en relación al tipo de carretera que se trate pueden ser:

Tabla 5 – 12
Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera¹⁴.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	50 – 80

El producto de $Z_r \times S_o$ efectivamente es un factor de seguridad que se aplica a la estimación del tránsito de una carretera, en la fórmula de diseño de AASHTO, ésta misma recomienda que el factor de seguridad este en función del tránsito que circula sobre el carril de diseño.

Tabla 5 – 13
Confiabilidad y factores de seguridad recomendados¹⁵.

Tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes	Confiabilidad R	Z_r	S_o	F.S.
<5	50	0.000	0.35	1.00
5 – 15	50 – 60	0.000 – 0.253	0.35	1.00 – 1.23
15 – 30	60 – 70	0.253 – 0.524	0.35	1.23 – 1.83
30 – 50	70 – 75	0.524 – 0.674	0.34	1.51 – 1.70
50 – 70	75 – 80	0.674 – 0.841	0.32	1.64 – 1.86
70 – 90	80 – 85	0.841 – 1.037	0.30	1.79 – 2.05

iv. Variación del índice de serviciabilidad ΔPSI .

Escoger el índice de serviciabilidad final P_t es una selección del valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo ó una reconstrucción de un pavimento. Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para carreteras menos importantes sea de 2.0; para escoger el valor del índice de serviciabilidad inicial (P_o), es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de esto depende la calidad del pavimento, en los ensayos de pavimentos de AASHO, P_o llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto. La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_t) es:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

¹⁴: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

¹⁵: Diseño, Construcción y Mantenimiento de pavimentos de concreto, Londono, Cipriano, 2001.

v. Coeficiente de drenaje Cd.

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

a) La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento y b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento esta expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. Para el caso se definen varias calidades de drenaje, como sigue:

**Tabla 5 – 14
Calidad del drenaje.**

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Combinando todas las variables que intervienen para llegar a determinar el coeficiente de drenaje Cd se llega a los valores de la siguiente tabla:

**Tabla 5 – 15
Valores de coeficiente de drenaje Cd.**

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

vi. Coeficiente de transmisión de carga (J).

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas), su valor depende de varios factores, tales como: Tipo de pavimento (en masa reforzando en las juntas, de armadura continua, etc.); el tipo de borde ù hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal). La colocación de elementos de transmisión de carga (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados continuos, etc).

En función de estos parámetros, se indican en la siguiente tabla los valores del coeficiente J:

Tabla 5 – 16
Valores del coeficiente de transmisión de carga J.

Tipo de pavimento	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	-----	2.3 – 2.9	-----

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Se considera un pavimento rígido confinado, cuando los extremos de las losas tienen elementos de la misma rigidez que ella, para el caso un hombro de concreto confina la parte principal de la carretera y el coeficiente de transmisión de carga tiende a ser menor, por lo tanto la losa también será de menor espesor.

Un hombro de asfalto tiene menor rigidez que la parte principal de la carretera y se considera semi-confinada, por lo que al ser mayor el coeficiente de transmisión de carga el espesor de la losa aumenta. Dentro de cada intervalo de variación que se ve en la tabla, es recomendable utilizar el valor más alto cuando menor sea el Módulo de reacción de la subrasante k, también cuanto sea más elevado el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

En casos de carreteras de poco tránsito, en que el volumen de camiones sea reducido, entonces se pueden utilizar los valores más bajos de J, ya que habrá menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados.

vii. Módulo de elasticidad del concreto E_c .

El Módulo de elasticidad del concreto (E_c) se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la norma ASTM C-469 o correlacionarlo con otras características del material como es la resistencia a la compresión. En algunos códigos se indica que para cargas instantáneas, el valor del Módulo de Elasticidad (E_c) se puede considerar conforme las ecuaciones de la siguiente tabla:

Tabla 5 – 17
Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de Elasticidad E_c ¹⁶.

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E_c , Mpa	Módulo de Elasticidad E_c , Kg/cm ²
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

En donde: f'_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días en Mpa o kg/cm² para obtener E_c en Mpa o kg/cm²

¹⁶: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 2001.

viii. Factor de pérdida de soporte L_s .

Este factor, es el valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la subbase por corrientes de agua ò por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto; pero si está en forma indirecta a través de la reducción del Módulo de reacción efectivo de la superficie (subrasante) en que se apoyan las losas.

En la siguiente tabla se dan valores de L_s para distintos tipos de subbases y bases.

Tabla 5 – 18
Valores del factor de pérdida de soporte L_s por el tipo de subbase o base

Tipos de subbase o base	Factor de pérdida de soporte
Subbases granulares tratadas con cemento (Mr : de 7,000 a 14,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases tratadas con cemento (Mr : de 3,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Bases asfálticas (Mr : de 2,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases estabilizadas con asfalto (Mr : de 300 a 2,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Estabilización con cal (Mr : de 150 a 1,000 Mpa)	1.00 a 3.00
Materiales granulares sin tratar (Mr : de 100 a 300 Mpa)	1.00 a 3.00
Suelos finos y subrasantes naturales (Mr : de 20 a 300 Mpa)	2.00 a 3.00

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,983

En caso de que utilizándose subbases no erosionables, se llega a producir en la subrasante asentamientos diferenciales, por el hecho de la existencia de arcillas higroscópicas ò por la excesiva expansión durante las épocas de heladas, deben adoptarse valores de L_s entre 2.0 y 3.0; el efecto que produce la pérdida del valor soporte en la reducción del Módulo de Reacción efectivo k se encuentra en la figura 5-24 (Anexo II, Capítulo V).

ix. Módulo de reacción k .

El Módulo de reacción (k) de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto ò Módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del Módulo de Resiliencia de la subrasante y subbase, así como el Módulo de Elasticidad de la subbase.

Para la determinación del Módulo de elasticidad de la subbase, es factible la correlación con el uso de otros parámetros, tales como: CBR y valor R. Es recomendable que el Módulo de elasticidad de la subbase no sea mayor de 4 veces del valor de la subrasante.

Ya que el valor del Módulo de resiliencia (M_r) de la subrasante, cambia a lo largo del año debido a ciclos de enfriamiento y calentamiento, para determinar el valor efectivo del módulo de reacción de la subrasante (k), es necesario calcularlo para cada mes del año.

5.3.2 Método de Portland Cement Association (PCA).

Este método se aplica a diferentes tipos de pavimentos rígidos, tales como:

- Los pavimentos de concreto simple, se construyen sin acero de refuerzo y sin varillas de transferencia (dovelas) de carga en las juntas, ya que la transferencia se logra a través del esfuerzo de corte proporcionado por los agregados situados en las caras agrietadas que se forman por el corte de la junta entre losas contiguas; para que ésta transferencia sea efectiva es necesario que la longitud de las losas sean cortas.
- Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de carga (dovelas), se construyen sin acero de refuerzo, pero en las juntas de contracción se colocan varillas lisas que tienen la función de transmitir cargas a las otras losas; para este caso, es necesario que las losas también sean cortas con el objeto de tener mejor control sobre los agrietamientos.
- Los pavimentos de concreto reforzado tienen acero de refuerzo dentro de la losa así como varillas de transferencia de carga (dovelas) en las juntas de contracción. Las separaciones en las juntas son mayores a las que se utilizan en pavimentos convencionales, por lo que es posible que se produzcan más fisuras transversales las cuales se mantienen prácticamente cerradas debido al refuerzo de acero, lo que permite una mejor transferencia de cargas.
- Los pavimentos de refuerzo continuo, se construyen sin juntas de contracción; por tener una alta y continua cantidad de acero de refuerzo en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales en intervalos relativamente cortos, pero debido al acero de refuerzo producen un alto grado de transferencia de cargas en las caras de las fisuras.

a) Elementos básicos.

En pavimentos de concreto simple, el espaciamiento entre juntas no debe exceder los 4.50 metros, para que las losas tengan un buen comportamiento. En pavimentos con dovelas, las losas no deben ser mayores de 6.00 metros y en pavimentos reforzados las losas no deben ser mayores de 12.00 metros, lo cual permite un buen comportamiento, ya que espaciamientos mayores a los mencionados, produce problemas tanto en las juntas como en las fisuras transversales intermedias.

El procedimiento de diseño desarrollado por PCA, establece varias condiciones, tales como:

- La transferencia de cargas, dependiendo del tipo de pavimento que se considere.
- El uso de hombros de concreto ó asfalto adheridos al pavimento, permite reducir los esfuerzos de flexión y deflexiones, producidos por las cargas de los vehículos en los bordes de las losas.

- Para reducir los esfuerzos que se producen al paso de las ruedas sobre las juntas, es necesario el uso de subbases estabilizadas, ya que estas proporcionan superficies de soporte de mejor calidad y resistencia a la erosión a causa de las deflexiones de las losas de pavimento.
- Se adicionan dos criterios básicos en el diseño y son:
 - i. FATIGA. Esta sirve para mantener los esfuerzos que se producen dentro de los límites de seguridad, ya que el paso de cargas sobre las losas del pavimento producen esfuerzos que se convierten en agrietamientos.
 - ii. EROSION: Este sirve para limitar los efectos de deflexión que se producen en los bordes de las losas, juntas y esquinas del pavimento; también para tener control sobre la erosión que se produce en la Subbase ó Subrasante y los materiales que conforman los hombros. Este criterio es necesario, ya que evita fallas del pavimento, como succión de finos de la capa de apoyo que producen a su vez desnivel entre losas y destrucción de hombros, siendo situaciones independientes de la fatiga.
- Los camiones con ejes trídrem se consideran dentro del diseño, a pesar de que los sencillos y los tándemes son los más utilizados en las carreteras; los ejes trídrem pueden llegar producir más daño por efecto de erosión que por fatiga.

Por lo manifestado anteriormente, seleccionar el espesor de pavimento por este método, depende sustancialmente de suministrar otros factores diferentes a los utilizados comúnmente.

b) Factores de diseño.

Fundamentalmente para desarrollar el diseño de un pavimento rígido, es necesario conocer las condiciones del lugar para escoger el tipo de pavimento que se va a construir, así como las características de la subbase y tipo de hombros a utilizar; el procedimiento se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores:

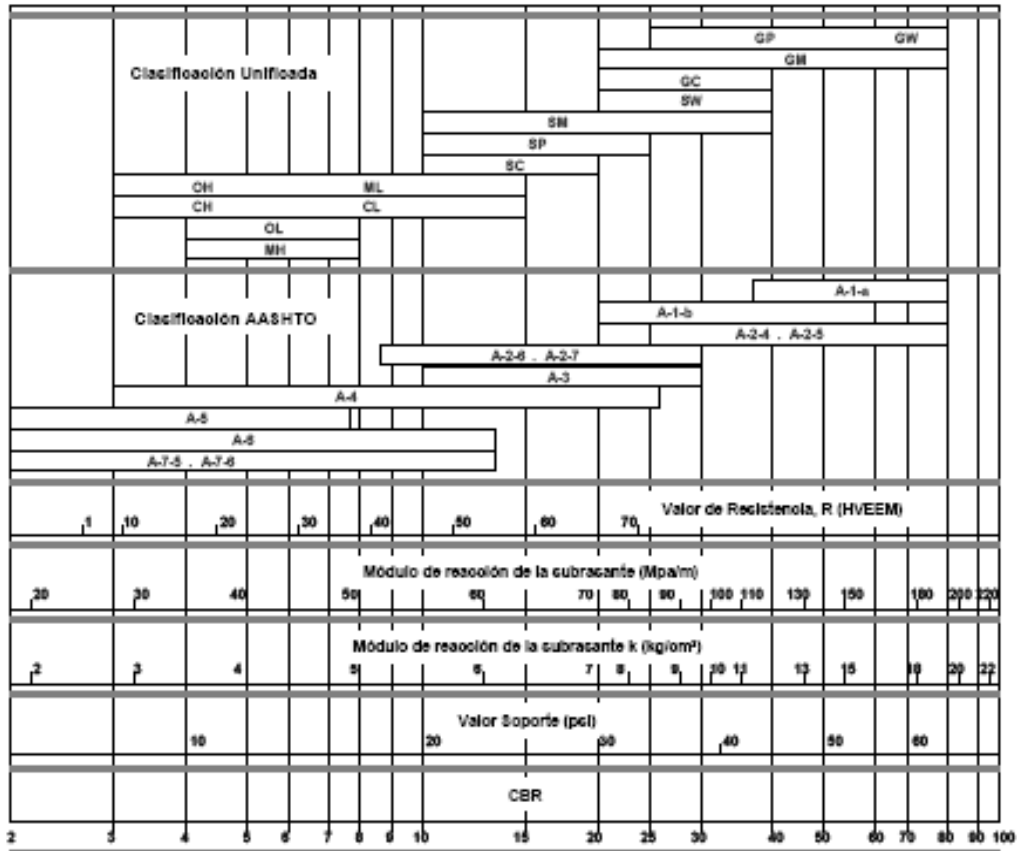
b.1) Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de Rotura, MR). Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento. La deformación que se produce en el pavimento de concreto por efecto de las cargas, hace que las losas estén sometidas a esfuerzos de tensión y compresión. La relación existente entre las deformaciones debido a las cargas y los esfuerzos de compresión es muy baja como para incidir en el diseño del espesor de la losa. La relación entre la tensión y la flexión son mayores, situación que afecta el espesor de la losa. De lo anterior se deduce que los esfuerzos y la resistencia a la flexión son factores principales a considerar en el diseño de pavimentos rígidos.

b.2) Capacidad soporte de la Subrasante ó de la Subbase (k).

La capacidad soporte, es el valor del Módulo de Reacción (k) de la capa de apoyo de un pavimento de concreto. Este valor se puede estimar por correlación con el CBR ya que no es necesariamente indispensable tener un valor exacto de k, variaciones mayores de este valor no afectan los espesores de diseño. En la Figura 5-5 las relaciones que se muestran son suficientes para el diseño de pavimentos por este método.

Figura 5 – 5

Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos



Fuente: Generada por el Consultor

Las sub.-bases son necesarias con el objeto de prevenir el efecto de succión, pero además incrementan la capacidad soporte del pavimento, situación que se aprovecha con el objeto de poder reducir el espesor de la losa. En la tabla 5-19 se puede observar como se incrementa el valor de k al colocar una Subbase granular.

Tabla 5 – 19
Efecto de la Subbase granular sobre los valores de k

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

a.3) Período de diseño.

El período de diseño se considera como el período de análisis del tránsito, ya que es difícil hacer la predicción del tránsito con suficiente aproximación para un largo tiempo. Para un pavimento rígido se considera adecuado tomar 20 años como período de diseño; por lo que el que se elija incide directamente en los espesores, ya que esto determina cuantos vehículos tendrán que circular sobre el pavimento en ese lapso. El seleccionar el período de diseño de un pavimento es función del tipo de carretera, nivel de tránsito, análisis económico y el servicio que preste.

a.4) Tránsito.

Las características principales de tránsito que se relacionan con el diseño de pavimentos rígidos son el número de pasadas de ejes y la importancia de las cargas. Las cargas más pesadas por eje que se esperan durante el período de diseño, son las que definen los esfuerzos a los que va a estar sometido dicho pavimento.

Los valores de tránsito a obtener se clasifican así:

- TPD tránsito promedio diario en ambas direcciones.
- TPD-C tránsito promedio diario de vehículos pesados en ambas direcciones.
- Cargas por eje de los vehículos pesados.

El dato necesario para obtener el tránsito de diseño, consiste en asumir tasas de crecimiento anual que relacionen factores de proyección; en la tabla 5-20 se presenta la relación entre las tasas de crecimiento anual y los factores de proyección para períodos de 20 y 40 años, conforme las recomendaciones de PCA.

El TPD-C es un dato importante en el diseño de pavimentos, ya que incluye buses y camiones con 6 ruedas ó más y excluye los vehículos que tienen hasta 4 ruedas. Es conveniente para propósitos de diseño calcular el número total de vehículos pesados esperados durante el período de diseño.

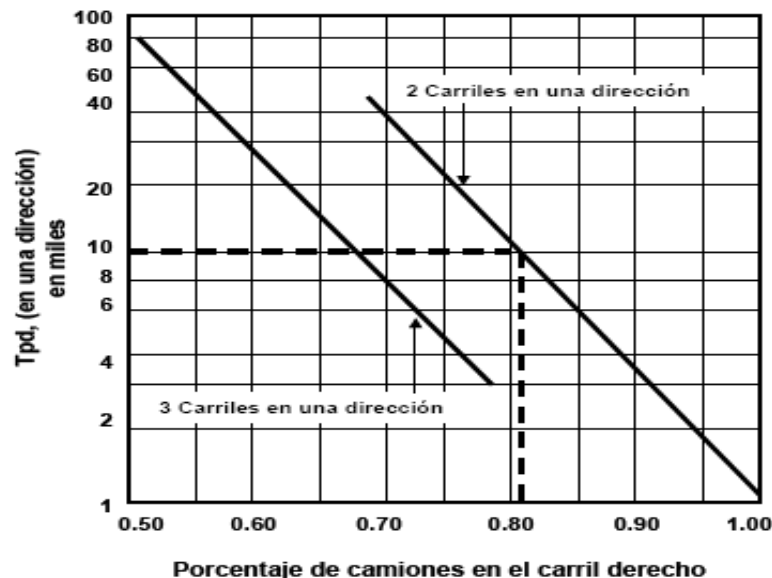
Tabla 5 – 20
Tasas anuales de crecimiento con sus correspondientes factores de proyección¹⁷.

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Regularmente, se asume que las cargas y volúmenes de tránsito se distribuyen en partes iguales en las dos direcciones, pero esto no es real en su totalidad, ya que puede suceder en casos específicos, que la mayor parte de los camiones viaje a plena carga en una dirección y retornen vacíos en la otra. Para vías de cuatro carriles ó más, el porcentaje de vehículos comerciales debe de ajustarse utilizando la Figura 5-6.

Figura 5 – 6

Porcentaje de camiones en el carril de diseño en una carretera de varios carriles.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

¹⁷: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993.

a.5) Factor de seguridad de carga.

Este método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (Fsc), para lo cual se recomienda lo siguiente:

- Para vías que tiene múltiples carriles, en los cuales se espera un flujo de tráfico interrumpido con un elevado volumen de tránsito pesado, $Fsc = 1.2$
- Para carreteras y vías urbanas en las que el tránsito esperado es de un volumen moderado de vehículos pesados $Fsc = 1.1$
- Para calles residenciales y otras que soporten bajo volumen de tránsito de camiones, $Fsc = 1.0$

Además de los factores de seguridad de carga, el método es conservador ya que incluye situaciones de tránsito de camiones muy cargados, variaciones en los materiales, proceso constructivo y espesor de las capas. En algunos casos se podría justificar el empleo de un factor 1.3 con el objeto de mantener un nivel de serviciabilidad mayor durante el período de diseño, por ejemplo: una autopista de tránsito muy alto y sin rutas alternas de desvío.

b) Diseño de espesores.

En los proyectos de campo se busca el formato para el desarrollo del diseño y para utilizarlo se necesitan datos de entrada, factores de diseño, etc., tales como:

- Tipo de hombros y juntas.
- Resistencia a la flexión del concreto ó Módulo de rotura.
- Módulo de reacción de la subrasante (k).
- Factor de seguridad de carga (Fsc).
- Distribución de cargas por eje.
- Número de repeticiones esperadas de las diversas cargas por eje, en el carril de diseño durante el período de diseño.
- Análisis de fatiga, para controlar el agrietamiento por fatiga.
- Análisis de erosión, para control de la erosión en la fundación, los hombros, el bombeo de la subbase y el desnivel entre las losas.

5.3.3 Diseño de juntas.

Tiene como objetivo principal, el control de la fisuración y agrietamiento natural que sufre el concreto durante el proceso constructivo y de uso. Además, tiene las siguientes funciones:

- Controla el agrietamiento transversal y longitudinal
- Divide el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo
- Permite el movimiento y alabeo de las losas por efecto de las cargas de tránsito
- Permite transferencia de cargas entre losas

El sistema de juntas se diseña teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- i. Condiciones ambientales.
- ii. Espesor de losa.
- iii. Sistema de transferencia de carga.
- iv. Tránsito.
- v. Características de los materiales.
- vi. Tipo de sub.-base.
- vii. Características del material sellante.
- viii. Diseño del hombro.

Los tipos más comunes de juntas son los siguientes:

- Juntas transversales de construcción.
- Juntas transversales de expansión.
- Juntas transversales de contracción.
- Juntas longitudinales de contracción.
- Juntas longitudinales de construcción.

a) Juntas transversales de construcción.

Para los constructores estas son las juntas principales, porque no es fácil definir donde se parara la obra. Si la junta transversal de construcción se va a realizar en el tercio medio, de una losa de un carril adyacente es necesario que la junta de construcción este dotada de hierros para cocerla evitando con ellos los movimientos relativos y eliminando la posibilidad de que se desarrolle una fisura en la losa adyacente.

El método más común para finalizar las labores de construcción es rematando la obra contra una formaleta de madera que genera una cara lisa, por lo cual es necesario dotar esta junta de pasadores de carga, así en el resto del pavimento la transferencia de cargas se esta haciendo a través de la trabazón de agregados, y por ende la formaleta tiene que estar dotada de agujeros que permitan insertar las dovelas.

La formaleta se deja en su sitio hasta el momento de reiniciar las obras cuando se remueve. También se puede hacer una junta de construcción cortando el concreto, en cuyo caso se extiende el concreto pasando por el sitio en que debe quedar la junta, y luego con la ayuda de sierras se corta y se remueve el concreto que este más allá del sitio de la junta de construcción.

Para alcanzar un buen resultado con el corte del concreto es necesario que las últimas tandas de concreto desarrollen más rápido la resistencia inicial. Al igual que con las juntas de construcción formaleteadas, es necesario poner dovelas, por lo que en este caso se necesita perforar agujeros para instalarlas.

Las juntas transversales de construcción no necesitan el corte inicial para debilitar la sección, solo es necesario hacer el corte secundario para conformar la caja en la que se aloja el material de sello.

b) Juntas transversales de expansión.

b.1) Juntas con dovelas.

En las juntas transversales de expansión a uno de los extremos de las dovelas se les monta una cápsula de 50 mm de longitud, que permita absorber los movimientos de expansión de las losas, dicha cápsula se debe dotar con sistema que impida que se caiga, o se salga de la dovela durante la colocación.

Las condiciones que se le piden a las dovelas en las juntas de expansión, en cuanto al alineamiento y a la lubricación, son las mismas que las pedidas en las juntas transversales de contracción.

Dado que las juntas de expansión son más anchas que las de contracción a la canastilla en la que se van a fijar las dovelas de estas juntas, se le dota de un material de sello preformado y compresible con una altura idéntica a la losa de concreto.

b.2) Junta sin dovelas.

La característica de las juntas de expansión sin dovelas es que el espesor de la losa se incrementa para reducir los esfuerzos de borde. El incremento del espesor es del orden de un 20% y la transición se desarrolla suavemente en una longitud de 6 a 10 veces el espesor de la losa.

c) Junta Transversal de contracción.

Son las juntas que se generan al final del día o cuando se suspende la colocación del concreto. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado siempre que sea necesario. Si es posible se hará coincidir las juntas de construcción con una de contracción, si no, se hará en el tercio medio de la placa. Siempre se deben construir perpendicularmente al centro de la vía aún cuando las de contracción tengan esviaje.

d) Junta longitudinal de contracción.

Las juntas longitudinales, cuando el pavimento se construye con un ancho de dos o más carriles, se cortan de manera similar a las juntas transversales de contracción, solo que el momento del corte no es tan crítico, pero se deben cortar rápidamente si la subbase es estabilizada, apenas se corten las juntas transversales. En cuanto a las barras de anclaje, los equipos de formaletas deslizantes tienen dispositivos para insertarlas.

Por el poco movimiento que tienen estas juntas no necesita de una caja para el sello, basta hacer un corte de 3 a 6 mm de ancho, con una profundidad igual a la tercera parte del espesor de la losa. Sin embargo, si se pide la caja para el sello, esta se puede hacer con un equipo multi-disco que corta a la profundidad y anchos deseados.

Con el fin de optimizar el costo de los selladores de las juntas, en las longitudinales se puede utilizar un sellador diferente como consecuencia de los menores movimientos de estas juntas.

e) Junta longitudinal de construcción.

En estas juntas hay dos aspectos para tener en cuenta, la inserción de las barras de anclaje y el sellado de las juntas. Respecto a la inserción de las barras de anclaje esto se puede

hacer introduciendo, en el concreto fresco, las barras dobladas en un ángulo de 90°, perforando agujeros en las losas y luego meter las barras en ellos y asegurarlas con un mortero epóxico para que puedan cumplir con su función, que es anclar las losas.

Cuando se opta por insertar las barras dobladas en un ángulo de 90° se debe preferir el acero de 40,000 psi al de 60,000 psi ya que toleran mejor las deformaciones. Las juntas longitudinales de construcción necesitan una caja para el sello, muy ancha para poder acomodar las variaciones longitudinales, en el borde de las losas, generadas por el proceso constructivo, pero el corte y el sellado son similares al de las juntas longitudinales de contracción.

En las siguientes tablas se presentan resúmenes de las especificaciones para la colocación de juntas y dovelas.

Tabla 5 – 21
Resumen de especificaciones para colocación de juntas.

Espesor de Losa (cm.)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm.)	Profundidad de corte de juntas (cm.)	Profundidad del material de sellado (cm.)	Ancho del corte para la junta (cm.)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Columna 1: El espaciamiento entre juntas, es 24 veces el espesor de la losa, en centímetros.

Columna 2: La profundidad del corte de la junta, es 1/3 del espesor de la losa, en centímetros.

Columna 3: La profundidad del material de sellado, es 1/5 de la profundidad de la junta, en centímetros.

Columna 4: Al ancho del corte de la junta es 1/10 de la profundidad de la junta, en centímetros.

Tabla 5 – 22
Resumen de especificaciones para colocación de dovelas.

Espesor de losa (cm.)	1	2	3	4	5
	Diámetro de Dovelas cm (plg)	Largo de Dovelas (cm.)	Diámetro Comercial de dovela (plg)	Profundidad de dovelas (cm.)	Separación entre dovelas (cm.)
15	1.88 (0.74)	28	$\frac{3}{4}$	7.50	30.00
16	2.01 (0.79)	29	$\frac{3}{4}$	8.00	30.00
17	2.13 (0.84)	31	$\frac{7}{8}$	8.50	30.00
18	2.26 (0.89)	32	$\frac{7}{8}$	9.00	30.00
19	2.39 (0.94)	34	1	9.50	30.00
20	2.49 (0.98)	35	1	10.00	30.00
21	2.62 (1.03)	37	1	10.50	30.00
22	2.74 (1.08)	38	1 $\frac{1}{8}$	11.00	30.00
23	2.87 (1.13)	40	1 $\frac{1}{8}$	11.50	30.00
24	3.00 (1.18)	41	1 $\frac{1}{8}$	12.00	30.00
25	3.12 (1.23)	43	1 $\frac{1}{4}$	12.50	30.00
26	3.25 (1.28)	44	1 $\frac{1}{4}$	13.00	30.00
27	3.38 (1.33)	46	1 $\frac{3}{8}$	13.50	30.00
28	3.51 (1.38)	47	1 $\frac{3}{8}$	14.00	30.00
29	3.63 (1.43)	49	1 $\frac{3}{8}$	14.50	30.00
30	3.76 (1.48)	50	1 $\frac{1}{2}$	15.00	30.00
31	3.89 (1.53)	52	1 $\frac{1}{2}$	15.50	30.00
32	3.99 (1.57)	53	1 $\frac{1}{2}$	16.00	30.00
33	4.11 (1.62)	55	1 $\frac{5}{8}$	16.50	30.00
34	4.24 (1.67)	56	1 $\frac{5}{8}$	17.00	30.00
35	4.37 (1.72)	58	1 $\frac{3}{4}$	17.50	30.00

Columna 1: El diámetro de la dovela, es de 1/8 del espesor de la losa, en pulgadas

Columna 2: Largo de dovelas es igual a 12 veces su diámetro más 5 centímetros

Columna 3: Diámetro de la dovela convertido a Diámetro comercial, en pulgadas

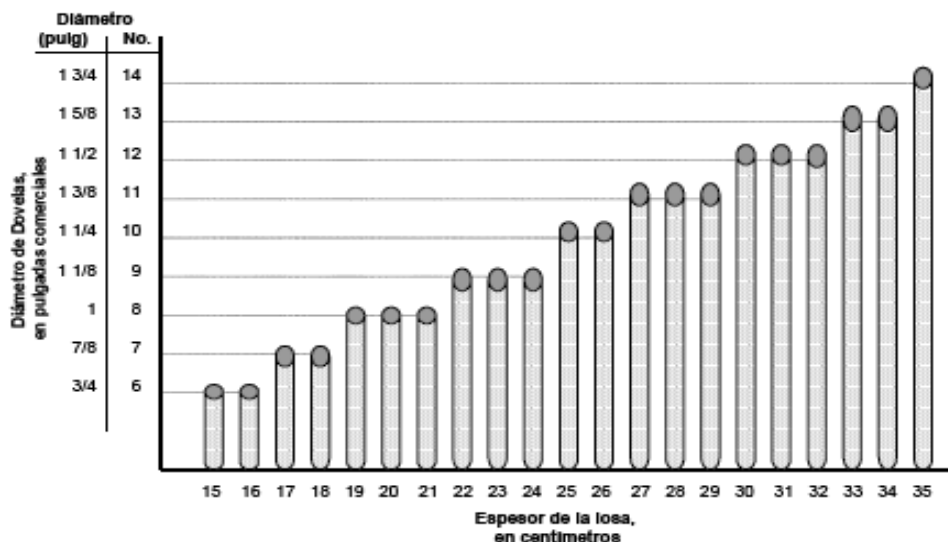
Columna 4: La profundidad de instalación de la dovela es 1/2 del espesor de la losa, en centímetros

Columna 5: La separación recomendable entre dovelas, en centímetros.

En la Tabla 5-22 se relacionan los datos obtenidos en la Figura 5-7, respecto al diámetro comercial de la dovela (columna 3) con el espesor de la losa.

Figura 5 – 7

Detalle de diámetros comerciales de dovelas, respecto al espesor de losa



5.3.3.1 Selladores de juntas.

Su propósito es minimizar la filtración de agua superficial dentro de las juntas y las capas subyacentes. Así como, la entrada de materiales incompresibles que puedan ocasionar desportillamientos y daños mayores. Este proceso consiste en el aserrado de la losa, entre 2 y 4 horas después de su colocación, en los diámetros indicados en la Figura 5-7.

Posteriormente se coloca el cordón de respaldo y sobre el mismo, el material sellador. En la tabla 5-23 se muestran los distintos tipos de selladores utilizados en Centroamérica. Los materiales de relleno y selladores para juntas deben ajustarse a las normas AASHTO y cumplir con lo indicado en la tabla 5-23:

Tabla 5 – 23
Materiales más comunes para sellados de juntas.

Tipo de sellador	Especificación
Selladores aplicados en caliente	
➤ Asfalto polímero	AASHTO M-173
➤ Sellador polímero	AASHTO M-301
➤ Sellador elastomerito	AASHTO M-282
Sellos premoldeados	
➤ Sellos de compresión	AASHTO M-220
Material de relleno	
➤ Material de relleno premoldeado de fibra	AASHTO M-213
➤ Material de relleno hule-espuma	AASHTO M-213
➤ Material de relleno bituminoso	AASHTO M – 33

De utilizar un ligante de polímero y agregado fino, debe ser en las proporciones recomendadas por el fabricante y debe tener una resistencia a la compresión mínima de 25 MPa (3,625 psi) en 4 horas.

CAPÍTULO VI.

IMPACTO AMBIENTAL.

6.1 Introducción.

Los proyectos de infraestructura carretera producen distintos efectos al medio ambiente, por lo cual son sometidos a un análisis de impacto ambiental, con el objeto de identificar y valorar los impactos potenciales que futuras obras de este tipo generarán al ambiente. A este proceso se le denomina “evaluación de impacto ambiental” (EIA).

Las evaluaciones ambientales enfatizan la identificación oportuna de problemas ambientales en el ciclo del proyecto para diseñar obras con mejoras ambientales y así evitar, atenuar o compensar los impactos adversos que pueden ser producidos.

Las construcciones horizontales (caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, oleoductos, etc.), en mayor o menor grado, afectan negativamente al medio ambiente al extenderse por grandes distancias sobre terrenos de variadas características y condiciones, alterando ecosistemas y recursos naturales. Estos efectos se producen de varias maneras, entre ellas:

1. Alteración de los patrones de drenaje de la zona de emplazamiento.
2. Concentración de escorrentía, erosión de suelos y sedimentación.
3. Perturbación del hábitat de la flora y la fauna.
4. Reubicación de asentamientos humanos y/o irrupción en la vida de las comunidades aledañas.
5. Contaminación del aire, el suelo, el agua (ríos, lagos, agua freática, mares, etc.).

El impacto ambiental es la transformación, modificación o alteración de cualquiera de los componentes del medio ambiente (biótico, abiótico y humano), como resultado del desarrollo de un proyecto en sus diversas etapas. La información sobre los impactos ambientales potenciales de una acción propuesta forma la base técnica para comparaciones de alternativas, inclusive la alternativa de no acción. Todos los efectos ambientales significativos, inclusive los beneficiosos, deben recibir atención.

En Nicaragua ya se cuenta con especificaciones constructivas y normas que tratan de proteger el ambiente y los recursos naturales en la construcción vial, le faltan normas generales de planificación vial con criterios que protejan el ambiente (Desarrollo de planes viales, normas de localización y diseño y normas de mantenimiento y operaciones de carreteras)

El PNT 99, tal como fue expresado en la fase de diagnóstico, comprende básicamente, la construcción, mejoramiento o rehabilitación de carreteras y caminos existentes, los cuales ya afectaron al entorno en lo que se refiere a la irrupción y los impactos negativos sobre el ambiente, al crecer la demanda de transporte con el incremento de las actividades agrícola e industrial, mas la presión demográfica y de integración nacional, la red existente continuará ejerciendo e incrementando sus efectos sobre la calidad ambiental.

CAPÍTULO VII.

ESTUDIO DE CASO.

En este capítulo se tomara en cuenta el Proyecto Santa Rita – Izapa, en carácter de su evaluación comparativa en el diseño de pavimentos así como su estándar económico.

7.1 Localización y características de la Región.

7.1.1 Localización.

La región sobre la que se desarrolla el proyecto corresponde a la zona occidental del país, en el Departamento de Managua, donde se presentan terrenos planos con pendientes suaves y tangentes largas, debido a la proximidad del proyecto con la costa del Océano Pacífico.

La carretera sigue en general una dirección Nor-Oeste, atravesando los poblados de El Quebracho, Ojo de Agua y El Tamarindo.

La ubicación geográfica del proyecto es la siguiente:

Latitud: Entre los 12°04' y los 12°16' en el Hemisferio Norte
Longitud: Entre los 86°29' y los 86°44' en el Hemisferio Occidental

En la Figura N° 7.1 y N° 7.2 se muestra el mapa de localización de este proyecto dentro de su contexto nacional y regional respectivamente.

7.1.2 Clima y vegetación.

El clima en esta zona se clasifica como de sabana tropical, que se caracteriza por ser bastante cálido y seco. La temperatura media fluctúa entre los 25° y los 42° centígrados y la precipitación media anual varía entre los 1,000 y 1,600 mm.

La vegetación en general es escasa, producto de las actividades agrícolas a las que se dedica la inmensa mayoría de propietarios de la región, así como por el despale a que han estado sometidos los bosques de la zona para la siembra de algodón en las décadas de los '60 y '70, y por la utilización de otras especies como material de combustión para la cocción de sus alimentos.

Según las características hidrográficas del área, se distinguen dos tipos de zona, una de planicies, y otra de valles, esta última compuesta por cursos de agua bien definidos, algunos con un caudal permanente a lo largo del año y otros con cauces secos en la época de estiaje, donde, dependiendo de la pendiente, el escurrimiento es más o menos torrencioso.

Los principales ríos que atraviesa la carretera son: San Lorenzo, Soledad, Alcaraván, Candelaria, Apompua y El Tamarindo, en los cuales existen puentes de dos vías, aunque existen muchos otros ríos intermedios que son salvados mediante cajas de concreto.

Figura N° 7.1
Mapa de Localización del Proyecto en el Contexto Nacional.

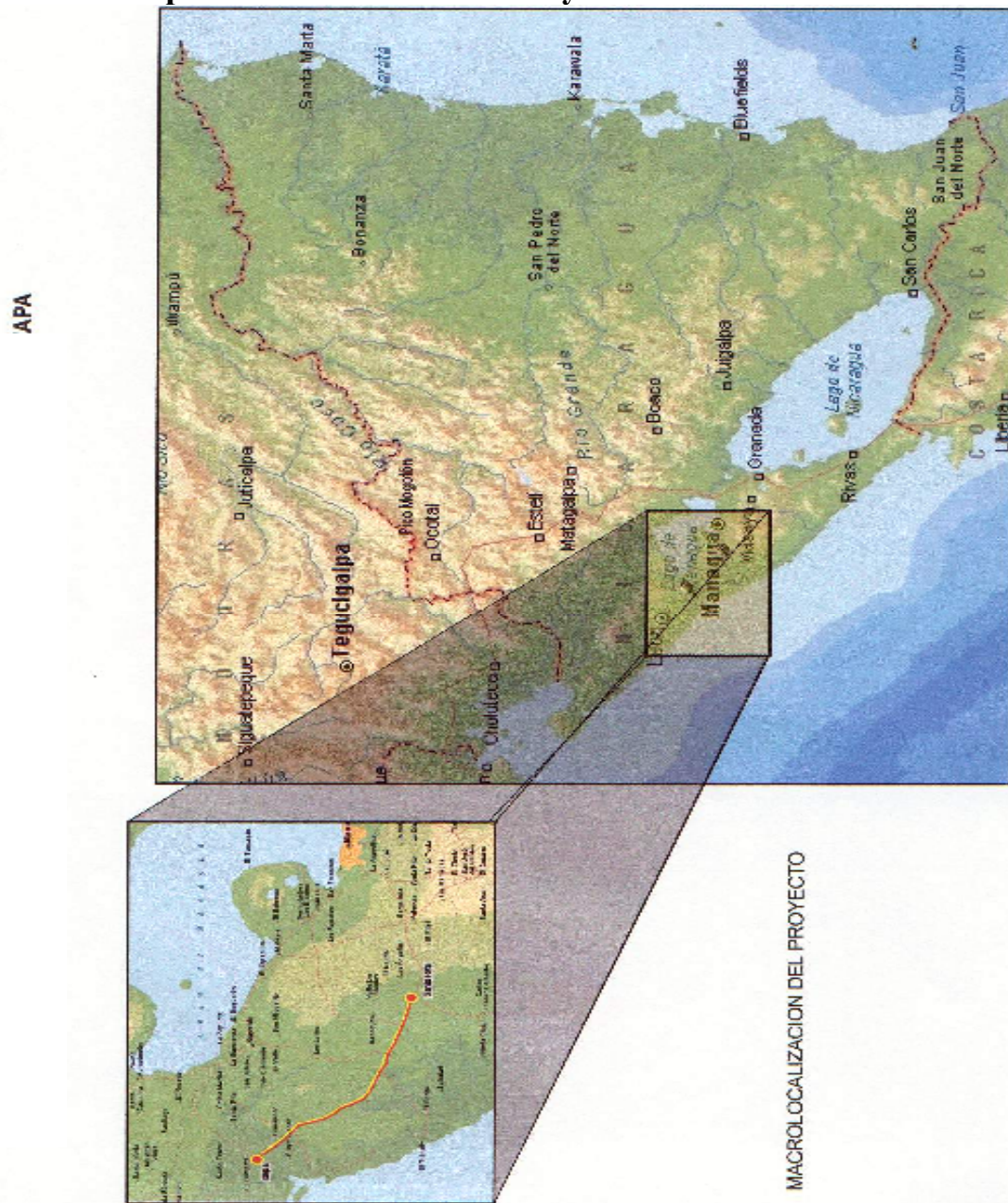
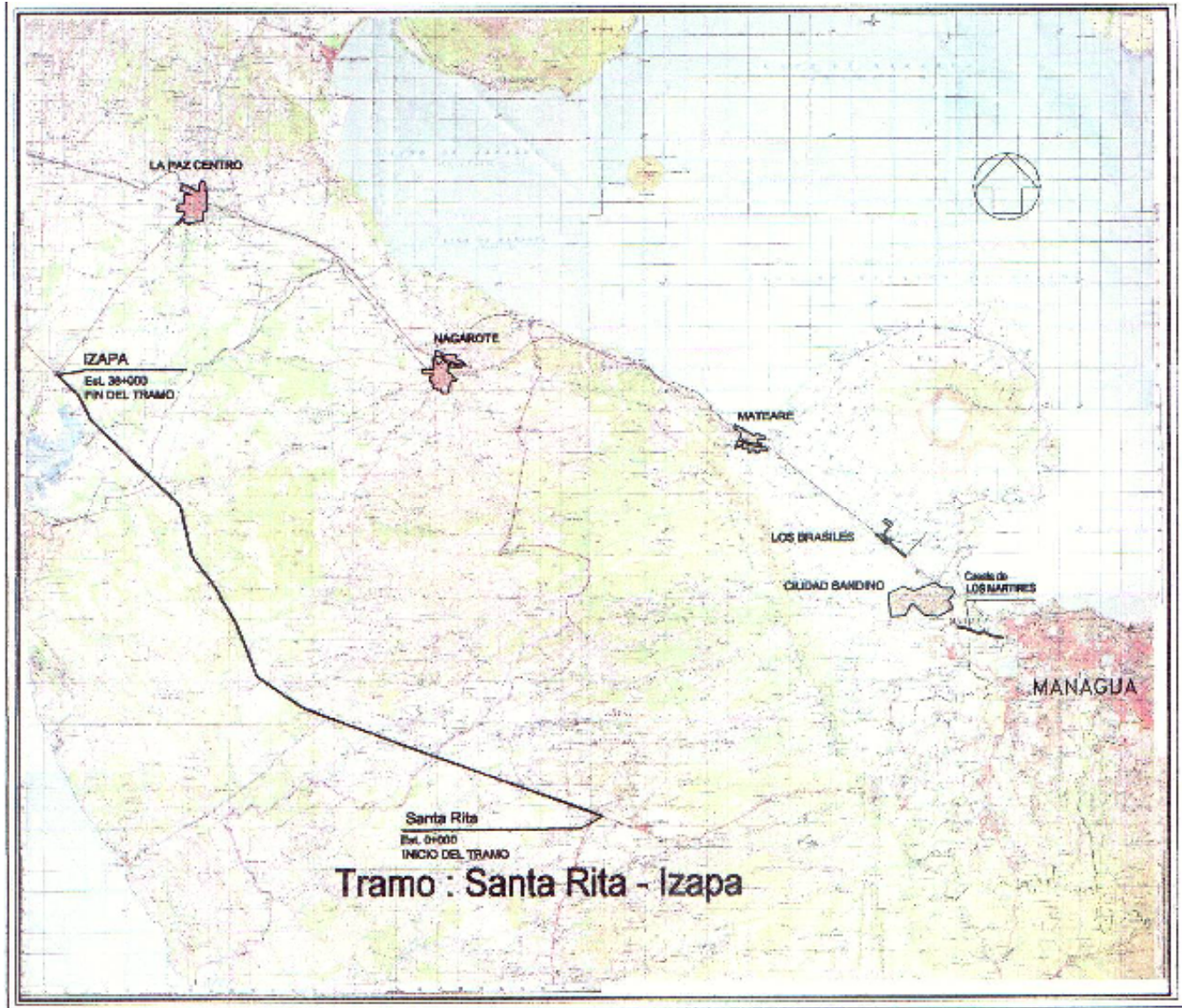


Figura N° 7.2
Mapa de Ubicación en el Contexto Regional.



7.1.3 Población y economía.

Dentro de los aspectos socio-económicos, se aprecia que la población en general es escasa, destacándose las poblaciones de El Quebracho y El Tamarindo como las más importantes concentradoras de servicios y actividad económica.

La actividad agrícola más importante se concentra en el sector del Quebracho, en donde se genera una considerable producción de granos básicos y algodón, aunque en las poblaciones restantes también se cosecha, aunque en menor escala, granos básicos, además de la existencia de cría de ganado.

El mejoramiento de la Carretera Santa Rita - Izapa y su habilitación como ruta de tránsito permanente y con condiciones favorables, indudablemente, mejorará las condiciones de vinculación interurbana y de transporte de carga. La vinculación del noroccidente del país con la capital, a través de una carretera de primer nivel, es un anhelo de las poblaciones de esta región para acceder a los principales mercados en condiciones favorables.

7.2 Descripción de la Carretera.

La actual carretera **Santa Rita-Izapa** se desarrolla en general en terreno plano, con algunos sectores suavemente ondulados. A continuación se presenta una breve descripción de la topografía, morfología general y las características particulares del tramo.

El inicio del proyecto se localiza en el empalme Santa Rita sobre la carretera “Vieja” Managua - León.

La carretera tiene una superficie de rodamiento conformada por un pavimento asfáltico, y en su alineamiento atraviesa sectores planos con elevaciones que varían entre los 20 y 100 m.s.n.m., prevaleciendo en el alineamiento horizontal, tangentes extendidas y curvas amplias y en el vertical pendientes suaves.

En este sector prevalece una sección típica en terraplén con alturas variables, donde el ancho de rodamiento es de 6.6 m. El tramo cuenta con bahías de paradas de buses, lo que evita la obstaculización del tráfico en el carril correspondiente en el momento de subir o bajar los pasajeros.

El drenaje menor existente se aprecia en buen estado. Por otra parte, las obras de drenaje mayor están conformadas por los siguientes siete puentes de dos vías: San Lorenzo, Fátima, Río Seco, Trapichón, El Empalme, El Tamarindo y El Pacífico. En forma general, se aprecian en buen estado, por lo que no se prevén trabajos de reemplazo ni reforzamiento de estas estructuras.

El pavimento presenta diferentes condiciones pudiendo mencionarse entre las que más se destacan las siguientes:

- a) Se aprecian fallas de tipo estructural en algunos sitios, tales como baches superficiales y profundos, piel de cocodrilo y fisuras.
- b) Existen muchos sectores con problemas estructurales, debido a que los materiales existentes en la base y sub-base no cumplen con las especificaciones para estos materiales.

Aunque existe señalamiento horizontal y vertical, sin embargo es notoria la falencia de señales debido, entre otros factores, a la falta de mantenimiento en el tramo.

La mayoría de los terraplenes de acceso a propiedades y un gran número de los cruces de caminos secundarios carecen de alcantarillas, en correspondencia con las cunetas de la carretera. Esto bloquea el normal escurrimiento de las aguas por la cuneta, reteniendo las mismas y saturando el terraplén o derivándolas por sitios en los que causa erosión. Para solucionar este problema, se diseñó el alcantarillado pluvial longitudinal necesario para asegurar el normal drenaje de la carretera.

7.2.1 Resumen y Evaluación de las Características de la Carretera.

El resumen de las características del pavimento existente de la carretera actual es el siguiente:

- Carpeta.

La carpeta tiene un espesor que oscila entre 4 a 15 centímetros; está compuesta de mezcla asfáltica.

- Base.

La base tiene un espesor que oscila entre 10 y 94 centímetros; está compuesta de diferentes tipos de materiales; en algunos sectores este material se clasifica como A-1-a y A-1-b, que tienen excelente comportamiento mecánico y bajos valores de plasticidad y humedad. En otros sectores los materiales de la base se clasifican como A-2-4, A-2-6, y A-2-7, que presentan índices de plasticidad que oscilan entre 7 y 14%; estos materiales tienen un comportamiento mecánico muy deficiente. Macroscópicamente, la base está compuesta de una grava areno arcillosa de baja plasticidad y grava arenosa producto de trituración con un diámetro promedio de 1", con plasticidad baja a media.

- Sub.-base.

Tiene un espesor promedio que oscila entre 9 a 84 centímetros y una granulometría similar a la de la base; los valores de humedades oscilan entre 9 y 27%. El material que compone la sub.-base se clasifica como A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, y A-2-7 con baja a alta plasticidad. Al igual que la base, el material A-1-a y A-1-b tiene un excelente comportamiento, en cambio el resto tiene un comportamiento mecánico pobre, con un alto porcentaje de índice de plasticidad.

- Terracería.

La terracería tiene un espesor que varía entre 10 a 77 cm. Los materiales que la componen se clasifican como A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7-5 y A-7-6. Macroscópicamente, está compuesta de gravas arenosas y arcillosas de color café claro. En la estación 63+800 se encontró un material arcilloso de alta plasticidad de color oscuro.

Es necesario mencionar, que en las estaciones 35+000, 35+400, 52+800, 54+600, 59+800, 54+800, 55+200, 57+800, 58+400, 58+600, 58+800, 59+000, 59+800 y 63+500 se encontró roca a menos de 1.0 m de profundidad. Por otra parte, en la estación 65+600 se encontró la napa freática a 1.0 m de profundidad.

7.2.2 Evaluación del Pavimento Existente y Características de la Subrasante.

El paquete estructural existente está conformado por una carpeta asfáltica construida en frío con asfalto diluido, cuyo espesor varía de 4 a 10 cm. La base granular, con un espesor que oscila entre 10 y 94 cm, en algunas secciones se trata de un material de buena calidad (A1-a A1-b) y en otras secciones registra una plasticidad que varía entre 7 y 14%, (A2-6 y A2-7), valores elevados para una base, por tratarse de una zona que presenta un período de lluvias copiosas durante varios meses y un sistema de drenaje que muestra una absoluta falta de mantenimiento. La subbase está conformada por materiales similares a los de la base; parcialmente registra suelos tipo A1-a y A1-b y por sectores se presentan suelos de alta plasticidad (A2-6 y A2-7). La terracería está conformada por una grava arenosa y arcillosa, que si bien no presenta un hinchamiento elevado, en algunos sectores presenta un elevado LL (>50%), acompañado de un alto Ip.

Del análisis de los resultados de los ensayos efectuados sobre material de terracería, surge que los suelos de inferior calidad se ubican entre las estaciones 31+800 a 34+500; 36+100 a 37+900; 38+800 a 40+800; 49+200 a 49+800 y 51+400 a 53+000. Por otro lado, los materiales de las capas superiores (base y subbase) que registran un comportamiento mecánico de regular a malo para dicho nivel (CBR=30%) se ubican entre las estaciones 41+000 y 66+000.

La condición del estado superficial de esta carretera refleja el deficiente comportamiento estructural del pavimento. Es decir, existe una deficiencia de aportes de alguna o de varias de las capas que conforman el paquete, situación que trae aparejado un reducido valor estructural remanente del camino existente.

El pavimento presenta fisuración tipo piel de cocodrilo (sobre huellas), anchas grietas perpendiculares al eje y ubicadas sobre los bordes (interfase calzada-hombro); profundos y grandes baches, donde ha desaparecido la carpeta de rodamiento.

Por la extensión de los daños, estos provienen de la desintegración de un área afectada por fisuración tipo piel de cocodrilo y no de un problema localizado de reducidas dimensiones (tipo potholes).

En lo que concierne al drenaje, es necesario eliminar rápida y eficientemente las aguas superficiales y/o subterráneas, ya que constituyen uno de los principales agentes contribuyentes a la degradación del pavimento.

7.2.3 Investigaciones geotécnicas en la vía actual.

Ensayes de Laboratorio.

En el Tabla 7-1 se presenta el resumen de los ensayos de laboratorio realizados y las normas aplicadas.

Tabla 7-1 Tipo y Cantidad de Ensayes Ejecutados.

No.	Tipo de Ensaye	Cantidad	Norma
1	Granulometría	213	ASTM D-422
2	Humedad	578	ASTM D-2216
3	Límite Líquido	213	ASTM D-423
	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	426	ASTM D-424
4	Clasificación	213	AASHTO
5	CBR	28	AASHTO T-180 y T-99
Total de Ensayes		1671	

En total se ejecutaron 1671 ensayos. Es preciso señalar que a cada muestra de CBR reflejada en la tabla le corresponden 3 ensayos con diferentes niveles de compactación, de acuerdo al procedimiento de laboratorio recomendado.

7.2.4 Resultados de los Ensayes de Clasificación, Humedad y Límites.

Se ensayaron un total de 213 muestras alteradas tomadas durante los sondeos manuales, sobre los que se realizaron ensayos granulométricos y determinación de límites líquido y plástico, lo que permitió clasificar las capas de base, sub.-base, terracería y suelo natural.

Se practicaron un total de 578 ensayos de humedades de las muestras alteradas tanto de material de base, sub.-base, terracería y suelo natural (ver anexo III). Es importante señalar que las muestras correspondientes al tramo fueron recolectadas entre los meses de julio y agosto del 2000, que es época de lluvias.

7.2.5 Resultados de las Pruebas de CBR.

Con el objetivo de hacer una caracterización completa de los componentes del pavimento, se procedió a obtener muestras para CBR en grupos cada 5 kilómetros, de la siguiente manera:

- Para la capa de base se formó un grupo de muestras para la clasificación A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, y A-2-7.
- Para la capa de sub.-base se formaron dos grupos de muestras para las clasificaciones A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, y A-2-7.
- Para la terracería se procedió a formar dos grupos de muestras para las clasificaciones A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7-5 y A-7-6.

En total se prepararon 28 grupos de muestras sobre los que se ejecutaron los ensayos de CBR (ver anexo III). Para compactar las muestras, la energía aplicada para base y sub.-base se hizo de acuerdo a la norma AASHTO T-180 y para la terracería según la norma AASHTO T-99; asimismo, los grados de compactación investigados fueron de 90, 95 y 100%. En total para cada muestra se ejecutaron 3 pruebas de CBR.

7.2.6 Investigación geotécnica para bancos de materiales.

Como resultado de la revisión de información disponible y de recorridos de campo se identificaron cuatro bancos de donde se podría obtener el material necesario para la rehabilitación de la carretera en estudio:

- El Tránsito. - La Pedrera.
- El Guayabal. - La Vega.

Tabla 7.2 Resumen de Bancos Estudiados.

Banco	Ubicación	Acceso	Volumen Aprovechable (m3)	Recomendaciones de Uso
El Tránsito	Km. 44+250 de la carretera Santa Rita-Izapa, a 12 Km. hacia El Tránsito	Regular	150,000	Capa base, agregados carpeta
La Pedrera	Km. 104+120 de la carretera León-Chinandega	Bueno	360,000	Capa base, agregados carpeta
El Guayabal	48+000 de la Carretera Santa Rita-Izapa	Regular	100,000	Capa sub.-base
La Vega	3,400 m empalme El Tránsito, sobre la ruta Izapa-Santa Rita	Bueno	15,000	Terracería

7.3 Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible para la Reconstrucción de la Carretera Santa Rita – Izapa.

a. Diseño Geométrico.

Teniendo en cuenta que el proyecto consiste en la rehabilitación de una carretera existente, el diseño de ingeniería consistió en su primera fase en la verificación de las características actuales. A partir de esta verificación y de conceptos técnico-económicos se establecieron las normas y criterios de diseño, sobre la base de las especificaciones contenidas en “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, 1994, (Normas sobre Diseño de Carreteras y Vías Urbanas), publicadas por AASHTO y los requerimientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua, cuando las condiciones existentes así lo permitieron (Ver Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1.

TRAMO: SANTA RITA - IZAPA
NORMAS ESPECIALES DE DISEÑO

PARAMETROS	UNIDAD	VALORES
Derecho de vía (existente)	m	40.00
Velocidad de diseño	K.P.H.	70
Número de carriles	Unidad	2
Carga de diseño	S/D	HS -20 - 44+25%
Ancho de carril	m	3.50
Ancho de rodamiento	m	7.00
Ancho de hombro	m	1.80
Ancho de corona	m	10.60
Ancho de cuneta	m	2.00
Vehículo de diseño*	Tipo	WB -15
Distancia entre ejes	m	15.20
Coeficiente de fricción transversal	70 K.P.H.	S/D
Coeficiente de fricción longitudinal*		S/D
Radio de curvatura mínimo	70 K.P.H.	m
Pendiente transversal		%
Pendiente del hombro		%
Pendiente longitudinal máxima		%
Pendiente longitudinal mínima (existente)		%
Pendiente longitudinal relativa para superelev.	70 K.P.H.	%
Superelevación máxima		%
Método de cálculo de superelevación	S/D	V
Distancia de visibilidad de parada	70 K.P.H.	m
Distancia de visibilidad de rebase	70 K.P.H.	m
Sobrecancho de relleno de 2 m a 6 m		m
Sobrecancho de rellenos mayores de 6.00 m **		m

* Normas AASHTO – 1994

** H: altura del relleno

a.1. Planimetría.

El trazado horizontal del tramo Télica – San Isidro, en el 95 % de su desarrollo, es el típico de una zona plana. En este tramo hay 9 curvas horizontales, o sea un promedio de una curva cada 4 km, de las cuales 7 (siete) tienen radios iguales o mayores de 1.000 m.; 1 (una) curva de 800 m. de radio y 1 (una) de 610 m. de radio. Por lo que todas son adecuadas para una velocidad de diseño de 70 km/h. Además se definieron 4 Puntos de Intersección (PI), que no requieren curvas horizontales. (Ver Figura 7-3).

El trazado horizontal puede ser considerado como muy favorable, no requiriendo la incorporación de curvas espirales de transición, ni sobreancho.

a.2. Altimetría.

En toda la longitud del proyecto las pendientes longitudinales, en general, son inferiores al 4 %, con predominio de pendientes menores al 1%. Sin embargo, en el diseño original, con el fin de obtener un trazado horizontal con tangentes largas, se obtuvo como resultado que en algunas secciones del tramo, el perfil longitudinal tenga la apariencia de “montaña rusa”. Asimismo, hay varias pendientes de corta longitud de relativamente fuertes pendientes, que varían entre 4% y 7,18%, aunque representan menos del 10 % de la longitud total del tramo.

Por otro lado, muchas curvas verticales tanto convexas como cóncavas son de longitudes insuficientes para una velocidad de diseño de 70 km/h. Dado que en este tramo se desea preservar muchas estructuras y puentes recientemente construidos, y hacer el mayor uso de los materiales que componen el pavimento existente, mediante su reciclaje y estabilización, no fue posible corregir esta condición del perfil longitudinal.

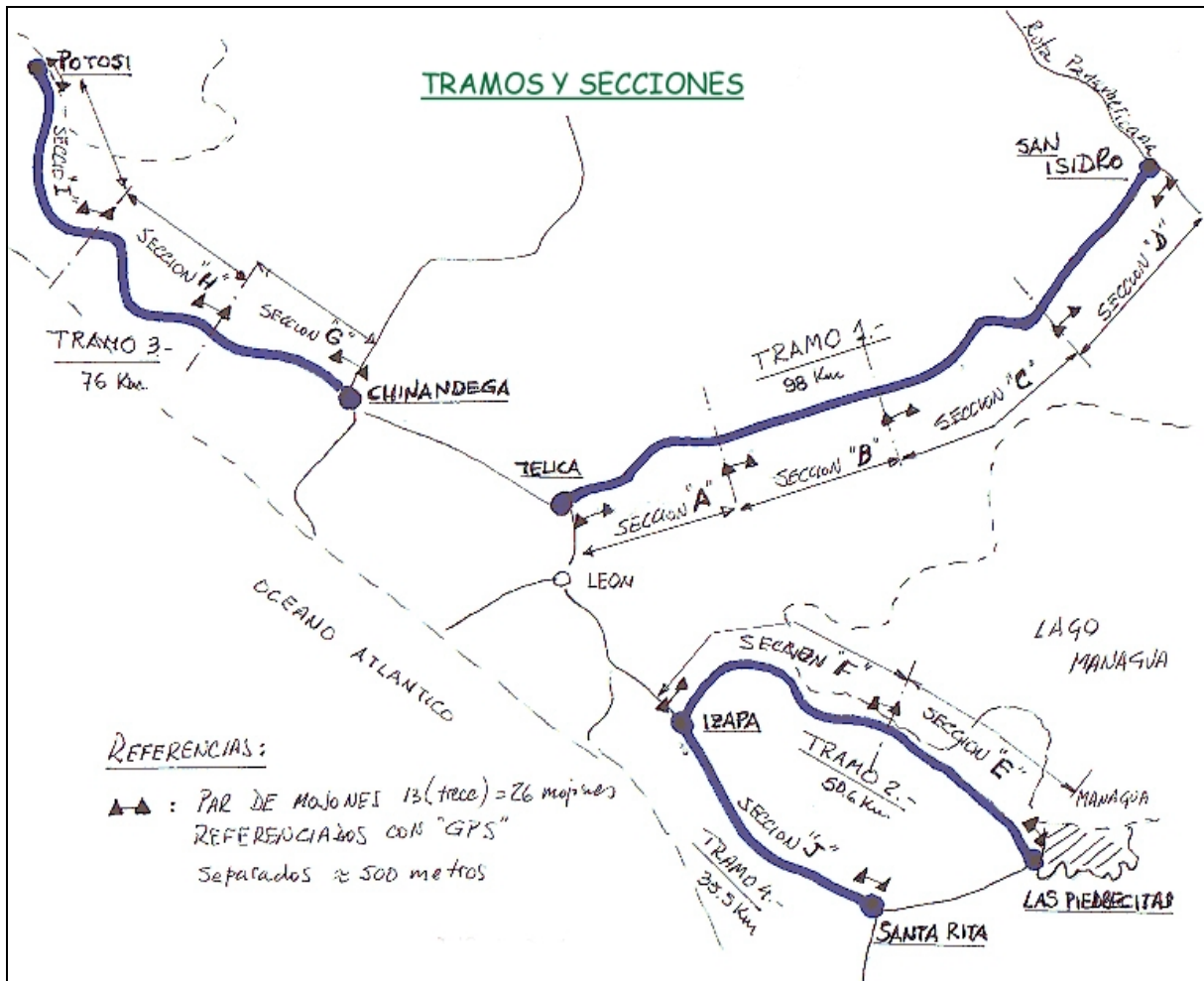
a.3. Obras Complementarias.

En el diseño final se incluyeron las estructuras complementarias necesarias para garantizar la estabilidad de la carretera, seguridad de operación, mejoramiento del drenaje, y según fue factible, el embellecimiento de la zona de camino.

Entre las obras complementarias consideradas se encuentran:

- Dispositivos de seguridad (flex-beam).
- Accesos a calles laterales y propiedades.

Figura N° 7 – 3
Croquis de las Secciones de Cada Proyecto.



b. Diseño Estructural del pavimento.

b.1. Proyección del Tráfico.

La predicción del tráfico es uno de los parámetros más críticos para diseñar pavimentos, debido al efecto que éste tiene en el cálculo de los espesores de la estructura. Los diferentes tipos de vehículos que circulan por la vía presentan un rango amplio de variaciones en carga y configuración de ejes. En la Tabla 7-3 se presentan los resultados para la carretera en estudio.

Tabla 7-3 Volumen Promedio de Tránsito Diario (vpd) Tramo: Izapa – Santa Rita

Sentido	LIVIANOS					MEDIANOS					PESADOS			Total (vpd)
	Moto	Auto	Jeep	Bus	Pick Up	Bus	C2	C3	C2R2	C2R3	T2S2	T3S2	T3S3	
Iz. - S. Rita	9	20	26	11	82	25	57	1	0	0	0	32	0	264
S. Rita - Iz.	8	25	24	11	78	24	50	2	0	0	0	31	1	253
Total	17	45	50	22	160	49	107	3	0	0	0	63	1	517
%	57					31					12			100

Los resultados presentados en el cuadro anterior reflejan que para el tramo Izapa – Santa Rita, los vehículos pesados pasan a representar el 12%, con una preeminencia del camión tipo T₃S₂. Los vehículos medianos significan el 31% del flujo vehicular siendo el camión C2 prácticamente el 70% de ellos. Por último, los vehículos livianos constituyen el restante 57%, donde autos y jeeps son alrededor del 34% de esta categoría.

A continuación, en la Tabla 7-4 se muestran los datos de distribución diaria (en la semana) del tránsito entre Izapa y Santa Rita.

Tabla 7-4 Distribución Diaria del Tránsito. Tramo: Izapa – Sta. Rita.

Día	Vehículos por Día	Porcentaje del Total	Factor
Lunes	497	14.0	1.02
Martes	560	16.0	0.91
Miércoles	222	6.0	2.28
Jueves	552	16.0	0.92
Viernes	655	18.0	0.78
Sábado	655	18.0	0.78
Domingo	418	12.0	1.22
Total	3,559	100.0	~
Promedio	508	14.29	1.00

Fuente: Estudio de Tráfico.

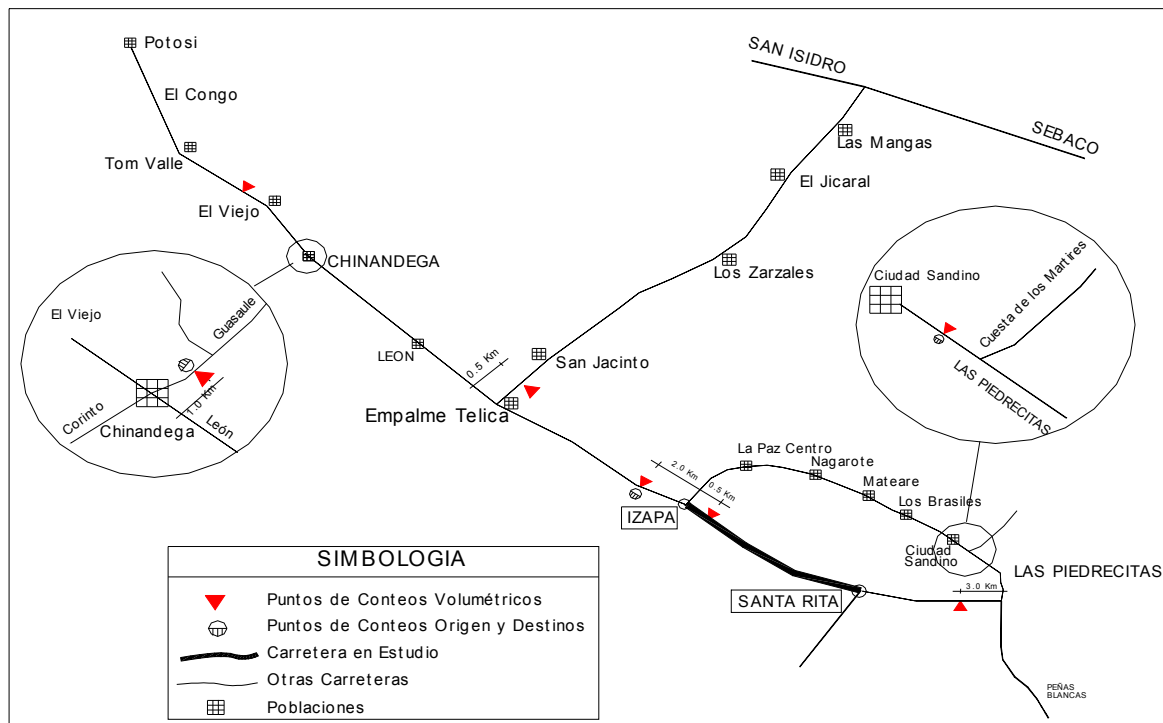
Respecto a la proyección de los tráficos de las secciones Izapa – Santa Rita y Santa Rita – Nejapa, se asumieron tasas de crecimiento anuales del 5% para los vehículos livianos, del 4% para los medianos y del 3% para los pesados, cuyos resultados se muestran en el cuadro a continuación.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Tabla 7-5 Proyecciones y Composición de TPDA (vpd). Izapa - Santa Rita – Nejapa.

Año	TPDA (vpd)	Tipos de Vehículos		
		Livianos	Medianos	Pesados
2000	600	342	186	72
2004	1,863	1,069	572	222
2009	2,317	1,364	696	257
2014	2,886	1,741	847	298
2019	3,598	2,222	1,030	346
2023	4,490	2,836	1,253	401
Participación Inicial	100%	57%	31%	12%
Tasa de Crecimiento Anual		5%	4%	3%

Figura N° 7 – 4.
Ubicación de Estaciones de Aforo.



Las proyecciones de los TPDA resultantes reflejan las siguientes hipótesis:

Los años de adecuación de la carretera Las Piedrecitas - Izapa y de reconstrucción del tramo Santa Rita - Izapa son el 2002 y el 2003;

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

La entrada en operación de ambos proyectos es simultánea y ocurren en el año 2004, considerándose desde ese año inclusive el período de análisis de 20 años. Se asume que un 43.5% del actual tránsito del corredor Izapa – Las Piedrecitas (1,200 vpd) efectuará sus viajes por el Tramo Izapa – Santa Rita – Nejapa.

De acuerdo a lo anterior, se obtienen los siguientes TPDA que se proponen como iniciales (año 2004) reasignados por sección de la red involucrada, según el detalle que se muestra en la Tabla 7-6, a continuación.

Tabla 7 – 6.
Resumen de Asignaciones de Tráfico.

Tramo – Sección	Denominación	TPDA (vehículos / día)
-	León – Izapa	3,000
	Izapa – Santa Rita – Nejapa	1,863
c	Izapa – La Paz Centro – Nagarote – Mateare – Los Brasiles	4,800(*)
b	Los Brasiles – Ciudad Sandino	8,000
a	Ciudad Sandino – Las Piedrecitas	13,900

(*) Promedio Ponderado.

Porcentaje de Tráfico en la Dirección de Diseño.

En el presente proyecto, según fue determinado en el estudio de tráfico, este factor de distribución direccional es relativamente equilibrado, por lo que se adopta el 50%.

Número de Carriles y Porcentaje de Tráfico en el Carril de Diseño.

En una carretera con carriles múltiples, los camiones circulan en todos los carriles, pero en el diseño del pavimento el carril con la mayoría del tránsito de camiones o cargas es de vital interés, y se designa como el “carril de diseño.” El porcentaje de tráfico en el carril de diseño es el factor de distribución por carril que toma en consideración el porcentaje de tráfico en ese carril. La guía de diseños de pavimentos de la AASHTO recomienda los factores mostrados en el Cuadro N° 2

Cuadro N° 2.

Factores de Tráfico en el Carril de Diseño. Recomendados por AASHTO.

Número de Carriles en Cada Dirección	Porcentaje de Tráfico en el Carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

En el presente proyecto, se prevé la construcción de dos carriles (uno por cada dirección de circulación). Por lo tanto, se adopta un factor de tráfico de 1.0.

Factor de Ejes Equivalentes por Tipo de Vehículo (ESAL's/tipo de vehículo).

Esta es una representación del número de aplicaciones de 80 kN ESAL causada por el paso de un vehículo promedio. Este factor varía de sitio a sitio y se recomienda su cálculo con datos específicos del lugar.

Los vehículos pesados están compuestos por camiones T3S2, T3S3 y T2S2; de éstos, los camiones T3S2 representan más del 95% del tráfico de esta categoría. Por otra parte, los vehículos medianos están compuestos por buses y camiones C2, C3, C2R2 y C2R3; de estos cinco tipos de vehículos, los buses, los camiones C2 y los camiones C3 son los que componen la mayor parte del tráfico de vehículos medianos.

El Cuadro N° 3 se presenta el peso promedio por tipo de vehículo. Los pesos promedio por tipo de vehículo fueron obtenidos del Cuadro “Índices de Utilización de la Capacidad de los Vehículos de Carga” del estudio de tráfico y del “Diagrama de Cargas Permisibles, Pesos Máximos Permisibles por Tipo de Vehículos” publicada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Cuadro N° 3.
Peso Promedio por tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Peso Máximo Permisible (ton)	Peso Promedio (ton)
C2	13.5	10.1
C3	21	18
T3S2	37	32.8
T3S3	41	35.6
T2S2	30	25.1
C2S3	26.5	22.2
C3R3	34.7	29.4

A partir de lo anterior, en los Cuadros N° 4 al N° 5 se presenta el proceso de determinación de los factores de ejes equivalentes por tipo de vehículo (ESAL's / tipo de vehículos) para el diseño del pavimento.

Cuadro N° 4. Pesos Promedios por Eje.

Tipo de Vehículo	Peso Promedio por Eje (ton)				Suma
	1 Eje	2 Eje	3 Eje	4 Eje	
C2	4.5 (s)	5.6 (s)			10.1
C3	5.0 (s)	13 (t)			18.0
T3S2	5.0 (s)	13.75(t)	13.75(t)		32.8
T3S3	5.0 (s)	13.6 (t)	17.0 (tr)		35.6
T2S2	5.0 (s)	7.3 (s)	12.8 (t)		25.1
C2S3	4.5 (s)	6.1 (s)	5.8 (s)	5.8 (s)	22.2

Cuadro N° 5. Factores de Equivalencia (LEF).

Tipo de Vehículo	LEF por Eje				ESAL's
	1 Eje	2 Eje	3 Eje	4 Eje	
C2	.118	.25			0.368
C3	.174	.595			0.769
T3S2	.174	.726	.726		1.626
T3S3	.174	.703	.46		1.337
T2S2	.174	.664	.55		1.388
C2S2	.118	.36	.27	.27	1.018
C3R3	.118	.365	.365	.6	1.448

(s) de un eje

(t) de dos ejes

(tr) de tres ejes

Cuadro N° 6. Cálculo de Factores de ESAL por Tipo de Vehículo.

Tipo de Vehículo	ESAL's/veh.	No. de veh. En categoría
Vehículos Pesados		
T3S2	1.626	447
T3S3	1.337	8
T2S2	1.388	1
Total		456
ESALs / Veh. Pes. = $(447*1.626+8*1.337+1*1.388+3)/456$		1.62
Vehículos Medianos		
Buses	0.700	847
C2	0.368	694
C3	0.769	225
C2S2	1.018	3
C3R3	1.448	4
Total		1773
ESALs/V. Med = $(847*0.7+694*0.368+225*.769+3*1.018+4*1.448)/1773$		0.58

Los valores del Cuadro N° 7 corresponden a una representación del número de aplicaciones de 80 kN ESAL causada por el paso de un vehículo promedio de cada categoría.

Cuadro N° 7. Resumen Factores ESAL / Tipo Vehículo.

Tipo de Vehículo	ESAL/Tipo de Vehículo
Liviano	0.0003
Mediano	0.58
Pesado	1.62

Cálculo de Ejes Equivalentes (ESAL's).

Cuadro N° 8. Ejes Equivalentes para 20 Años por Sección.

Localidades	Progresivas	TPDA	No. Carriles	ESAL's
Santa Rita - Izapa	0+000 – 35+450	3,600	2	5,150,000

b.2 Evaluación del Pavimento Existente.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, se utilizó el Método de la AASHTO para el diseño de recapados para la reconstrucción de la carretera en consideración. Este método está basado en la deficiencia estructural. La Guía de Diseño AASHTO (1993) propone tres métodos alternativos de evaluación para la determinación la capacidad estructural efectiva del pavimento en servicio:

- Basada en la inspección visual y ensayo de materiales.
- Basada en ensayos no destructivos (FWD).
- Basada en el deterioro por fatiga producido por el tránsito.

Para el presente estudio se realizaron paralelamente los dos primeros métodos.

b.2.1. Descripción de Daños Superficiales.

A lo largo de la vida útil de las carreteras se producen fallas superficiales, las cuales pueden ser causadas por efectos del tráfico, por efectos ambientales y/o por problemas de durabilidad. La existencia de fallas superficiales otorga al analista una importante indicación de las deficiencias funcionales y estructurales de la carretera estudiada. En el presente caso, se asignó un valor entre 1 a 3 según las condiciones de fallas superficiales encontradas en el proyecto, siendo su magnitud definida en la forma siguiente:

- 1 = zona con poca grieta (fina).
- 2 = zona con 50% de agrietamiento.
- 3 = zona con 75 % o más de agrietamiento.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

En la carretera, se presenta un alto porcentaje de áreas con baches, grietas de reflexión y fisuramiento formando polígonos hasta de 20 centímetros (tipo piel de cocodrilo), por lo que se asignó el grado 3 de severidad en cuanto a daños superficiales. Esto se ilustra en las fotografías siguientes.



Km 18+000



Km 23+500



Km 10+500



Km 15+500

b.2.2. Ensayos no Destructivos (FWD).

En el presente caso, que es una reconstrucción, el método recomendable es el basado en ensayos no destructivos, ya que las curvas de deflexión se utilizan directamente para calcular en Número Estructural efectivo (SN_{eff}), y éstas proporcionan la respuesta real de un pavimento en servicio.

Los módulos resilientes o elásticos (MR) de la carretera Santa Rita – Izapa fueron obtenidos de la aplicación del FWD, a través de más de 2,000 curvas de deflexión largo de la carretera.

b.2.3. Drenaje.

Se ha reconocido que el drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos. El agua que queda atrapada en la estructura del pavimento no solamente reduce la capacidad de soporte del pavimento y subrasante, sino que también genera altas presiones hidrodinámicas que expulsan los materiales finos, lo que resulta en pérdida de capacidad de soporte.

Donde el nivel de la capa freática es alto, canales verticales colocados a cada lado de la carretera con tubos de drenaje pueden ser utilizados para bajar este nivel, para mantener una subrasante seca.

b.2.4. Alternativas de Reconstrucción.

La reutilización del concreto asfáltico y parte de la base está ganando mucha aceptación en los EE.UU. en la reconstrucción de pavimentos de carreteras y aeropuertos que se encuentran severamente deteriorados. Este proceso permite una reconstrucción total usando 100 por ciento del material del pavimento existente. Al reciclar el asfalto existente y parte de la base se produce una subbase estabilizada. Los aditivos normalmente usados para producir una base nueva pueden incluir, agregado virgen, emulsiones de asfalto, cemento Pórtland o cal. Este método de reciclado del pavimento asfáltico en frío proporciona las ventajas de reducir el consumo de energía y el uso de materiales vírgenes, evitar el desecho de los materiales existentes, y la reducción de la contaminación del medio ambiente.

b.2.5 Reemplazo de la Base.

La primera razón para reemplazar la base es evitar los problemas asociados con el excesivo porcentaje de fino presente en ésta y con su alto índice plástico. Un agregado adecuado de base debe contener menos del diez por ciento de fino (preferiblemente menos del cinco por ciento), con un agregado cuyo tamaño máximo no sobrepase 50 mm. Estos agregados deben satisfacer las especificaciones estándar para base y subbase. El espesor de base debe seleccionarse por diseño, pero al menos debe considerarse el uso de un espesor mínimo de 150 mm de agregados limpios para responder al tráfico actual.

Para reemplazar una base vieja, se deberá excavar, transportar y después reemplazar con agregado nuevo. La base vieja deberá removerse de talud a talud para asegurar que la base nueva posea drenaje lateral a los canales. Excavar, transportar y desechar la base vieja es muy caro, de tal manera que esta alternativa se considera sólo para situaciones especiales; por ejemplo, en secciones donde el nivel de la rasante no pueda ser elevado.

b.2.6. Reciclaje de la Base.

Las bases recicladas pueden construirse de 120 a 200 mm con el equipo de hoy día. Las bases recicladas de 200 mm o más deben construirse en dos capas para asegurar una buena mezcla y obtener así también una buena compactación.

b.2.7. Estabilización Mecánica.

Una base con un rango de fino entre el 10 y 20 por ciento es un buen candidato para una estabilización mecánica. El procedimiento consiste en escarificar el concreto asfáltico y parte de la base vieja y agregar agregado limpio. Después, se mezcla en espesores de 100 a 200 mm.

Una parte de agregado limpio con una parte de agregado contaminado por peso baja el porcentaje de fino a la mitad. Según el porcentaje de fino en la base vieja sea mayor, se deberá añadir más agregado limpio para bajar adecuadamente el contenido de fino.

Por ejemplo, un material con 24 por ciento de fino mezclado 1:1 por peso con material limpio solamente bajaría a 12 por ciento el contenido de fino. Cuando se tiene que utilizar más agregado limpio que contaminado para bajar el contenido de fino a menos del 10 por ciento, puede ser más económico traer agregado limpio y olvidarse de la estabilización mecánica.

b.2.8. Estabilización Química.

Este método utiliza emulsiones de asfalto, cemento Pórtland o cal. Primero se escarifica la base y luego se aplica el estabilizador en la superficie y se mezcla con el agregado. Debe tenerse presente lo siguiente:

La emulsión de asfalto trabaja bien con agregado que tiene menos de un 15 por ciento de finos, ya que la emulsión de asfalto se pega en los finos y después es muy difícil mezclarlo.

El cemento Pórtland necesita agua para curarse y endurecerse y es uno de los estabilizadores más versátiles. Trabaja muy bien con un rango grande de agregados, excepto con los que contienen un alto grado de arcilla orgánica o arcillas muy pesadas. Se puede utilizar cemento Pórtland para producir una base de suelo cemento parcialmente endurecido. En vez de usar de 9 a 10 por ciento de cemento por peso, se puede usar de 4 a 5 por ciento. Esto produce una base de suelo cemento parcialmente dura que agrupa a una porción significativa de los finos.

b.2.9. Valores Utilizados en el Diseño del Pavimento.

A continuación se resumen los parámetros y valores utilizados para el diseño de la estructura del pavimento:

- Serviciabilidad inicial	=	4.5
- Serviciabilidad final	=	2.5
- Desviación Estándar del Sistema	=	0.49
- Confiabilidad del Diseño	=	90%

El tráfico para el diseño de la estructura de los pavimentos, expresado en ESAL's, se presenta en el Cuadro N° 8.

Módulos de Diseño.

Los estudios de suelos muestran que la terracería está conformada por materiales que presentan variada clasificación, principalmente A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-6 y A-5.

Como se indicó anteriormente, los valores de los módulos resilientes (MR) requeridos para el diseño de la estructura del pavimento fueron calculados directamente utilizando más de 2,000 curvas de deflexión obtenidas de los ensayos del FWD. Un resumen de los resultados del análisis de MR's se presenta en el Cuadro N° 9 a continuación.

Cuadro N° 9. Resumen de Módulos Resilientes de Diseño.

Progresiva	Mr (promedio) Mpa	Ep (promedio) MPa	Mr (diseño) MPa	Ep (diseño) Mpa
0+000 – 35+450	73.7	159	44.5	86

Paquete Estructural.

Para calcular el paquete estructural, se restó a la capacidad estructural final (SN_f para $n=20$ años) la capacidad efectiva existente (SN_{eff}), obteniéndose así el número estructural requerido.

Finalmente, sobre la base de todo lo anterior, en el Cuadro N° 10 se presenta el diseño del paquete estructural por tramos.

Cuadro N° 10. Resultados Finales del Diseño. Paquete Estructural del Pavimento.

Progresiva	CA (mm)	BASE (mm)	SUBBASE (mm)
0+000 – 35+450	70	150	200

C. Diseño de Alternativas de Estructuras de Pavimento Flexible para la Carretera. Santa Rita – Izapa.

A los efectos del presente trabajo, el diseño de alternativas de estructura de pavimento flexible para la rehabilitación de la carretera Santa Rita – Izapa contempló tres tipos básicos, teniendo en cuenta el material de base a usar, ellos fueron:

1. Base granular.
2. Base de suelo estabilizado con cemento.
3. Base de suelo estabilizado con asfalto.

Parte de la información básica para el diseño de las alternativas de pavimento de concreto asfáltico consistente en la calidad del material de subrasante de la vía (CBR) y el número de ejes equivalentes de 80 kN en el período de diseño (ESALS) ha sido obtenida de los estudios y diseños elaborados por la firma consultora Louis Berger las cuales fueron realizadas en el 2001.

Método de Diseño.

Las alternativas de pavimentos de concreto asfáltico en caliente se realizaron mediante la aplicación del método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en su versión 1993.

Variables de Diseño.

Este método considera un conjunto de variables independientes de diseño que permiten la determinación de los espesores de las capas a emplear en las estructuras de pavimentos, esas variables son:

- a) Cargas provenientes del paso de los vehículos de carga (Wt18) o tráfico acumulado en el período de diseño.
- b) Condición de servicios de pavimento al inicio del servicio (Po).
- c) Condición de servicio de pavimento al final del periodo de diseño (Pt).
- d) Confiabilidad en el diseño (R) y desviación estándar para el nivel de confiabilidad adoptada (So).
- e) Calidad del material de fundación (MR).

Espesores Mínimos Prácticos sugeridos por la guía de la AASHTO.

En general no es practico ni económico colocar capas de pavimento que no tengan un espesor mínimo, por otra parte, también el tráfico a que será sometido el pavimento dicta la colocación de espesores mínimos de las capas por razones de estabilidad y durabilidad. En la Tabla N° 7.7 a continuación, se muestran los valores sugeridos por el manual de la AASHTO para los espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular con varias condiciones de tráfico.

Tráfico ESALS	ESPEORES MINIMOS CA (mm)	Base Granular (mm)
Menos de 50,000	25	100
50,000 – 150,000	50	100
150,001 – 500,000	64	100
500,001 – 2000,000	76	150
2000,001 – 7000,000	90	150
Mas de 7000,000	100	150

Cuadro No. 7-7 Espesores Mínimos para la CA y Base Granular (AASHTO 1993)

c.1.0. Diseño de Alternativa No.1: Base Granular.

En la primera alternativa la estructura de pavimento flexible está compuesta de una carpeta de rodamiento de mezcla asfáltica en caliente, (MAC), sobre una base de agregados triturados, la cual a su vez se apoya sobre una sub base existente.

Variables.

a) Cargas de Diseño: Las cargas obtenidas en el estudio de tráfico se indican en el Capítulo II y son: 5.16×10^6 ESALS.

b) Condiciones de Servicio de Pavimento:

Inicio del periodo de diseño (Po).

El método AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 4.2, en el caso de pavimentos flexibles, valor este que será empleado en la solución de la evaluación de diseño para todas las alternativas estudiadas.

c) Condición de Servicio de Pavimento al Final del Periodo (Pt).

El método AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 2.5 en el caso de pavimentos flexibles.

d) Confiabilidad en el Diseño (R) y Desviación Estándar (So).

La Confiabilidad se define como la probabilidad que la serviciabilidad de la carretera pueda mantenerse en adecuados niveles desde el punto de vista del usuario dentro del periodo de diseño de la vía. La confiabilidad que la AASHTO-93, recomienda para este tipo de vía se encuentra entre 80 y 99% y para nuestro diseño se tomo una Confiabilidad de 90% por lo que acuerdo a este manual $Z_R = -1.282$ que será el valor requerido para la estimación de la desviación estándar a tener en cuenta en el diseño.

No obstante, el valor de la desviación estándar “So”, por otra parte, es sugerido por el propio método AASHTO-93, el cual puede ser 0.35, en opción a un laborioso análisis de varianza de todos los factores involucrados en el diseño.

Es conveniente recordar sin embargo, que los valores de R y So, no son otra cosa que un “factor de seguridad FS” introducido en el diseño, el cual para un 90% de Confiabilidad y un 0.35 de desviación estándar significa un FS de 2.81.

e) Módulos de Resiliencia.

De la subrasante. El CBR de la subrasante determina mediante sondeos de suelo (ver Anexo 1) fue de 6.5 % para un percentil del 87.5%, entonces:

$$\begin{aligned} MR &= 1,500 \times \text{CBR (psi)} \\ &= 1,500 \times 6.5 \\ &= 9750 \text{ psi} \end{aligned}$$

De la base (Granular).

$$\text{CBR} = 100 \%$$

De Grafico 2.6, parte II, AASHTO –93 (Figura 5-4, Anexo II, Capítulo V)
Tenemos que $\text{MR} = 30,000 \text{ psi}$ y $a_2 = 0.14$

De la Sub- Base.

$$\text{CBR} = 20 \%$$

De Grafico 2.7, parte II, AASHTO –93 (Figura 5-3, Anexo II, Capítulo V)
Tenemos que $\text{MR} = 12500$ entonces $a_3 = 0.094$

Coefficiente Estructural Concreto Asfáltico.

Coefficiente Estructural: 0.39 se obtiene del Gráfico: 2.5, parte II, Manual AASHTO –93
(Figura 5-1, Anexo II, Capítulo V), con un módulo de elasticidad: 350,000 psi.

Resumen de Variables

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t = 4,2 - 2,5 = 1.7$$

$$R = 100 \text{ entonces } Z_r = - 1.282$$

$$S_o = 0.35$$

$$\text{ESAL's} = 5.15 \times 10^6$$

$$\text{MR subrasante} = 9750 \text{ psi}$$

$$\text{Mr sub base} = 12500 \text{ psi}$$

$$\text{Mr base} = 30,000 \text{ psi}$$

Para calcular el número estructural (SN) para cada capa de pavimento se utilizó la figura 3.1
del AASHTO –93 (Figura 5.1, Capítulo V)

Obtuvimos

$$\text{SN} = 3.92$$

SR

$$\frac{\text{SN}}{S_b} = 3.57$$

Sb

$$\frac{\text{SN}}{\text{Base}} = 2.55$$

Base

Cálculo de Capas de Pavimento.

Para calcular los diferentes espesores de las capas de pavimento utilizamos la formula del AASHTO-93, se utilizaran coeficientes de drenaje (m_2 y m_3) de 1.15, considerando que la calidad del drenaje es buena y que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad de un 25 %, ver figura 2.4 (Figura 7-1, Anexo III, Capítulo VII)

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

Cálculo de Carpeta

$$SN = a_1 D_1$$

$$D_1 = 2.55 / .39 = 6.53'' = 17 \text{ cm}$$

Cálculo de SN corregido sobre la Base Granular

$$SN = .39 \times 17 / 2.54 = 2.61$$

Cálculo de Base

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2$$

$$3.57 = 2.61 + .14 \times D_2 \times 1.15$$

$$\text{Entonces} \quad D_2 = 3.57 - 2.61 / .161$$

$$D_2 = 5.65'' = 15 \text{ cm}$$

Cálculo de SN corregido sobre la sub base

$$SN = 2.61 + .14 \times 15 \times 1.15 / 2.54 = 3.56$$

Cálculo de Sub base

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

$$3.92 = 3.56 + (0.094) (1.15) (D_3)$$

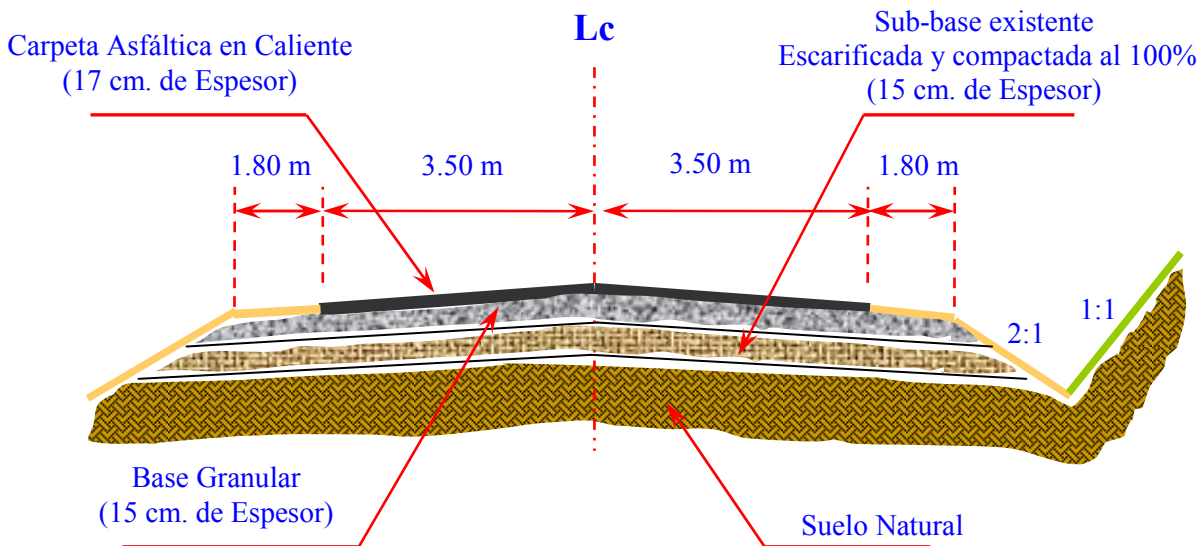
$$D_3 = \frac{3.92 - 3.56}{0.1081} = 3.33'' = 9 \text{ cm, utilizaremos el mínimo 15 cm}$$

Composición de la estructura

CA	17 cm
BG	15 cm
SB	15 cm

De acuerdo al cálculo de diseño de paquete estructural, la carpeta de concreto asfáltico tendrá un espesor de 17 cm, la base granular (CBR= 100% AASTHO T-180) tendrá un espesor de 15 cm, la sub base, conformada con el material que actualmente conforma la capa de rodamiento y la base existente, será escarificada y mezclada, las que una vez conformada y compactada tendrá un espesor de 15 cm.

ALTERNATIVA I.



c.1.1. Diseño de Alternativa No.2.

En la segunda alternativa la estructura de pavimento flexible está compuesta de una carpeta de rodamiento de mezcla asfáltica en caliente, (MAC), sobre una base de agregados triturados mezclada con cemento, la cual a su vez se apoya sobre una sub base existente.

Variables.

a) Cargas de Diseño: Las cargas obtenidas en el estudio de tráfico se indican en el capítulo II y son: 5.16×10^6 ESALS.

b) Condiciones de Servicio de Pavimento.

Inicio del periodo de diseño (Po). Se tomó ídem a la alternativa 1 (ver).

c) Condición de Servicio de Pavimento al Final del Periodo (Pt). Se tomo ídem a la alternativa 1 (ver).

d) Confiabilidad en el Diseño (R) y Desviación Estándar del Sistema de Pavimento (So).

Se tomó el ídem a la alternativa 1 (Ver).

e) Modulo de Resilencia.

De la subrasante.

El CBR de la subrasante determinado mediante sondeos de suelo (ver Anexo.1) fue de 6.5%. , ídem a alternativa 1.

$$\begin{aligned}MR &= 1,500 \times \text{CBR (psi)} \\ &= 1,500 \times 6.5 \\ &= 9750 \text{ psi}\end{aligned}$$

De la base (Granular mezclada con cemento).

$$\text{CBR} = 100 \%$$

De Grafico 2.8 parte II AASHTO –93 (Figura 5-4, Anexo II, Capítulo V).

Tenemos que $MR = 710,000$ psi y $a_2 = 0.192$.

De la Sub- Base.

$$\text{CBR} = 20 \%$$

De tabla 2.7 parte II AASHTO –93 tenemos que $MR = 12500$ entonces $a_3 = 0.094$.

Coefficiente Estructural Concreto Asfáltico.

Coefficiente estructural: 0.39 se obtiene de Grafico: 2.5 parte II Manual AASHTO –93, (Figura 5-1, Anexo II, Capítulo V) modulo de elasticidad: 350,000 psi.

Resumen de Variables

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

$$R = 100, \text{ entonces } Z_r = - 1.282$$

$$S_o = 0.35$$

$$ESAL' = 5.15 \times 10^6$$

$$MR \text{ Subrasante} = 9750 \text{ psi}$$

$$M_r \text{ sub base} = 12,500 \text{ psi}$$

$$M_r \text{ base} = 710,000 \text{ psi}$$

Para calcular el número estructural (SN) para cada capa de pavimento se utilizó la formula del AASHTO –93. La cual se definió antes en la alternativa 1

Sustituyendo los diferentes parámetros en la misma se obtiene que:

$$SN = 3.92$$

SR

$$\frac{SN}{S_b} = 3.57$$

Sb

$$\frac{SN}{\text{Base}} = .58$$

Base

Cálculo de Capas de Pavimento.

Idem fórmula que la alternativa anterior.

Cálculo de Carpeta.

$$SN = a_1 D_1$$

$$D_1 = .58 / .39 = 1.48'' = 4 \text{ cm, utilizaremos el espesor mínimo de 10 cm.}$$

Cálculo de SN corregido sobre la Base Granular.

$$SN = .39 \times 10 / 2.54 = 1.53$$

Cálculo de Base

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2$$

$$3.52 = 1.53 + .192 D_2 \times 1.15$$

$$\text{Entonces} \quad D_2 = (3.57 - 1.53) / .22$$

$$D_2 = 9'' = 23 \text{ cm}$$

Cálculo de SN corregido sobre la sub base

$$SN = 1.53 + .192 \times 23 \times 1.15 / 2.54 = 3.52$$

Cálculo de Sub base

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

$$3.92 = 3.52 + (0.094) (1.15) (D_3)$$

$$D_3 = \frac{3.92 - 3.52}{0.1081} = 3.51'' = 9 \text{ cm, utilizaremos el mínimo 15 cm}$$

Composición de la estructura

CA 10 cm.

BSC 23 cm.

SB 15 cm.

De acuerdo al cálculo de diseño de paquete estructural, la carpeta de concreto asfáltico tendrá un espesor de 10 cm, la base granular mezclada con cemento, tendrá un espesor de 23 cm, la sub base, conformada con el material que actualmente conforma la capa de rodamiento y la base existente, será escarificada y mezclada, la que una vez conformada y compactada tendrá un espesor de 15 cm.

Chequeo a la tensión tangencial actuando en la base de suelo cemento por la tensión tangencial.

Este chequeo se realizará a través de programa Alize III. Ver sus resultados en anexo 2.

Se debe cumplir que la tensión horizontal en la parte interior de la capa de base estabilizada (tensión admisible) debe ser mayor que la tensión horizontal que obtenemos del programa Alize III (Análisis Tensional).

$$\sigma_H \text{ admisible} > \sigma_H \text{ Alize}$$

Donde la tensión admisible la obtenemos del modelo de deterioro siguiente:

$$\sigma_H \text{ adm} = \left(\frac{A}{N} \right) \left(* R_F \right)$$

Donde:

$\sigma_H \text{ adm}$ = Tensión Radial de Tracción en la fibra inferior de la capa.

N = Número admisible de repeticiones de carga.

A = Parámetro que depende del material, para suelo-cemento se utiliza 0.5446

R_F = Resistencia a la flexotracción

$$N = 5.15 \times 10^6$$

$$A = 0.5446$$

$$R_F = 0.22R$$

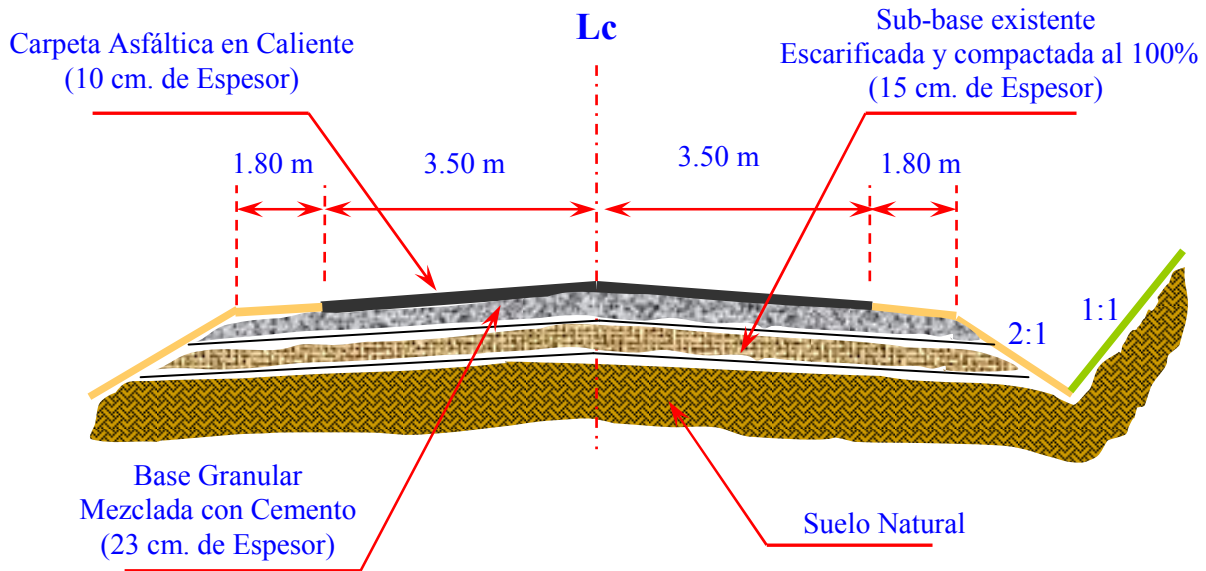
$$R = 42.2 \text{ Ksi}$$

$$\sigma_H \text{ adm} = 0.5446 \left(\frac{5.15 \times 10^6}{10^6} \right) * \left((0.22 \times 42.2) \right)$$

$$\sigma_H \text{ adm} = 4.41 > -0.4504$$

De acuerdo a lo anteriormente calculado, la tensión radial de tracción en la fibra inferior de la capa, excede considerablemente a los resultados del análisis tensional realizado por el programa ALIZE III. Esto significa que la estructura grava – cemento diseñado, no tendrá agrietamiento por fatiga para el número de aplicaciones de cargas estimadas en el periodo de diseño.

ALTERNATIVA II.



c.1.2. Diseño de Alternativa No.3.

En la tercera alternativa la estructura de pavimento flexible está compuesta de una carpeta de rodamiento de mezcla asfáltico en caliente, (MAC), sobre una base de agregados triturados mezclada con asfalto (base negra), la cual a su vez se apoya sobre una sub base existente.

Variables.

a) Cargas de Diseño: Las cargas obtenidas en el estudio de tráfico se indican en el capítulo II y son: 5.16×10^6 ESALS.

b) Condiciones de Servicio de Pavimento Inicio del periodo de diseño (Po).

Se tomó ídem a alternativas 1 y 2.

c) Condición de Servicio de Pavimento al Final del Periodo (Pt).

Se tomó ídem a alternativas 1 y 2.

d) Confiabilidad en el Diseño (R) y Desviación Estándar del Sistema de Pavimento (So).

Se tomó ídem a alternativas 1 y 2 (Ver).

e) Modulo de Resilencia.

De la subrasante.

El CBR de la subrasante determinando mediante sondeos de suelo,

Se tomó ídem a alternativas 1 y 2.

$$\begin{aligned}MR &= 1,500 \times \text{CBR (psi)} \\ &= 1,500 \times 6.5 \\ &= 9750 \text{ psi}\end{aligned}$$

De la base (Granular mezclada con asfalto).

$$\text{CBR} = 100\%$$

De grafico 2.9 parte II AASHTO –93 (Figura 5-5, Anexo II, Capítulo V).

Tenemos que $MR= 175,000$ psi y $a_2 = 0.20$

Con estabilidad Marshal de 800 Lbs

De la Sub- Base.

Ídem alternativas 1 y 2.

Coefficiente Estructural Concreto Asfáltico.

Ídem alternativas 1 y 2.

Resumen de Variables.

Usando el mismo procedimiento de alternativa 1 y 2 se obtuvieron los siguientes números estructurales:

$$\begin{aligned}SN &= 3.92 \\ SR &\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{SN} &= 3.57 \\ Sb &\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{SN} &= 1.24 \\ \text{Base} &\end{aligned}$$

Cálculo de Capas de Pavimento.

Para calcular las capas de pavimento utilizamos la formula del AASHTO-93.

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

Cálculo de Carpeta.

$$SN = a_1 D_1$$

$$D_1 = 1.24 / .39 = 3.17'' = 8.07 \text{ cm} , \text{ utilizaremos el mínimo } 10 \text{ cm}$$

Cálculo de SN corregido sobre la Base Granular.

$$SN = .39 \times 10 / 2.54 = 1.53$$

Cálculo de Base.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2$$

$$3.57 = 1.53 + .20 \times D_2 \times 1.15$$

$$\text{Entonces} \quad D_2 = (3.52 - 1.53) / .23$$

$$D_2 = 8.86'' = 23 \text{ cm}$$

Cálculo de SN corregido sobre la sub.-base

$$SN = 1.53 + (.20 \times 23 \times 1.15) / 2.54 = 3.66$$

Cálculo de Sub.-base

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

$$3.92 = 3.66 + (0.094) (1.15) (D_3)$$

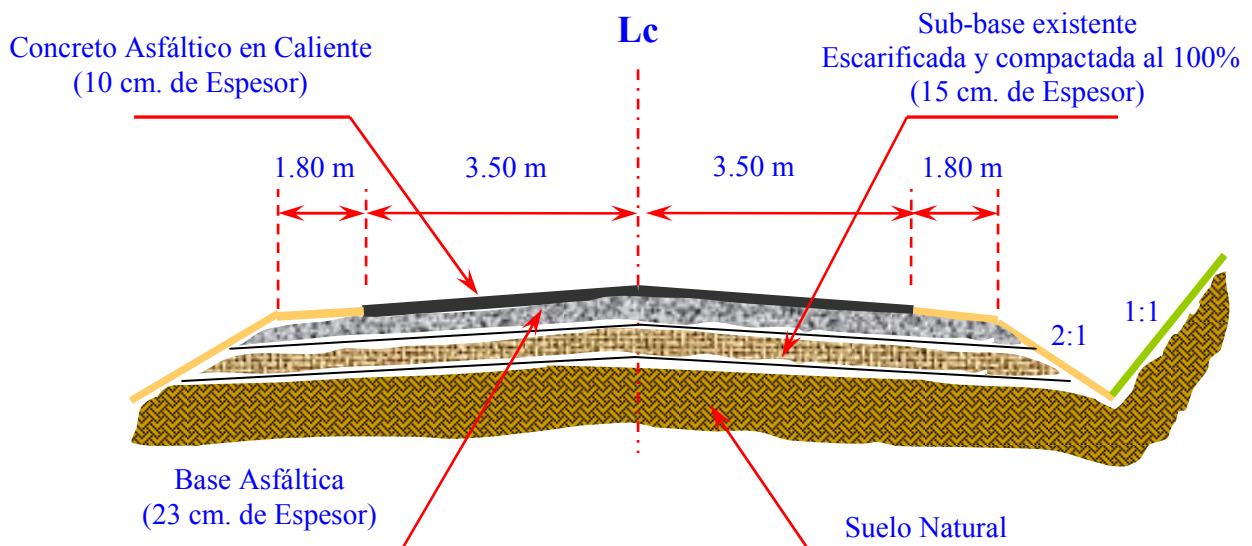
$$D_3 = \frac{3.92 - 3.66}{0.1081} = 2.4'' = 6 \text{ cm}, \text{ utilizar el mínimo } 15 \text{ cm}$$

Composición de la estructura:

CA	10 cm.
BG	23 cm.
SB	15 cm.

De acuerdo al calculo de diseño de paquete estructural, la carpeta de concreto asfáltico tendrá un espesor de 10 cm, la base granular mezclada con asfalto, tendrá un espesor de 23 cm, la sub base, conformada con el material que actualmente forma la capa de rodamiento y la base existente, será escarificada y mezclada, las que una vez conformada y compactada tendrá un espesor de 15 cm.

ALTERNATIVA III.



A continuación se presenta un resumen de las alternativas resultantes de pavimento flexible con rodadura de concreto Asfáltico en caliente.

Alternativa	Tipo de Base	Espesor en cm.		
		Carpeta de Rodamiento	Base	Sub Base
1	Grava	17	15	15
2	Grava Cemento	10	23	15
3	Grava Asfalto	10	23	15

Las tres alternativas resultantes tendrán comportamientos adecuados en Nicaragua. La alternativa N° 2 de grava- cemento dada su alta capacidad a la fisuración por fatiga resulta ser la mas viable, sin embargo, la valoración económica de una alternativa u otra, será la que defina la variante que finalmente será utilizada.

D. Diseño de alternativa de pavimento rígido de la Carretera Santa Rita – Izapa.

Parte de la información básica para el diseño de las alternativas de pavimento de concreto hidráulico ha sido obtenida de los estudios y diseños elaborados por la firma consultora Norteamérica Louis Berger en el 2001, esta información es: CBR de subrasante y determinación de los ejes equivalentes (ESALS).

Método de Diseño.

Las alternativas de pavimentos de concreto hidráulico se realizará mediante la aplicación del método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en su version 1993.

Variables de Diseño.

Este método considera un conjunto de variables independientes de diseño que permitirán la determinación de los espesores de las capas a emplear en las estructuras de pavimentos, esas variables son:

- a) Cargas provenientes del paso de los vehículos de carga (Wt18).
- b) Condición de servicio del Pavimento al inicio del período de servicio (Po).
- c) Condición de servicio del Pavimento al final del periodo de diseño (Pt).
- d) Confiabilidad en el diseño (R) y desviación estándar del sistema de pavimentos (So).
- e) Calidad del material de fundación (MR).
- f) Calidad del concreto para la losa del pavimento (t) y de la capa base.
- g) Coeficiente de transferencia de carga (j).
- h) Coeficiente de drenaje (m).
- i) Módulo de reacción de la sub rasante (k).

d.1. Diseño de Alternativa.

En la alternativa la estructura de pavimento rígido está compuesta de una carpeta de rodamiento de concreto hidráulico, sobre una sub base de materiales existentes escarificada y compactada.

Variables.

a) Cargas de Diseño: Las cargas de diseño para un periodo de 30 años son: 8.13×10^6 ESALS.

b) Condiciones de Servicio del Pavimento al Inicio del Periodo de Diseño (P_o).

El método AASHTO–93 recomienda asigne un valor de 4.5, en el caso de pavimentos rígidos, valor este que será empleado en la solución de la ecuación de diseño.

c) Condición de Servicio del Pavimento al Final del Periodo de Diseño (P_t).

El método AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 3.0 o de 2.5 tanto en el caso de pavimentos rígidos como de flexibles.

En el análisis de esta alternativa de concreto rígido se empleará un valor de 3.0.

d) Confiabilidad en el Diseño (R) y Desviación Estándar del Sistema de Pavimento (S_o).

La Confiabilidad que la AASHTO –93 recomienda para este tipo de vía se encuentra entre 80 y 99 %, la confiabilidad a utilizar para el diseño será de 90% por lo que acuerdo a tabla 4.1 de AASHTO, $Z_R = - 1.282$.

El valor de la desviación estándar “ S_o ”, por otra parte, es sugerido por el propio método AASHTO-93 es de 0.35. Para el caso de diseño de un nuevo pavimento rígido, este valor será en consecuencia, empleado en la solución de la ecuación de diseño de la AASHTO.

Es conveniente recordar sin embargo, que los valores de R y S_o , no son otra cosa que un “factor de seguridad FS” introducido en el diseño, el cual para un 90% de Confiabilidad y un 0.35 para desviación estándar significa un FS de 2.81.

e) Calidad del Material de Fundación (MR).

El CBR de la sub rasante determinado mediante sondeos de suelos fue de 6.5% (ver anexos).

$$MR = 1,500 (6.5) = 9750 \text{ psi}$$

f) Calidad del concreto para la losa del pavimento y de la capa base ($S'C$)

Para el pavimento rígido a diseñar se considerará un concreto hidráulico de 350 kg/cm^2 de resistencia por lo que la resistencia a tracción por flexión de la losa o módulo de rotura que se escogerá será equivalente al 15% de esta, por lo que $S'c = MR = 52.5 \text{ kg/cm}^2$.

g) Coeficiente de transferencia de carga (j).

El tipo de pavimento de concreto seleccionado es de losas sin refuerzo estructural, sin empleo de pasadores en las juntas transversales (juntas trabajando por fricción) de manera que el $J = 2.7$

El coeficiente de drenaje se le asigna un valor de 1.05 ya que la base se considera con drenaje bueno.

h) Calidad del Concreto (E_c).

Otra de las variables de diseño está asociada directamente con la calidad del concreto hidráulico con que se constituirá la losa del pavimento. Según el AASHTO –93 el Módulo Elástico del Concreto se determinará por $EC = 57,000 (F'c)^{0.5}$ y con una resistencia a la compresión de 5000 psi, tenemos un modulo de elástico de...

$EC = 57000 (5000)^{0.5} = 4,030,510 \text{ psi}$.

i) Módulo de reacción de subrasante (k).

La otra variable independiente considerada en la ecuación de diseño del método AASHTO – 93, corresponde al módulo de reacción de la sub rasante (k), el cual depende del espesor y calidad de capa de base sobre la cual se construirá la base del pavimento.

En nuestro caso se ha seleccionado el empleo de los materiales locales encontrados a lo largo de la vía los que se corresponden fundamentalmente en algunos sectores con suelos del tipo: A-1-a, A-1-b, con baja plasticidad. En otros sectores los materiales contienen A-2-4, A-2-6, A-2-7 con índices de plasticidad que oscilan entre 7-14%, que pueden ser estabilizados con cemento Pórtland en un tenor tal que resulte con una resistencia a la compresión simple de 25 kg/cm^2 a los 7 días, con porcentajes de 5 al 7% solo en aquellos sectores o longitudes que aparecen. Para esta calidad de suelo cemento, el Método AASHTO –93 sugiere un módulo resiliente en el orden de 590,000 psi. El espesor de la sub base seleccionado es de 15 cm.

El módulo resiliente del material de fundación es de 9,750 psi ya indicado en el inciso (e) anterior 3.

Perdida del valor soporte de suelo. Dado que no se prevé erosión potencial en el material de sub base, se selecciona un valor ($LS = 1$)

Profundidad hasta una fundación rígida, en este aspecto se estudiarán dos casos:

En la mayor parte de la longitud total de la carretera, la profundidad de la roca es mayor de 3 metros por lo que de acuerdo a lo que recomienda el Método AASHTO –93, la superficie del estrato de roca no tendrá efecto en el diseño.

Para determinar el módulo efectivo de reacción de la subrasante que es el utilizado en el método, se tiene en cuenta el análisis siguiente para un espesor de sub.-base asumidos para el tanteo:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Periodo	Modulo de Elasticidad de la subrasante MR (psi)	Modulo de Elasticidad de la subbase (psi)	Valor K (psi)	Valor K en el suelo rígido	Daño relativo Ur
	9,750	12500	460	-	0.70

El valor de la columna 4 se obtuvo de la siguiente manera:

En la figura 3.3 del Manual AASHTO –93 y utilizando los datos: Espesor propuesto de sub.-base: 15 cm y modulo resiliente de la subrasante: 9,750 psi, nos da el módulo compuesto de reacción de la sub rasante, considerando una profundidad infinita de una capa rígida (K_{∞}), este valor fue de 460 psi.

En la columna (5) no se realizó corrección en este caso ya que la profundidad del suelo rígido es mayor de 3 mts.

En la columna (6), se determino el daño relativo (Ur), utilizando la figura 3.5 del Manual AASHTO –93 (Figura 7-2, Anexo III, Capítulo VII) con los datos: Módulo compuesto de reacción de la sub rasante $K = 460$ psi y el espesor de losa proyectado (asumido): 9”:

Como el periodo a tener en cuenta no se dividió en etapas, no es necesario determinar el daño relativo promedio, por lo tanto el valor del módulo efectivo de reacción de la subrasante K será es determinado en la columna (4), este valor debe ser corregido debido a la perdida potencial de soporte utilizando la figura 3.6 del Manual AASHTO –93 (Figura 7-3, Anexo III, Capítulo VII), utilizando como dato el valor efectivo del módulo de la reacción de la subrasante (K) = 460 psi con valor $LS= 0$ obtenemos $K= 160$ psi.

Resumen de Variables.

$$\Delta PSI= P_o - P_t = 4.5 - 3.0 = 1.5$$

$$R = 90\% \text{ entonces } Z_r = - 1.282$$

$$S_o = 0.35$$

$$ESALS = 8.1 \times 10$$

$S' c = 745 \text{ psi}$
 $J = 2.7$
 $C1 = 1.05$
 $K2 = 160 \text{ psi}$
 $E_c = 4,030,510 \text{ psi}$

Utilizando el ábaco de la figura 3.7 (Figura 5-4, Capítulo V) del Manual AASHTO –93 obtenemos un espesor de losa de concreto hidráulico de 8". (20 cm).

Análisis de Fatiga del Concreto:

Las tablas y gráficos empleados son los mismos, tanto para pavimentos de concreto simples, con pasadores o sin ellos, como para pavimentos con refuerzo continuo. La única diferencia la establece el tipo de berma que tenga el pavimento. En el caso del presente trabajo usaremos con berma de concreto y le corresponde usar la tabla 7-4 y la figura 7-7 (Ver Anexo III, Capítulo VII).

Los pasos que se siguieron son los siguientes:

Las cargas provienen de los pesajes de vehículos que se realizaron en la carretera, esto se pueden ver en el capítulo uno en los estudios de tráfico.

Factor de seguridad de carga (F.S.C)

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por unos factores de seguridad de carga, de acuerdo a:

Portland Cement Association (PCA)

La P.C.A, recomienda lo siguiente:

Para tránsito pesado, F.S.C = 1.2 (columna 2).

Columna (3).

En este caso en Nicaragua no se dispone de información detallada acerca de los números de ejes por tipo y rango de cargas por lo que se estimó de acuerdo a porcentajes del volumen de tráfico proyectado a los 30 años.

Columna (4).

Utilizando la tabla 7-4 y los valores de la columna (2) y el factor de relación de esfuerzo nos da que las repeticiones admisibles son ilimitadas debido a que las cargas utilizadas son bajas y no repercutirán en este diseño.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Columna (5).

Estos valores resultan de la división de la columna tres con la columna cuatro, resultado un porcentaje de fatiga “0”.

Revisión por fatiga

Espesor de Losa “8”

MR = 745.5 PSI = 5.14 Mpa

KC= 160 PCI = Mpa/m

Eje sencillo.

Esfuerzo equivalente: 1.430

Relaciones de esfuerzo: $1.43/5.14 = 0.28$

Tabla 7-8 Análisis de Fatiga para eje sencillo.

Cargas por Eje KN (1)	Cargas por Eje x F.S.C (2)	Repeticiones Esperadas (3)	Análisis de Fatiga	
			Repeticiones Admisibles (4)	Porcentaje de Fatiga (5)
70	84	229,591	Ilimitado	0
65	78	256,000	Ilimitado	0
60	72	310,640	Ilimitado	0
55	66	336,000	Ilimitado	0
50	60	431,520	Ilimitado	0
45	54	1,350,800	Ilimitado	0

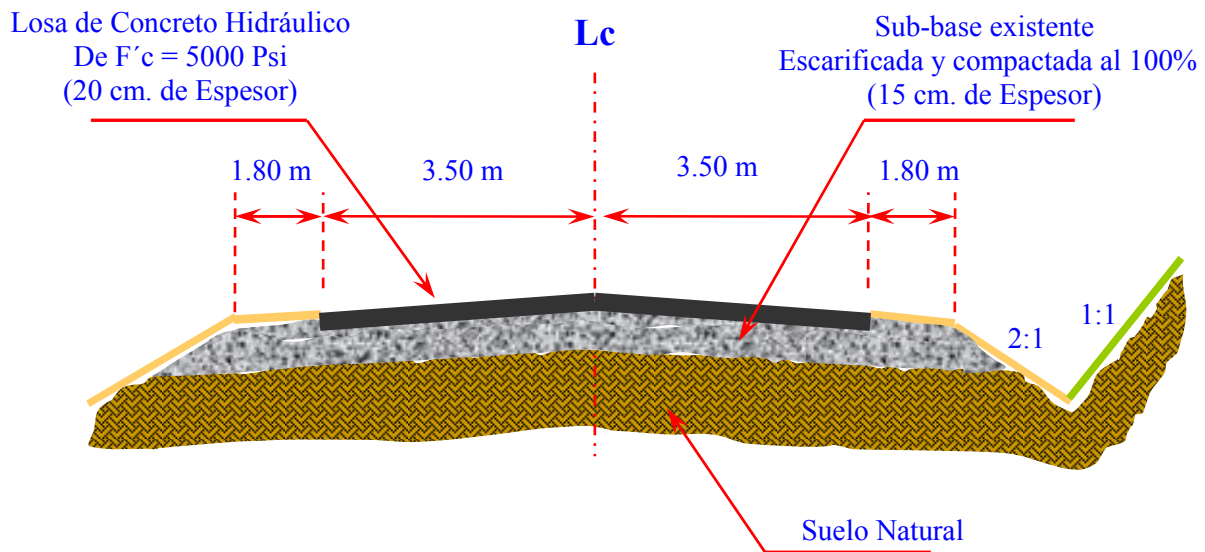
Tabla 7-9 Análisis de Fatiga para eje tándem.

Relación de Esfuerzo: $1.23/5.14 = 0.23$

Cargas por Eje KN (1)	Cargas por Eje x F.S.C (2)	Repeticiones Esperadas (3)	Análisis de Fatiga	
			Repeticiones Admisibles (4)	Porcentaje de Fatiga (5)
138	165.6	651,360	Ilimitado	0
130	156	664,000	Ilimitado	0
120	144	684,320	Ilimitado	0

De acuerdo a los resultados anteriores, se observa que las repeticiones de carga admisibles son ilimitadas por lo que el diseño propuesto no tendrá problemas de agrietamiento por fatiga, ya que los ejes que circularan durante la vida útil de este que es de 30 años no producirán esfuerzos dañinos a la estructura del pavimento rígido. No se analizaron otras alternativas, tales como grava- asfalto y grava-cemento ya que sus costos son excesivamente altos y por lo tanto no son comparables desde el punto de vista de costos.

ALTERNATIVA DE CONCRETO HIDRÁULICO



E. Comparación económica de las variantes de estructuras de pavimentos.

La comparación económica de cada alternativa de concreto Asfáltico e Hidráulico, se realizará en unidades de un (1) Km. de pavimento, utilizando costos unitarios presentados al Ministerio de Transporte e infraestructura por las Empresas Contratistas licitantes para la reconstrucción de la carretera Chinandega – Guasaule en el presente año (según el proyecto, 2003).

e.1. Costos de Alternativas.

Alternativas de Concreto Asfáltico en Caliente.

Las actividades que se contemplan son las que directamente están relacionadas con el paquete estructural de pavimento, como son:

- Carpeta Asfáltica en caliente.
- Base.
- Sub base existente.

Alternativa No. 1.

Actividad	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario U.S\$	Costo Total U.S\$
Concreto Asfáltico en Caliente	M ³	1658	100.69	166,944
Base de Agregados Triturados	M ³	1650	19.55	32,257.5
Sub Base Carificada Compactada	M ³	1800	3.65	6,570
Total				205,771.5

Alternativa No. 2.

Concreto Asfáltico en Caliente	M ³	916	100.69	92,232.04
Base de Agregados Triturados Estabilizados	M ³	2,530	36.97	93,534.1
Sub Base existente escarificada y compactada	M ³	1800	3.65	6,570
Total				192,336.14

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Alternativa No. 3

Concreto Asfáltico en Caliente	M ³	916	100.69	92,232.04
Base Negra	M ³	2,530	76.37	193,216.1
Sub Base existente escarificada y compactada	M ³	1800	3.65	6,570
Total				292,018.4

Alternativa de Concreto Hidráulico.

Las actividades que se involucran son las que directamente están relacionadas con el paquete estructural de este pavimento como son:

- Concreto Hidráulico.
- Sub Base existente.

Actividad	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario US \$	Costo Total US \$
Concreto Hidráulico	M ³	2120	156	330,720
Sub-base escarificación y compactación	M ³	1800	3.65	6570
Total				337,290.00

Resumen de Costos de Alternativas.

Alternativa	Años de Vida Útil	Costo por Km. U.S\$
Alternativa No.1 Concreto Asfáltico	20	205,771.50
Alternativa No.2 de Concreto Asfáltico	20	192,336.14
Alternativa No.3 de Concreto Asfáltico	20	292,018.40
Alternativa de Concreto Hidráulico	30	337,290.00

De acuerdo al cuadro Resumen de costos de alternativas, la variante No 2 de concreto asfáltico con base grava-cemento es la que presenta menores costos por Km.

La alternativa de concreto hidráulico resulto ser la de mayor costo, la cual excede en aproximadamente un 16% a la alternativa de mayor costo de pavimento flexible que es la No 3 o de base asfáltica, sin embargo, el pavimento de concreto presenta un diseño con 10 años más de vida útil que los pavimentos flexibles, así como menores costos de mantenimiento, factores que podrían justificar en cierta medida su aplicación en un proyecto.

7.4 Cantidades de Obra.

En este capítulo se presentan las cantidades de obra del proyecto las cuales fueron calculadas tomando en consideración los diseños obtenidos por los especialistas de las distintas disciplinas que participaron en el proyecto.

Las características principales del proyecto y de la sección típica, las cuales se utilizan en muchos de los cálculos efectuados se detallan a continuación:

Longitud	=	36 Km.
Numero de Carriles	=	2
Pavimento	=	Concreto Asfáltico, en el Ancho de rodamiento y Tratamiento Superficial Bituminoso Simple en Hombros
Ancho de Carril	=	3.5 m
Hombro	=	1.8 m
Espesor de Carpeta	=	0.07 m
Espesor de Base	=	0.15 m
Espesor de Subbase	=	0.20 m
Talud de Capa de Base	=	2:1
Talud de Capa de Subbase	=	2:1

Descripción de Actividades y Memoria de Cálculo para la Estimación de Cantidades de Obra.

A continuación se presenta el detalle de los cálculos y/o actividades efectuadas para determinar las cantidades de obra de todos los conceptos que conforman el pliego de licitación:

201 (1) Abra y Destronque.

El cálculo de la cantidad de obra para este concepto se efectuó determinando de las secciones transversales de cada estación, el ancho a despejar a cada lado de la calzada existente, el ancho promedio calculado fue de 11 mts a cada lado de la calzada. La cantidad de obra se determinó con la siguiente fórmula.

$$\text{Cantidad} = \text{Longitud} \times \text{Ancho Promedio} \times 2 \text{ Lados} / 10,000$$

$$\text{Cantidad} = 36,000 \times 11 \times 2 / 10,000 = \mathbf{79.20 \text{ Ha.}}$$

203 (3) Excavación no Clasificada.

El cálculo de la cantidad de obra para este concepto se efectuó mediante dos corridas del Módulo Civil Design del Programa Landdevelopment de Autodesk.

En estas corridas se cargan en el programa, la superficie del terreno existente que representan el DTM (Modelo Digital del Terreno), las secciones típicas, el alineamiento horizontal y vertical y todos los parámetros de diseño como sobreancho, peralte, transiciones, pendientes de talud para corte y relleno. En la primera corrida efectuada con la sección típica de diseño, se obtienen las cantidades de corte bruto y relleno neto, con la segunda corrida con la sección a reciclar se obtiene la cantidad de obra de reciclaje, luego por diferencia entre el corte bruto obtenido en la primera corrida y el reciclaje de la segunda corrida, se obtiene el corte neto que corresponde a la excavación no clasificada.

El método utilizado para el cálculo de volúmenes fue el Avgendarea (Average End Area), el cual promedia el área de corte o relleno entre dos secciones consecutivas, multiplicando luego por la distancia entre dichas estaciones. Dando como resultado del cálculo antes descrito la cantidad de **85,399.31 m³**

203 (18) Excavación de Canales Menores de 4 m.

El cálculo de la cantidad de obra para este concepto se efectuó obteniendo datos topográficos del DTM, tales como elevaciones, longitudes y un espesor de corte promedio, los que posteriormente se introducen en una hoja electrónica preparada por los consultores para efectuar el cálculo respectivo. Dando como resultado del cálculo antes descrito la cantidad de **225 m³**

206 (2) Sobre acarreo Largo.

El cálculo de la cantidad de obra para este concepto se obtuvo mediante el análisis de la curva masa, considerando una distancia de acarreo libre de 600 mts y una distancia de sobre acarreo económico de 6 Km., el resumen del análisis efectuado se puede apreciar en la hoja de plano X – 1/1. Dando como resultado del análisis antes descrito la cantidad de **149,889.01 m³**

207 (1) Excavación de Estructuras.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó obteniendo datos topográficos del DTM y de los perfiles dibujados sobre el eje del cruce, tales como elevaciones, longitudes y un espesor de corte promedio, los que posteriormente se introducen en una hoja electrónica preparada por los consultores para efectuar el cálculo respectivo. Esto por cada estación en la que se propone una alcantarilla. Dando como resultado del cálculo antes descrito la cantidad de **56 m³**

304 (3) Base de Material Triturado.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el volumen del prisma de la sección típica para la capa de base. Para el cálculo del prisma se utilizó la fórmula.

Cantidad = (Ancho de Carril + Hombro + Espesor de Base) x 2 x Espesor de Base x Longitud
+ Esp. De Carpeta x Hombro x 2 x Longitud

$$\text{Cantidad} = (3.5 + 1.8 + 0.15) \times 2 \times 0.15 \times 36,000 + 0.07 \times 1.8 \times 2 \times 36,000 = \mathbf{67,932 \text{ m}^3}$$

312 (1) Sub.-base Reciclada.

Como se describió en el concepto excavación no clasificada en la segunda corrida del Módulo Civil Design, se obtuvo la cantidad de obra de reciclaje, sin embargo se debe comprobar si se necesita aporte nuevo, es decir si la cantidad a reciclar es menor que el prisma de la subbase, en este caso el reciclaje es un poco mayor por lo tanto la cantidad de obra del reciclaje queda determinado por el prisma de la sección típica para la capa de subbase. Para el cálculo del prisma se utilizó la fórmula.

Cantidad = (Ancho de Carril + Hombro + 2 x Espesor de Base + Espesor de Subbase) x 2 x
Espesor de Subbase x Longitud

$$\text{Cantidad} = (3.5 + 1.8 + 2 \times 0.15 + 0.2) \times 2 \times 0.2 \times 36,000 = \mathbf{83,520 \text{ m}^3}$$

401 (1) Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el área a imprimir y multiplicando por la intensidad de riego.

Cantidad = (Ancho de Carril + Hombro) x 2 x Longitud x Intensidad de Riego

$$\text{Cantidad} = (3.5 + 1.8) \times 2 \times 36,000 \times 0.35 = \mathbf{133,560 \text{ Gln}}$$

401 (8) Material de Secado.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el volumen a colocar de material pétreo.

Cantidad = (Ancho de Carril + Hombro) x 2 x Longitud x Espesor Pétreo

$$\text{Cantidad} = (3.5 + 1.8) \times 2 \times 36,000 \times \frac{1}{4} \times 2.54 / 100 = \mathbf{2,423.16 \text{ m}^3}$$

402 (1) Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el área sobre la que se colocará concreto asfáltico o tratamiento superficial bituminoso y luego multiplicando por la intensidad de riego.

Cantidad = (Ancho de Carril + Hombro) x 2 x Longitud x Intensidad de Riego.

$$\text{Cantidad} = (3.5 + 1.8) \times 2 \times 36,000 \times 0.20 = \mathbf{76,320 \text{ Gln}}$$

404 (1) Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el volumen a colocar de material pétreo.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad} &= \text{Hombro} \times 2 \times \text{Longitud} \times \text{Espesor Pétreo} \\ \text{Cantidad} &= 1.8 \times 2 \times 36,000 \times \frac{1}{2} \times 2.54 / 100 = \mathbf{1,645.92 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

406 (1) Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el volumen a colocar de concreto bituminoso.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad} &= \text{Ancho de Carril} \times 2 \times \text{Longitud} \times \text{Espesor de Carpeta} \\ \text{Cantidad} &= 3.5 \times 2 \times 36,000 \times 0.07 = \mathbf{17,640 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

608 (2) Mampostería (Cabezales).

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó previendo un volumen de **35 m³** para efectuar reparaciones en los cabezales, vertederos y zampeados existentes.

701 (27) Lecho de Alcantarillas.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó calculando el volumen de material granular para el lecho de cada alcantarilla a colocar en las diferentes estaciones.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad} &= \text{Longitud de Alc.} \times (\text{Diámetro en Pulg.} \times 0.0254) \times 0.10 \\ \text{Cantidad} &= (245 \times (24 \times 0.254) + 81 \times (30 \times 0.254)) \times 0.10 = \mathbf{21.11 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

701 (28) Relleno de Alcantarillas.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó obteniendo datos topográficos del DTM y de los perfiles dibujados sobre el eje del cruce, tales como longitudes, elevaciones en el cauce y en los hombros, los que posteriormente se introducen en una hoja electrónica preparada por los consultores para efectuar el cálculo respectivo. Esto por cada estación en la que se propone una alcantarilla. Dando como resultado del cálculo antes descrito la cantidad de **649.34 m³**

701 (19A) Tubo de Concreto Reforzado de 24” Clase II

701 (19B) Tubo de Concreto Reforzado de 30” Clase II

905 (1) Bordillo Protector de Concreto de Cemento Pórtland

913 (7) Cunetas Revestidas de Suelo Cemento

Los conceptos **701 (19A)**, **701 (19B)**, **905 (1)** y **923 (1)** están relacionados al diseño de los accesos a las calles laterales o a propiedades, y sus dimensiones están indicadas, para cada caso, en la Figura N° IV.6 de la página IV-19 del Capítulo IV – Diseño Geométrico.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Se detalla a continuación los accesos de este proyecto, con su tipo, estación y lado:

Acceso Tipo A / 0'': 2+900/D – 3+490/I – 14+440/D – 18+360/I - 19+600/D = **5 (cinco)**

Acceso Tipo A / 24'': 0+800/I – 4+560/D – 5+190/I – 5+510/D – 5+600/D – 5+820/I
6+400/I – 7+150/I – 7+170/D – 10+110/I – 10+170/I – 10+190/I
11+080/I – 11+200/D – 18+420/D = **15 (quince)**

Acceso Tipo A / 30'': 11+240/D – 11+350/D – 11+720/I = **3 (tres)**

Acceso Tipo A / M'': 9+790/I – 9+880/I – 9+910/I – 9+980/i – 8+670/D – 8+780/D = **6 (seis)**

Acceso Tipo B / 0'': 1+770/D – 1+800/I – 7+900/D – 9+040/I – 9+040/D
10+420/D – 10+500/I – 10+570/I – 22+750/I – 25+690/D
28+230/D – 28+630/I – 28+730/D – 31+780/D – 33+260/I
34+090/I = **16 (dieciséis)**

Acceso Tipo B / 24'': 0+550/D – 3+160/D – 3+780/D – 4+200/I – 4+210/D – 8+280/I
11+490/D = **7 (siete)**

Acceso Tipo B / 30'': 11+690/D – 32+590/I – 32+590/D = **3 (tres)**

Acceso Tipo C / 0'': 9+580/D – 28+730/I – 13+960/I = **3 (tres)**

Alcantarilla lateral de TCR 24'' en: 10+150/D, long.: 70 metros

Alcantarilla lateral de TCR 30'' en: 11+610/I, long.: 30 metros

TIPO	CANTIDAD	Ø 24'' (mts)	Ø 30'' (mts)	Bordillo Protector (mts)
A / 0''	5	-----	-----	5 x 13 = 65
A / 24''	15	15 x 7 = 105	-----	15 x 13 = 195
A / 30''	3	-----	3 x 7 = 21	3 x 13 = 39
A / M	6	-----	-----	6 x 13 = 78
B / 0''	16	-----	-----	16 x 19 = 304
B / 24''	7	7 x 10 = 70	-----	7 x 19 = 133
B / 30''	3	-----	3 x 10 = 30	3 x 19 = 57
C / 0''	3	-----	-----	3 x 24 = 72
Acceso 10+500/D	1	70	-----	82
Acceso 11+610/I	1	-----	30	42
Totales	60	245	81	1067
Concepto	923 (1)	701 (19A)	701 (19B)	905 (1)

801 (8) Señales Verticales de Acero. La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó cuantificando la cantidad de señales, a continuación se detalla la ubicación según planos plantas perfil.

Lado Izquierdo: 0-050 - 0+800 - 0+360 - 0+820 - 0+940 - 1+080 - 3+620 - 4+180 - 4+480 - 5+220 - 6+490 - 8+430 - 8+790 - 9+620 - 9+680 - 11+480 - 11+680 - 11+810 - 11+880 - 12+530 - 13+090 - 13+840 - 13+930 - 15+560 - 18+020 - 18+320 - 18+900 - 19+820 - 20+080 - 21+280 - 22+520 - 23+260 - 23+920 - 25+060 - 25+630 - 25+870 - 27+620 - 28+470 - 28+710 - 28+780 - 28+880 - 29+040 - 29+210 - 31+320 - 32+690 - 33+520 - 33+980 - 34+880 - 35+180 - 35+880 - 36+000 = **50 (cincuenta)**

Lado Derecho: 0-100 - 0-030 - 0-020 - 0+480 - 0+980 - 2+040 - 3+620 - 4+180 - 4+520 - 6+460 - 8+290 - 8+650 - 9+540 - 9+620 - 9+780 - 10+060 - 11+790 - 12+080 - 12+510 - 13+060 - 13+820 - 14+820 - 15+860 - 17+680 - 18+560 - 18+900 - 19+980 - 20+520 - 21+040 - 22+160 - 24+360 - 25+610 - 25+840 - 26+360 - 26+880 - 28+450 - 28+520 - 28+690 - 28+760 - 29+180 - 29+780 - 32+560 - 32+940 - 33+980 - 34+280 - 35+700 - 35+800 - 35+860 - 35+920 = **49 (cuarenta y nueve)**

Total = 99 señales

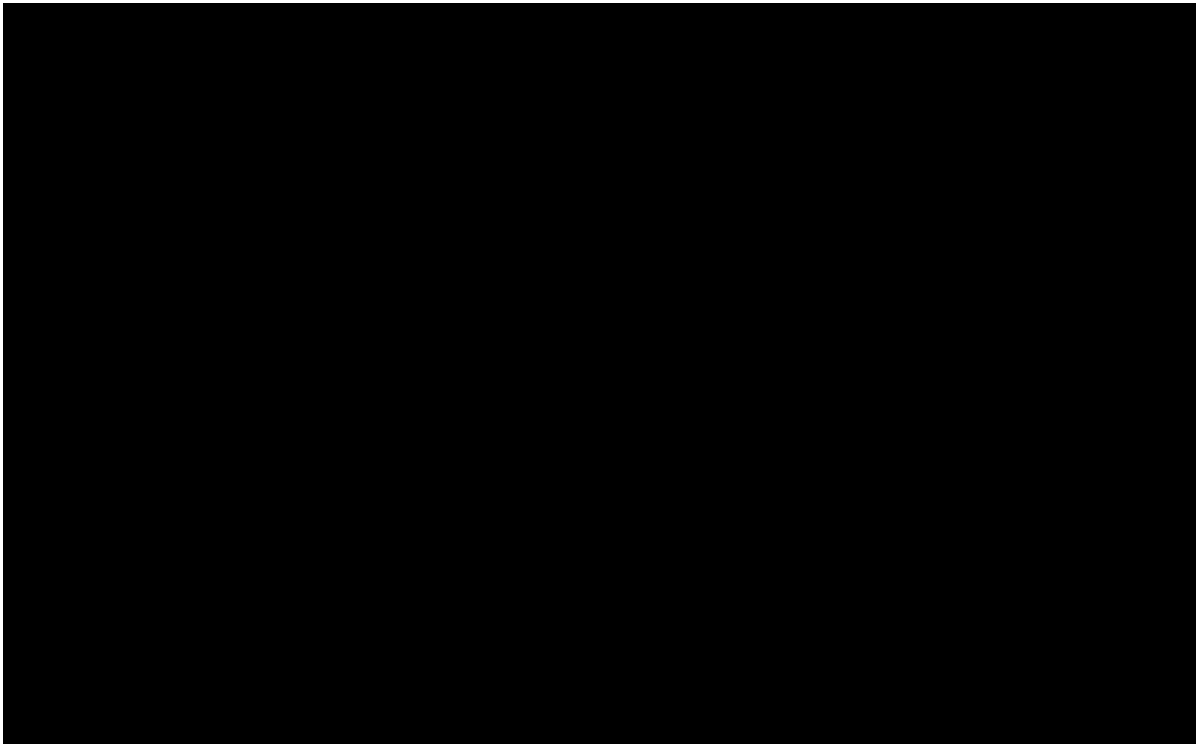
902 (1) Guardavía de Viga “W” Flex Beam. La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó cuantificando la cantidad de metros de guardavía, a continuación se detalla la ubicación según planos plantas perfil.

Lado Izquierdo			Lado Derecho		
Progresiva Inicial	Progresiva Final	Longitud (m)	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Longitud (m)
3+380	3+460	40	3+380	3+460	80
5+380	5+480	100	6+440	6+500	60
6+460	6+520	60	14+640	14+840	200
6+800	6+840	40	16+280	16+360	80
10+500	10+560	60	19+620	19+760	140
14+640	14+780	140	20+340	20+720	380
15+560	15+640	80	20+880	20+980	100
16+760	17+040	280	22+140	22+360	220
19+620	19+760	140	27+540	27+620	80
20+340	20+400	60	30+660	30+800	140
22+060	22+220	160	31+160	31+480	320
24+400	24+540	140	31+780	31+900	120
30+660	30+780	120	34+420	34+520	100
31+160	31+320	160			
31+430	31+480	50			
34+420	34+520	100			
35+400	35+480	80			

Longitud Total = 3,830 mts

913 (7) Cunetas Revestidas de Suelo Cemento.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó cuantificando las Cunetas Revestidas de Suelo Cemento, colocadas para evitar la erosión del drenaje en los sectores en corte, en la posición que se indica en la sección Geométrica Típica de la Figura N° IV.1, de la Pág. IV-3 del Capítulo IV Diseño Geométrico, están ubicadas entre las siguientes estaciones y lados:



Longitud Total = 4,060 metros

Superficie Total = 4,060 m x 2.769 m²/m = 11,242.14 m²

704 (5) Sub.-drenes Tipo Francés de Concreto de 6”

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó cuantificando los metros de Subdrenes Tipo Francés, proyectados para este tramo, están indicados en cuanto a su ubicación y lado en el siguiente cuadro:

DESDE	HASTA	LONGITUD	LADO
0+220	0+540	320	D
0+280	0+540	260	I
4+400	4+490	540	D
4+480	4+880	400	I
15+680	15+940	260	I
15+680	15+960	280	D
16+440	17+000	560	D
22+340	22+660	320	I
22+340	22+660	320	D
29+420	29+620	200	I
29+420	29+620	200	D
30+020	30+140	120	I
30+020	30+160	140	D
Total		3,920	

802 (1) y 802 (2) Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas y Continuas.

La estimación de la cantidad de obra para este concepto se efectuó cuantificando los metros de Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas y Continuas, para ambos bordes externos de la calzada y los bordes internos, resultando **35,170 m** y **108,830 m** respectivamente, están ubicadas entre las siguientes estaciones:

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Señalización Horizontal Estacion 0+000 - 36+000 Borde interno Calzada Izquierda		
Desde	Hasta	Tipo
0+000	0+860	—————
0+860	4+150	-----
4+150	4+520	—————
4+520	4+850	-----
4+850	5+320	—————
5+320	5+700	-----
5+700	6+060	—————
6+060	9+780	-----
9+780	10+090	—————
10+090	12+380	-----
12+380	12+730	—————
12+730	12+840	-----
12+840	13+300	—————
13+300	13+540	-----
13+540	14+080	—————
14+080	15+110	-----
15+110	16+040	—————
16+040	16+220	-----
16+220	16+500	—————
16+500	16+660	-----
16+660	17+600	—————
17+600	17+700	-----
17+700	18+810	—————
18+810	19+100	-----
19+100	19+470	—————
19+470	19+550	-----
19+550	20+080	—————
20+080	20+340	-----
20+340	21+000	—————
21+000	21+490	—————
21+490	22+670	-----
22+670	23+240	—————
23+240	23+300	-----
23+300	24+040	—————
24+040	24+290	-----
24+290	25+410	—————
25+410	26+840	-----
26+840	28+200	—————
28+200	28+740	-----
28+740	29+280	—————
29+280	30+000	-----
30+000	30+500	—————
30+500	30+550	-----
30+550	30+810	—————
30+810	30+910	-----
30+910	31+430	—————
31+430	31+960	-----
31+960	32+530	—————
32+530	32+900	-----
32+900	34+140	—————
34+140	34+300	-----
34+300	35+200	—————
35+200	35+300	-----
35+300	35+580	—————
35+580	36+000	-----

Señalización Horizontal Estacion 0+000 - 36+000 Borde interno Calzada Derecha		
Desde	Hasta	Tipo
0+000	0+420	—————
0+420	3+600	-----
3+600	4+040	—————
4+040	4+310	-----
4+310	4+810	—————
4+810	5+210	-----
5+210	5+560	—————
5+560	9+240	-----
9+240	9+480	—————
9+480	11+870	-----
11+870	12+280	—————
12+280	12+360	-----
12+360	12+840	—————
12+840	13+080	-----
13+080	13+560	—————
13+560	14+560	-----
14+560	15+600	—————
15+600	15+900	-----
15+900	17+170	—————
17+170	17+280	-----
17+280	18+340	—————
18+340	18+580	-----
18+580	19+580	—————
19+580	19+900	-----
19+900	20+960	—————
20+960	21+000	-----
21+000	22+120	—————
22+120	23+520	-----
23+520	23+800	—————
23+800	24+860	-----
24+860	25+370	—————
25+370	27+720	-----
27+720	28+240	—————
28+240	28+840	-----
28+840	29+520	—————
29+520	30+060	-----
30+060	30+180	—————
30+180	30+980	-----
30+980	31+440	—————
31+440	32+070	-----
32+070	32+380	—————
32+380	33+640	-----
33+640	33+840	—————
33+840	34+680	-----
34+680	34+780	—————
34+780	35+200	-----
35+200	35+450	—————
35+450	36+000	-----

Señalización Horizontal Estacion 0+000 - 36+000 Ambos Bordes Externos		
Desde	Hasta	Tipo
0+000	36+000	—————

914 (4) Postes Guías.

Los Postes Guías, se ubicarán en los cuatro ángulos de cada alcantarilla, en el borde exterior del hombro. En este proyecto se tienen 91 alcantarillas, por lo que el total de este concepto es de: 364 **unidades**.

914 (5) Postes Kilómetros.

Los Postes de Kilómetro, tienen un faltante de **2 unidades**, los cuales son los del Km. 53 y el Km. 58.

A continuación se presenta la Tabla 7-10 el cual contiene las cantidades de obra para cada concepto del proyecto:

**Tabla 7-10
Cantidades de Obra.**

CONCEPTO	DESCRIPCION	U/M	CANTIDAD
201 (1)	Abra y Destronque	Ha	79.20
203 (3)	Excavación no Clasificada	M ³	85,399.31
203 (18)	Excavación de Canales Menores a 4 m	M ³	225.00
206 (2)	Sobreacarreo Largo	M ³ -KM	149,889.01
207 (1)	Excavación para Estructuras	M ³	56.00
304 (3)	Base de Material Triturado	M ³	67,932.00
312 (1)	Subbase Reciclada (Carpeta y Base), tratada con cemento	M3	83,520.00
401 (1)	Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación	Gln	133,560.00
401 (8)	Material de Secado	M ³	2,423.16
402 (1)	Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga	Gln	76,320.00
404 (1)	Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25	M ³	1,645.92
406 (1)	Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente	M ³	17,640.00
608 (2)	Mampostería (Cabezales)	M ³	35.00
701 (19A)	Tubo de Concreto Reforzado de 24" Clase II	ML	245.00
701 (19B)	Tubo de Concreto Reforzado de 30" Clase II	ML	81.00
701 (27)	Lecho de Alcantarillas Clase "B"	M ³	21.11
701 (28)	Relleno para Alcantarillas	M ³	649.34
704 (5)	Subdrenes Tipo Francés de Concreto de 6"	ML	3,920.00
801 (8)	Señales Verticales de Acero	C/ U	99.00
802 (1)	Marcas de Transito Reflectorizadas Discontinuas	ML	35,170.00
802 (2)	Marcas de Transito Reflectorizadas Continuas	ML	108,830.00
902 (1)	Guarda Vía de Viga "W" (Flex Beam)	ML	3,830.00
905 (1)	Bordillo Protector de Concreto de Cemento Portland	ML	1,067.00
913 (7)	Cunetas Revestidas de Suelo Cemento	M ²	11,242.14
914 (4)	Postes Guías	C/ U	364.00
914 (5)	Postes Kilómetros	C/ U	2.00
923 (1)	Entradas a Calles y Propiedades	C/ U	60.00

7.5 Mantenimiento.

El mantenimiento de una carretera se describe generalmente como el conjunto de actividades que se ejecutan con el objeto de mantener la misma en forma estructural satisfactoria y en condiciones de operación similares a las previstas en el diseño, y asegurar a los usuarios una operación cómoda y segura.

El mantenimiento no sólo debe preservar la carretera, sino también debe prevenir su deterioro y no debería ser tomado como una acción temporaria, sino como una inversión necesaria y continua para prevenir reparaciones costosas y asegurar la obtención de los beneficios anticipados en la planificación vial.

7.5.1 Operaciones de Mantenimiento.

Las diversas operaciones de mantenimiento requeridas pueden ser divididas en aquellas actividades que deben ser realizadas anualmente, en forma continua, que pueden ser denominadas Mantenimiento Rutinario o Preventivo, y aquéllas que sólo deben ser realizadas periódicamente denominadas Mantenimiento Periódico.

7.5.1.1 Mantenimiento Rutinario.

Los ítems principales que requieren de mantenimiento rutinario o preventivo son los siguientes:

Limpieza del Derecho de Vía, el cual consiste en eliminar la maleza en la zona paralela a la carretera, incluyendo taludes y canales longitudinales, se recomienda efectuar esta actividad dos veces por año.

Limpieza y Rectificación de Cunetas, el cual consiste en perfilar las cunetas en corte, se recomienda dos veces por año.

Limpieza de Alcantarillas, el cual consiste en limpiar la entrada, salida y la tubería eliminando toda maleza y los materiales que se encuentren sedimentados, se recomienda dos veces por año.

Limpieza de Cajas, el cual consiste en limpiar la entrada, salida y la caja eliminando todos los materiales que se encuentren sedimentados, se recomienda dos veces por año.

Postes Guías, el cual consiste en la reposición de los postes guías deteriorados, se estima un poste por cada 7 kilómetros por año.

Señales Verticales, el cual consiste en la reposición de las señales verticales deterioradas, se estima una señal por cada 3 kilómetros por año.

7.5.1.2 Mantenimiento Periódico.

Los ítems principales que requieren de mantenimiento periódico son los siguientes:

Mantenimiento de Puentes, se debe realizar una inspección en los puentes para verificar que las juntas de expansión y los apoyos estén funcionando adecuadamente. Además de pintar los elementos metálicos con pintura anticorrosiva. Esta actividad se recomienda efectuarla cada 3 años.

Limpieza de Cauces de Puentes, se deberá efectuar limpieza en los cauces de los puentes, se recomienda efectuar esta actividad cada 3 años.

Bacheo Superficial, se efectuara con mezcla asfáltica en los sectores de la carpeta en los que se presenten baches. La frecuencia en que se recomienda efectuar esta actividad se detalla en el cuadro VIII.1.

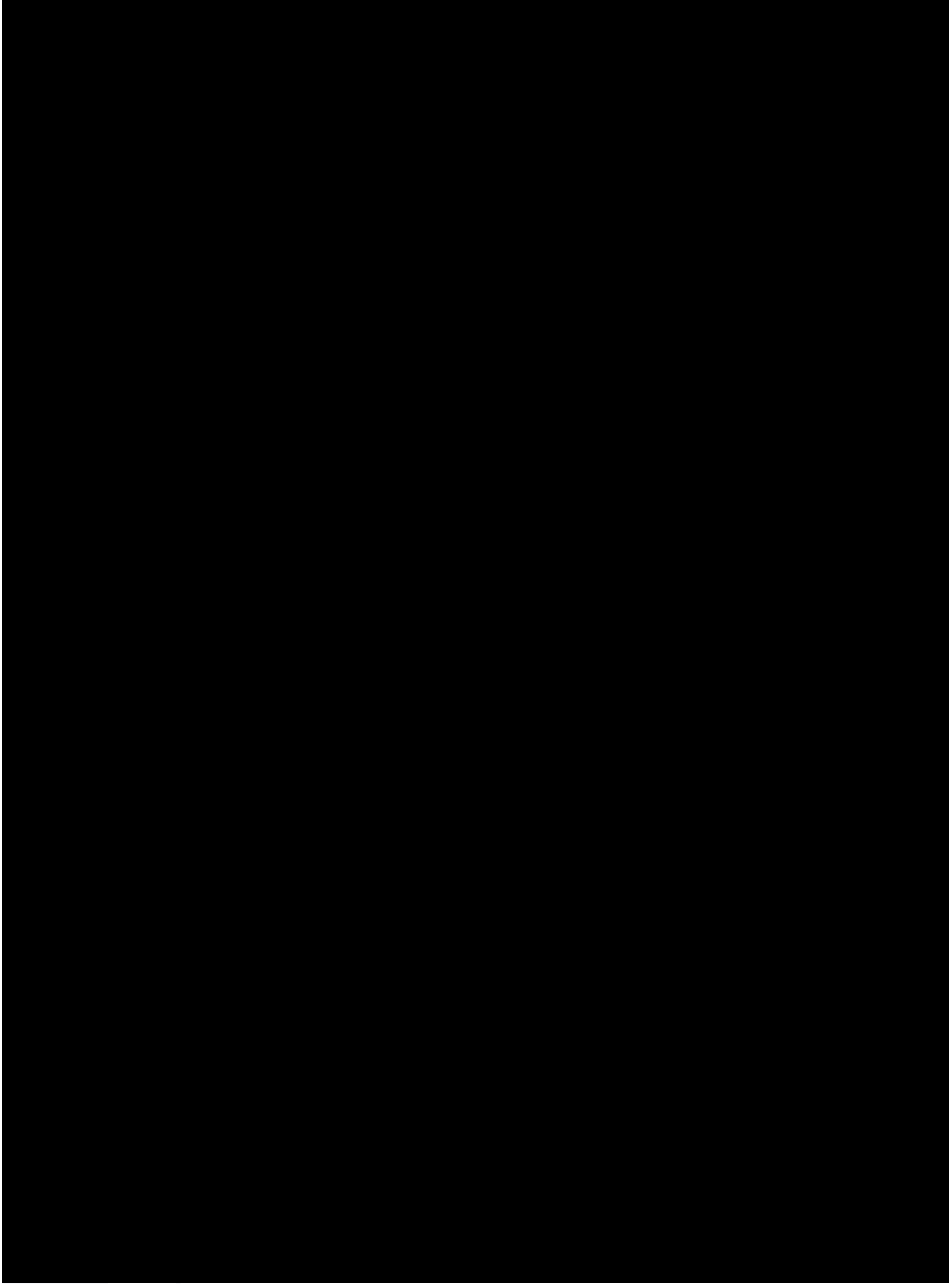
Bacheo Profundo, se efectuara con mezcla asfáltica y material granular en los sectores de la superficie de rodamiento, en los que la profundidad del bache exceda el espesor de la carpeta existente.

Tratamiento Superficial, se efectuara en los hombros un tratamiento superficial bituminoso simpl, en los hombros. La frecuencia en que se recomienda efectuar esta actividad se detalla en el cuadro VIII.1.

Revestimiento Asfáltico, esta actividad se efectuará en la superficie de rodamiento, aun cuando el diseño del pavimento no considera refuerzos diferidos a lo largo del periodo de diseño (20 años). Sin embargo para corregir pequeños deformaciones por causa de ahuecamiento, se recomienda colocar un revestimiento con mezcla asfáltica en caliente colocada con pavimentadora con un espesor de 2 cm., con agregado máximo de 3/8”. La frecuencia en que se recomienda efectuar esta actividad se detalla en el cuadro VIII.1.

Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas y Continuas, esta actividad se ejecutará sobre la superficie de rodamiento y consiste en rehacer el señalamiento horizontal. La frecuencia en que se recomienda efectuar esta actividad se detalla en el cuadro VIII.1.

A continuación se detalla en los cuadros VIII.1 y VIII.3, la frecuencia con que se recomienda ejecutar las diferentes actividades del mantenimiento rutinario y periódico, para la situación “con proyecto” y “sin proyecto”, en los cuadros VIII.2 y VIII.4, se detallan los costos anuales para las diferentes actividades en las situaciones antes descritas.



Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro VIII.2

COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO CON PROYECTO

Carretera: SANTA RITA - IZAPA

AÑO	MANTENIMIENTO DE RUTINA	BACHEO SUPERFICIAL Y PROFUNDO	MESCLA ASFALTICA EN CALIENTE	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	PUNTES MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE CAUCES	SEÑALIZACION HORIZONTAL	COSTO ANUAL EN US\$
1	33,649.15						33,649.15
2	33,649.15	26,990.96					60,640.11
3	33,649.15				17,141.50		50,790.65
4	33,649.15	27,955.69					61,604.84
5	33,649.15					125,313.20	158,962.35
6	33,649.15	28,438.06			17,141.50		79,228.71
7	33,649.15						33,649.15
8	33,649.15	53,981.93					87,631.08
9	33,649.15				17,141.50		50,790.65
10	33,649.15	55,429.03	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,068,988.18
11	33,649.15						33,649.15
12	33,649.15	40,486.45			17,141.50		91,277.10
13	33,649.15						33,649.15
14	33,649.15	40,486.45					74,135.60
15	33,649.15				17,141.50		50,790.65
16	33,649.15	41,451.18	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,055,010.33
17	33,649.15						33,649.15
18	33,649.15	55,429.03			17,141.50		106,219.68
19	33,649.15						33,649.15
20	33,649.15	55,429.03					89,078.18
INVERSION TOTAL EN MANTENIMIENTO							3,287,043.01

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro VIII.3

COSTOS DEL MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIODICO SIN PROYECTO

Carretera: SANTA RITA-IZAPA

TIPO	CONCEPTOS	UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA	COSTO UNITARIO EN US\$	CANTIDAD	COSTO PERIODICO EN US\$	
RUTINARIO	Limpieza del Derecho de Vía	Ha.	2 veces/año	275.82	36.00	19,859.04	
	Limpieza de Cunetas	Km.	2 veces/año	79.60	25.20	4,011.84	
	Limpieza de Alcantarillas	m l	2 veces/año	3.37	1,092.00	7,360.08	
	Limpieza de Cajas	m l	2 veces/año	3.37	176.00	1,186.24	
	Postes Guías	unidad	1 Poste c 5 Km/Año	28.59	7.00	200.13	
	Señal Vertical	unidad	1 Señal c 3 Km/año	90.75	12.00	1,089.00	
	Mantenimiento de Puentes	Global	1 vez c/3 años	12,000.00	1.00	12,000.00	
	Limpieza de Cauces y Puentes	m ³	1 vez c/3 años	7.91	650.00	5,141.50	
	Bacheo:		Años				
			1°	153.01	1,764.00	269,909.64	
a) Superficial			2°, 4°, 6°	153.01	529.20	80,972.89	
			8°, 10°	153.01	882.00	134,954.82	
			12°, 14°, 16°	153.01	529.20	80,972.89	
			18° y 20°	153.01	882.00	134,954.82	
	b) Profundo			1°	54.69	705.60	38,589.26
				4°	54.69	176.40	9,647.32
				6° al 10°	54.69	352.80	19,294.63
				16°	54.69	176.40	9,647.32
				18° y 20°	54.69	352.80	19,294.63
				Años 1°, 10° y 16°	1.32	129,600.00	171,072.00
Tratamiento Superficial Bituminoso en Hombros	m ²						
PERIODICO	Mezcla Asfáltica en Caliente Colocada con Pavimentadora e=0.07 m a _c =7 m; incluye riego de liga	m ³	Año 1°	135.62	17,640.00	2,392,336.80	
	Mezcla Asfáltica en Caliente Colocada con Pavimentadora e=0.02 m a _c =7 m; incluye riego de liga	m ³	Años 10° y 16°	135.62	5,040.00	683,524.80	
	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas	m l	Años 1°, 5°, 10° 16° y 20°	0.84	35,170.00	29,542.80	
	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	m l	Años 1°, 5°, 10° 16° y 20°	0.88	108,830.00	95,770.40	

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro VIII.4
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO SIN PROYECTO

Carretera: SANTA RITA - IZAPA

AÑO	MANTENIMIENTO DE RUTINA	BACHEO SUPERFICIAL Y PROFUNDO	MESCLA ASFALTICA EN CALIENTE	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	PUENTES MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE CAUCES	SEÑALIZACION HORIZONTAL	COSTO ANUAL EN US\$
1	33,706.33	308,498.90	2,392,336.80	171,072.00		125,313.20	3,030,927.23
2	33,706.33	80,972.89					114,679.22
3	33,706.33				17,141.50		50,847.83
4	33,706.33	90,620.21					124,326.54
5	33,706.33					125,313.20	159,019.53
6	33,706.33	100,267.52			17,141.50		151,115.35
7	33,706.33						33,706.33
8	33,706.33	134,954.82					168,661.15
9	33,706.33				17,141.50		50,847.83
10	33,706.33	154,249.45	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,167,865.78
11	33,706.33						33,706.33
12	33,706.33	80,972.89			17,141.50		131,820.72
13	33,706.33						33,706.33
14	33,706.33	80,972.89					114,679.22
15	33,706.33				17,141.50		50,847.83
16	33,706.33	90,620.21	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,104,236.54
17	33,706.33						33,706.33
18	33,706.33	154,249.45			17,141.50		205,097.28
19	33,706.33						33,706.33
20	33,706.33	154,249.45				125,313.20	313,268.98
INVERSION TOTAL EN MANTENIMIENTO							7,106,772.68

El impacto ambiental que conlleva la construcción de una carretera es de gran importancia, por esta razón una ayuda practica en la planeación de proyectos carreteros, es hacer uso de los procedimientos recomendados para las evaluaciones ambientales, reduciendo las necesidades subsecuentes de imponer limitaciones al proyecto y evitando los costos y demoras en la implantación que podrían surgir a raíz de los problemas no anticipados.

6.2 Influencia del entorno en el diseño geométrico.

El entorno esta constituido, además del medio ambiente natural del que se encarga la evaluación del impacto ambiental, por situaciones tales como vecindad de poblados o áreas urbanas, presencia de peatones o tráfico no motorizado, paso de fauna, bosques, áreas de recreo, etc. Actualmente, las características geométricas y funcionales de las carreteras deben adaptarse al entorno que atraviesan, abandonando el diseño completo, manteniendo presentes la comodidad, eficiencia y seguridad en la circulación.

Por tanto debe considerarse que las normas del diseño se adecuen a la metodología general, es decir, que los niveles de diseño tienen que ser tolerables para el transito que se prevé, de modo que los proyectos resulten factibles.

6.3 Circunstancias del entorno natural en Nicaragua.

Las experiencias con las normas de diseño geométrico, aplicadas hasta el momento en Nicaragua, conducen a pensar que las estadísticas y los cálculos de ingeniería deberían ser revisados para los futuros 20 años que comprende este estudio, por lo menos a lo que concierne en la red vial básica, pues, si es cierto que la red, en su estado actual, cuenta con una gran mayoría de carreteras y caminos que han sobrepasado su vida útil, y que los recursos que han estado disponibles par el mantenimiento vial han sido extremadamente escasos, el crecimiento previsto para el trafico y las cargas transportadas y la alta incidencia de los desastres naturales, hacen imperiosa la necesidad de dar a la red vial básica un factor de seguridad mucho mayor y compatible con la preservación de la vida, la propiedad, la inversión y la posición del país dentro del concierto de las naciones.

Entre estas circunstancias están:

Clima

Los eventos climatológicos de los últimos años han demostrado la vulnerabilidad de la infraestructura vial y que Nicaragua corre peligro de quedar aislada de los países vecinos en forma periódica a causa de las frecuentes inundaciones producidas por ondas tropicales y huracanes. Los riesgos asumidos en el diseño económico de puentes, alcantarillas, pavimentos, cunetas de drenaje, taludes y obras de protección, han dejado un saldo negativo. La reparación de los daños ha sido transitoria.

Actividades volcánicas y tectónicas

Estas dos actividades del entorno han demostrado que deben ser tomadas muy en cuenta en el planeamiento físico de la red vial tanto como en el resto de la infraestructura de servicios en la región del pacífico.

6.4 Impactos Directos.

Los impactos directos de las vías terrestres se dan desde la fase de construcción de las mismas, y durante toda su vida útil.

Los impactos más importantes relacionados con la construcción son aquellos que corresponden a la limpieza, nivelación o construcción del piso: pérdida de la capa vegetal, exclusión de otros usos para la tierra; modificación de patrones naturales de drenaje; cambios en la elevación de las aguas subterráneas; deslaves, erosión y sedimentación de ríos y lagos; degradación del paisaje o destrucción de sitios culturales; e interferencia con la movilización de animales silvestres, ganado y residentes locales.

Muchos de estos impactos pueden surgir no sólo en el sitio de construcción sino también en las pedreras, canteras apropiadas y áreas de almacenamiento de materiales que sirven al proyecto. Adicionalmente, pueden darse impactos ambientales y socioculturales adversos en proyectos tanto de construcción como de mantenimiento, como resultado de la contaminación del aire y del suelo, proveniente de las plantas de asfalto, el polvo y el ruido del equipo de construcción y la dinamita; el uso de pesticidas, derrame de combustibles y aceites; la basura; y, en proyectos grandes, la presencia de mano de obra no residente.

Los impactos directos por el uso de las vías terrestres pueden incluir: mayor demanda de combustibles para los motores; accidentes con los medios no motorizados de transporte o el reemplazo de los mismos; mayor contaminación del aire, ruido, desechos a los lados del camino; daños físicos o muerte a animales y personas que intentan cruzar la vía; riesgos de salud y daños ambientales a raíz de los accidentes con materiales peligrosos en tránsito; y contaminación del agua debido a los derrames o la acumulación de contaminantes en la superficie de los caminos.

6.5 Impactos Indirectos.

Una amplia gama de impactos indirectos negativos han sido atribuidos a la construcción o mejoramiento de las vías terrestres. Muchas de éstos son principalmente socioculturales. Éstos incluyen: la degradación visual debido a la colocación de carteles a los lados del camino; los impactos de la urbanización no planificada, inducida por el proyecto; la alteración de la tenencia local de tierras debido a la especulación; la construcción de nuevos caminos secundarios, primarios y terciarios; el mayor acceso humano a las tierras silvestres y otras áreas naturales; y la migración de mano de obra y desplazamiento de las economías de subsistencia.

6.5.1 Pérdida de tierras agrícolas.

La mejor tierra agrícola, relativamente plana y con buen drenaje, proporciona una ruta ideal para las vías terrestres, y muchos son colocados allí. En sí, la pérdida de tierra para el derecho de paso puede ser relativamente insignificante y normalmente se toma en cuenta al decidir si procede con un proyecto. Sin embargo, el fenómeno del desarrollo inducido, junto con el aumento del valor de la tierra por los caminos, puede resultar en la conversión de grandes áreas de tierra agrícola a otros usos.

6.5.2 Interferencia con los métodos acostumbrados de transporte local.

Los peatones y vehículos tirados por animales y de pedal, son tipos importantes de tránsito por los caminos de muchos países, especialmente los caminos locales y aquellos que llevan a los principales mercados urbanos. El mejoramiento de los caminos rurales no pavimentados al nivel de los pavimentados, que no tome en cuenta el volumen de dicho tránsito, resultará en un número inaceptable de accidentes y el reemplazo de los modos más lentos de transporte.

6.5.3 Implicaciones nacionales y globales.

La construcción de caminos y carreteras puede incrementar la demanda de vehículos motorizados, combustibles y lubricantes. Si éstos deben ser importados, se puede agravar el problema del balance de pagos. Puede deteriorarse la calidad del aire a nivel local o regional, y aumentará el aporte a los gases de efecto invernadero.

6.6 Alternativas para el Proyecto.

No existen alternativas para caminos que desempeñan la función de proporcionar un transporte relativamente rápido y de bajo costo, es más probable que el transporte por aire y agua, complementen, en vez de sustituir, a los caminos y carreteras. Las alternativas para la construcción de nuevos caminos o expansión de los existentes, que merecen consideración en la planificación del transporte desde un punto de vista ambiental, incluyen mejoras en el manejo del tránsito y transporte público por los caminos existentes, ferrocarriles para carga o pasajeros, y una mayor inversión en el transporte no motorizado, al menos para distancias cortas.

Las alternativas que deben ser investigadas en la planificación y diseño de un proyecto individual, incluyen rutas que evaden los recursos valiosos o frágiles y las que no brindan acceso a las tierras silvestres y otras áreas que deberían permanecer en su estado natural.

Tabla 6 – 1.

Potenciales Impactos Negativos y Medidas de Mitigación.

Impactos Negativos Potenciales	Medidas de Atenuación
Directos	
1. La mayor sedimentación en ríos afectados por la erosión en los sitios de construcción y caminos nuevos, rellenos y botaderos.	Proteger las superficies susceptibles con estiércol y paja o tela, y sembrar las áreas sujetas a la erosión tan pronto sea posible.
2. La contaminación del suelo y del agua, con aceite, grasa, combustible y pintura en los patios para el equipo y en las plantas de asfalto.	Reunir y reciclar los lubricantes. Evitar los derrames mediante buenas prácticas.
3. La contaminación del aire, procedente de las plantas de asfalto.	Instalar y operar equipos para el control de la contaminación del aire.
4. El polvo y ruido local.	Periódicamente humedecer o enaceitar levemente los caminos temporales; Instalar y mantener silenciadores en los equipos.
5. La contaminación del aire y el ruido, proveniente de la operación de vehículos, en áreas pobladas cruzadas por la carretera, especialmente en las áreas metropolitanas en áreas rurales con una gran densidad demográfica.	Incluir en los planos barreras físicas contra el sonido. Requerir el cumplimiento de los programas y normas de mantenimiento de motores (o emplear combustibles alternativos) a fin de reducir la contaminación del aire. Mejorar la capacidad del transporte público y del manejo del tránsito.
6. La desfiguración del paisaje por los terraplanes y cortes profundos, rellenos.	Emplear un diseño arquitectónico que “se combine con el paisaje”. Volver a sembrar las superficies desfiguradas.
7. Los deslaves, hundimientos, deslizamientos y demás movimientos masivos en los cortes del camino.	Proporcionar las obras de drenaje necesarias para reducir el riesgo, de acuerdo con estudios previos. Trazar la ruta de tal manera que evite las áreas inherentemente inestables. Estabilizar los cortes del camino con estructuras (paredes de hormigón, albañilería seca, etc.).
8. La erosión de las tierras por debajo del lecho del camino, que reciben el aflujo concentrado de los drenajes tapados o abiertos.	Aumentar el número de salidas de drenaje; Colocar las salidas de drenaje de tal manera que evite el efecto de cascada. Revestir la superficie receptora con piedras, hormigón.
9. El esparcimiento de basura por el camino.	Proporcionar instalaciones para la eliminación de desechos. Alentar la adopción de leyes y reglamentos contra el esparcimiento de basura.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

10. Condiciones peligrosas de tránsito donde la construcción interfiere con caminos existentes.	Incluir en el diseño, señales apropiadas para los caminos, incluyendo luces.
11. Alteración del drenaje superior y subterráneo (donde los cortes del camino interceptan el nivel de las aguas freáticas, las vertientes, etc.)	Instalar obras adecuadas de drenaje.
12. Destrucción de las plantas y animales silvestres en el área ocupada por la carretera.	Modificar el trazado donde sea posible, a fin de evitar las áreas excepcionales identificadas en estudios anteriores.
13. Destrucción o daño de los hábitats de la vida silvestre terrestre, los recursos biológicos o ecosistemas que deberían ser preservados	Planificar el trazado de la ruta de transporte nacional, de acuerdo con la ubicación de áreas frágiles, excepcionales, etc.
14. Alteración de los regímenes hidrológicos de las tierras húmedas por acción de las calzadas elevadas, con efectos perjudiciales sobre estos ecosistemas.	Modificar el trazado a fin de evitar las tierras húmedas. Instalación de alcantarillas, puentes, etc., según sean necesarias y de acuerdo con los criterios de estudios hidrobiológicos previos.
15. Interrupción de las rutas de migración para la vida silvestre y el ganado y mayores choques contra animales.	Modificar el trazado para evitar importantes rutas de migración. Proporcionar pasos a desnivel.
16. Falta de saneamiento y eliminación de desechos sólidos en los campamentos de construcción y sitios de trabajo.	Proporcionar letrinas correctamente ubicadas y mantenidas.
17. Posible transmisión de enfermedades contagiosas por los trabajadores, hacia las poblaciones locales y viceversa.	Examinar periódicamente la salud de los trabajadores, dando tratamiento cuando sea necesario.
18. Creación temporal de hábitats de reproducción para mosquitos vectores de enfermedades, p.ej. estanques soleados y estancados.	Evaluar la ecología de los vectores en las áreas de trabajo y tomar pasos donde sea posible, a fin de evitar la creación de hábitats.
19. Creación de una vía de transmisión de enfermedades, pestes, malas hierbas y otros organismos indeseables.	Establecer servicios de saneamiento para plantas y animales, y sus correspondientes puestos de control.
20. La caza o pesca ilegal por parte de los trabajadores de construcción.	Prohibir en los términos de contratación la caza y pesca ilegal.
21. El desplazamiento y repoblación compulsoria de las personas que viven en la ruta. Muchas personas pueden ser afectadas cerca de las ciudades y	Puede ser necesario establecer mecanismos y procedimientos sin precedente a nivel local, a fin de llegar a una compensación equitativa y adecuada, y se podría requerir un esfuerzo

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

en regiones de rica agricultura.	correspondiente por desarrollar la capacidad necesaria.
22. Obstrucción de las rutas desde las casas hasta las fincas, etc., aumentando el tiempo de viaje.	Proporcionar cruces apropiadamente diseñadas y ubicadas.
23. Interrupción del transporte no motorizado en la ruta de la carretera, debido al paso reducido u obstaculizado.	Incluir pistas para el tránsito y/o bordes pavimentados y cruces seguros.
24. Riesgos de accidentes relacionados con el tráfico y transporte vehicular, que podría resultar en el derrame de materiales tóxicos, heridas, o la pérdida de vidas.	Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se podrían ocasionar a raíz de un derrame accidental. Designar rutas especiales para el transporte de materiales peligrosos.
Indirectos	-----
25. El desarrollo inducido: comercial, industrial y residencial por la orilla del camino, y el crecimiento urbano irregular.	Incluir a los organismos de planificación del uso de la tierra a todo nivel, en el diseño y evaluación ambiental de los proyectos, y planificar un desarrollo controlado.
26. Mayor transporte motorizado (posiblemente con mayor dependencia en los combustibles importados)	Incluir en el proyecto componentes para alentar el uso del transporte no motorizado.
27. Impedimento de la economía del transporte no motorizado debido en cambios en el uso de la tierra y/o mayor disponibilidad de alternativas motorizadas.	Incluir en el proyecto componentes para estimular la producción y uso local de medios no motorizados de transporte.
28. La tala no planificada o ilegal de los árboles.	-----
29. El desmonte no planificado o ilegal de la tierra.	-----
30. La ocupación de la tierra natal de los pueblos indígenas por parte de los invasores y de los cazadores o pescadores ilegales.	-----

Seguimiento de la Construcción.

Aquí se tratan solamente los impactos de la construcción. El seguimiento y atenuación de los impactos inducidos inmediatos y a plazo mayor, corresponderá a la jurisdicción de las autoridades regionales de fomento, ministerios de agricultura y otros, según la naturaleza y el alcance del desarrollo inducido por la construcción de los caminos y carreteras, o planificado en paralelo con la misma.

Si son planificadas y forman integra del proyecto, las secciones correspondientes indicarán el tipo de seguimiento necesario, p.ej. población de las tierras o explotación de los bosques.

Si no es parte integra de una operación del sector vial o de transporte, determinados impactos pueden ser suficientemente importantes como para justificar un ejercicio conjunto de planificación y desarrollo, con sus propias funciones de seguimiento.

El seguimiento de los impactos de construcción y de la implementación oportuna y correcta de las medidas atenuantes, debe realizarse de acuerdo con un plan específico para el sitio, por parte de oficinas técnicas que posean el mandato, personal y capacidades necesarias. En general, los elementos más críticos para el seguimiento del proyecto son la implementación y efectividad de las medidas de control de la erosión y sedimentación, la eliminación de basuras y desechos, el manejo y reclamación de las canteras apropiadas, y las áreas de manejo y almacenaje de los materiales.

6.7 Manejo y Capacitación.

La experiencia demuestra que el mantenimiento de los caminos es un área débil en el sector del transporte. El mantenimiento inadecuado o las prácticas inapropiadas (en relación al uso de sustancias químicas, eliminación de desechos, etc.) pueden resultar directamente en un impacto ambiental si afecta a la vegetación, estética, calidad del agua de aflujo, funcionamiento del drenaje, o frecuencia de los accidentes. En forma indirecta, el deterioro debido al mantenimiento inadecuado, requerirá eventualmente de un trabajo de rehabilitación, cuyos impactos son potencialmente mayores. Se necesita sistemas de administración y capacitación en el área de mantenimiento.

El personal de las agencias viales puede requerir una capacitación en las buenas prácticas profesionales, a fin de controlar los impactos negativos de la construcción, el mantenimiento y la operación de los caminos. Posiblemente necesiten además, capacitación en el control y la inspección de los proyectos viales, contra los impactos ambientales y para la implementación de las medidas atenuantes. Es posible que se carezca de equipos, vehículos y presupuestos operacionales, y las normas pueden ser débiles o vagas, p.ej. para la contaminación del aire, del ruido y del agua. Puede ser necesario elaborar normas de definición pragmática, y crear una unidad especial de seguimiento.

6.8 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO.

El estudio de impacto ambiental deberá evaluar un conjunto de alternativas lo suficientemente amplio como para permitir determinar razonablemente la opción de menor impacto ambiental que se deducirá de la evaluación para cada una de ellas. Las alternativas planteadas deberán ser técnicamente viables y adecuadas al fin del proyecto y deberán estar perfectamente descritas. El análisis de alternativas puede centrarse en el estudio de los siguientes puntos:

1. Término/s municipal/es y provincia/s.
2. Parajes por los que discurre la carretera.
3. Características técnicas y geométricas.

4. Obras de fábrica.
5. Costes de ejecución.
6. Pasos sobre ríos y valles.
7. Movimientos de tierras
8. Espacios naturales que pueden verse afectados por cada uno de los corredores estudiados.

Justificación de la Alternativa por la que se decantan el estudio de alternativas.

PARA LA ALTERNATIVA ELEGIDA, EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL TENDRÁ EL SIGUIENTE CONTENIDO MÍNIMO.

- ✓ Localización y descripción de la explotación y sus acciones.

Localización:

- a. Término/s municipal/es y provincia/s.
- b. Parajes por los que discurre la carretera.
- c. Hojas del plano 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional en las que se localiza la carretera.
- d. Cotas máximas y mínimas del terreno por el que discurrirá la carretera.
- e. Valles o ríos que atravesará el trazado.

Descripción del proyecto y sus acciones:

- a. Características de la vía a construir (sección transversal, velocidad de proyecto y parámetros característicos de la vía).
 - b. Principales accidentes geográficos a salvar: sierras, valles, ríos, etc.
 - c. Principales obras de fábrica (puentes, viaductos) y túneles necesarios en la construcción de la vía.
 - d. Procedencia de los materiales a emplear en la construcción: canteras, mezclas asfálticas, cementos, hormigones...
 - e. Principales materiales encontrados en la traza y métodos de excavación a emplear. Cálculos de volúmenes de tierras.
 - f. Ubicación de préstamos y vertederos ligados a la obra. Análisis de canteras legalizadas de la zona.
 - g. Superficie y potencia máxima de tierras estimados para los diferentes préstamos y vertederos de tierras excedentes. Plan de Restauración individual de cada zona.
 - h. Instalaciones anexas necesarias para la construcción de la obra (acopios de material, casetas de obra, plantas asfálticas y de hormigonado, localización del parque de maquinaria...). Lugares elegidos para la ubicación de los parques de maquinaria e instalaciones anexas.
- ✓ Estimación de los tipos, cantidades y composición de residuos, vertidos y emisiones de materia o energía resultantes:
1. Contaminación del agua (aguas superficiales y subterráneas).
 2. Contaminación del aire.
 3. Contaminación del suelo.

4. Ruido y vibraciones.
5. Olores.
6. Radiaciones y emisiones luminosas.

Tanto en la fase de construcción como en las de funcionamiento y de finalización de la actividad.

✓ Inventario ambiental.

Con una descripción de los elementos del medio ambiente que puedan verse afectados de forma apreciable por el proyecto así como, en su caso, sus respectivas interacciones. En particular:

- Clima: deberá indicarse la estación meteorológica de referencia (nombre, localización, código y distancia a la explotación objeto de evaluación) e incluirse la Rosa de los Vientos de las frecuencias y las velocidades medias.
- Calidad del aire.
- Vegetación.
- Fauna.
- Hidrología superficial y calidad de aguas superficiales (Redes de drenaje, cursos y masas de aguas que existan y que puedan verse afectadas).
- Hidrogeología de la zona (acuíferos, etc.).
- Paisaje (calidad, fragilidad y estudio de cuencas visuales).
- Geomorfología.
- Suelo.
- Descripción del medio socioeconómico, incluyendo la salud humana:
 - a. Núcleos de población existente, tamaño, límites, densidad de población.
 - b. Demografía.
 - c. Economía (agricultura, cultivos y aprovechamientos, actividades industriales, minería).
 - d. Ordenación del territorio y planeamiento urbanístico vigente.
 - e. Patrimonio:
 - * Histórico-Artístico.
 - * Montes de Utilidad Pública.
 - * Vías Pecuarias.
 - f. Zonas de ocio y recreo.
 - g. Infraestructuras y servicios (carreteras, ferrocarriles, gasoductos y oleoductos, aeródromos y aeropuertos, líneas eléctricas y subestaciones, red telefónica y de comunicaciones....)

Áreas Protegidas:

Espacios Naturales Protegidos:

1. Parques Nacionales.
2. Espacios Naturales Protegidos:
 - Parques Naturales.
 - Reservas Naturales.
 - Micro reservas.

- Monumentos Naturales.
- Reservas Fluviales.
- Paisajes Protegidos.
- Parajes Naturales.

Igualmente se informará si en la zona se está tramitando algún Plan de Ordenación de los Recursos Naturales.

Zonas Sensibles:

1. Áreas Forestales destinadas a la protección de recursos.
2. Refugios de Fauna.
3. Refugios de Pesca.
4. Otras declaradas por el Consejo de Gobierno como Corredores Biológicos.

Otras figuras de protección:

Hábitats y elementos geomorfológicos.
Especies de flora y fauna.

Normativa ambiental que deberá ser tomada en cuenta.

Identificación, descripción y valoración de los efectos significativos del proyecto:

- ❖ Metodología empleada para la caracterización y valoración de impactos.
- ❖ Descripción de afección: los impactos pueden ser debidos a:
 1. Fase de construcción de las instalaciones.
 2. Fase de funcionamiento.
 3. Fase de desmantelamiento o abandono.

La descripción de los diferentes impactos incluirá el carácter directo o indirecto, acumulativo o sinérgico, permanente o temporal, positivo o negativo, de cada uno de ellos, así como su alcance a corto, medio o largo plazo.

El Estudio de Impacto Ambiental deberá identificar, caracterizar y valorar los siguientes impactos sobre:

- ❖ El clima.
- ❖ La calidad del aire.
- ❖ La vegetación.
- ❖ La fauna.
- ❖ Ruidos y vibraciones.
- ❖ La Geología y Edafología.
- ❖ La Hidrología superficial e Hidrogeología. Posibles cursos, arroyos y acuíferos afectados.
- ❖ El Patrimonio:
 - ❖ Histórico-Artístico
 - ❖ Montes de Utilidad Pública
 - ❖ Vías Pecuarías
- ❖ El paisaje.
- ❖ El medio socio-económico incluyendo la salud humana.
- ❖ Valoración de las afecciones que pueden producirse.

Justificación de la solución adoptada teniendo en cuenta su impacto ambiental.

Medidas previstas para prevenir, reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos significativos, incluida su valoración económica.

Entre las medidas protectoras a adoptar deberán encontrarse entre otras aquellas encaminadas a evitar, atenuar o compensar las afecciones a:

1. Clima.
2. Calidad del aire.
3. Vegetación.
4. Fauna. Se deberá incluir un Estudio faunístico que resuelva la necesidad de establecer pasos de fauna específicos. El proyecto de construcción deberá incluir la ubicación, dimensiones y características de los mismos, atendiendo a sus objetivos.
5. Ruidos y vibraciones.
6. Geología y Edafología.
7. Hidrología e hidrogeología Se deberá detallar la restauración de los cauces en una longitud, tanta agua arriba como abajo, que supere la zona de influencia de las obras.
8. Patrimonio (Histórico-Artístico, Montes de Utilidad Pública y Vías Pecuarias).
9. Paisaje. Se deberá indicar la restauración de los taludes.
10. Medio socioeconómico incluyendo la salud humana.

Programa de Vigilancia Ambiental.

Deberá garantizar el cumplimiento de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias contenidas en el estudio.

- Control y seguimiento de la contaminación atmosférica.
- Control y seguimiento del Ruido.
- Control de las aguas superficiales.
- Control y seguimiento de los impactos sobre el suelo.
- Control de préstamos y vertederos.
- Control de la creación de nuevos accesos y caminos de obra.
- Control de residuos de obra.
- Control y seguimiento de los impactos sobre la vegetación.
- Control y seguimiento de los impactos sobre la fauna.
- Control de la alteración en la red de drenaje.
- Control y seguimiento de los impactos sobre el paisaje.
- Supervisión de efectos sobre el medio socioeconómico.

Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles.

Resumen, en su caso, de las dificultades derivadas de la carencia de información o conocimientos técnicos encontradas por el promotor para su elaboración.

Cartografía.

El Estudio de Impacto Ambiental contendrá al menos la siguiente cartografía:

1. Plano que represente el trazado completo dentro del plano provincial (escala 1:200.000).
2. Plano de situación a escala 1:25.000 o en su caso 1:50.000, utilizando la cartografía oficial, indicando el número de Hoja.
3. Situación del proyecto sobre el plano de clasificación y ordenación urbanística municipal
4. Planos de planta y perfil longitudinal a escala 1:10.000 de las diferentes alternativas.
5. Planos de planta y perfiles longitudinales a escala 1:1.000 de las alternativas.
6. Planos en los que se representen los préstamos y vertederos de tierras que irán ligados a la construcción de la carretera.
7. Plano de las instalaciones anexas necesarias para la construcción de la carretera: plantas asfálticas, parques de maquinaria, plantas de concreto.
8. Plano geológico y Geotécnico.
9. Mapa de usos y aprovechamientos del suelo.
10. Mapa hidrogeológico.
11. Mapa de vías pecuarias.
12. Mapa hidrogeológico.
13. Mapa de paisaje (cuencas visuales).
14. Orto foto de la zona del proyecto en la que se localice el proyecto, indicando escala y el año de realización del vuelo.
15. Todos los planos incluirán leyendas, escala y orientación. Si se tratase de fotocopias de originales, deberán estar perfectamente legibles.

CAPÍTULO VIII.

COSTOS Y PRESUPUESTO.

I. Introducción.

Considerando el anterior cuadro resumen de la comparación económica entre pavimentos, la cantidad de mantenimiento que se tiene que dar a una carretera así como la cantidad de obra ocupada en el proyecto de Santa Rita – Izapa, se detallará, en este capítulo, la metodología utilizada para el análisis y la cuantificación de los costos del proyecto, como así también los costos de Mantenimiento y Supervisión.

Para llegar a la elaboración del presupuesto, fueron previamente efectuadas las siguientes actividades y tareas:

a. Estudio de Costos Básicos, mediante investigaciones del mercado en lo referente a:

- Equipos.
- Mano de Obra.
- Materiales.

b. Análisis de Precios Unitarios, mediante la composición de los Costos Básicos, para cada uno de los ítems de obra y según los rendimientos en cada caso se obtuvieron los "Costos Directos", los que fueron afectados por un factor multiplicador de 1.4, que contempla los Costos Indirectos (22%), Administración (8%) y Utilidades (10%), obteniéndose así los costos de venta para cada ítem de la construcción.

c. Elaboración del presupuesto del Proyecto.

Para todos los efectos que se deriven de los costos se tomó como fecha base y tipo de cambio Córdobas/Dólares:

Fecha base: 4 de Diciembre 2000.

Tipo de Cambio: 13.00 C\$/US\$

A continuación se adjunta la comunicación oficial del Banco Central de Nicaragua, mediante la cual se presentan las tasas de cambio oficial para el mes de Diciembre del 2000.

AVISO

El Banco Central de Nicaragua informa al público en general los tipos de cambio oficial del córdoba nicaragüense con respecto al dólar de los Estados Unidos de América que regirán en todo el territorio nacional, en el período abajo señalado:

TIPO DE CAMBIO OFICIAL DEL 1° AL 31 DE DICIEMBRE 2000

FECHA	C\$ por US\$	FECHA	C\$ por US\$
01-Dic-2000	12.9951	17-Dic-2000	13.0283
02-Dic-2000	12.9972	18-Dic-2000	13.0304
03-Dic-2000	12.9993	19-Dic-2000	13.0324
04-Dic-2000	13.0013	20-Dic-2000	13.0345
05-Dic-2000	13.0034	21-Dic-2000	13.0366
06-Dic-2000	13.0055	22-Dic-2000	13.0387
07-Dic-2000	13.0076	23-Dic-2000	13.0407
08-Dic-2000	13.0096	24-Dic-2000	13.0428
09-Dic-2000	13.0117	25-Dic-2000	13.0449
10-Dic-2000	13.0138	26-Dic-2000	13.0470
11-Dic-2000	13.0158	27-Dic-2000	13.0490
12-Dic-2000	13.0179	28-Dic-2000	13.0511
13-Dic-2000	13.0200	29-Dic-2000	13.0532
14-Dic-2000	13.0221	30-Dic-2000	13.0553
15-Dic-2000	13.0241	31-Dic-2000	13.0573
16-Dic-2000	13.0262		

MANAGUA, NICARAGUA, 21 DE NOVIEMBRE 2000

DIFUSION Y COMUNICACION

II. Estudio de costos básicos para el pavimento flexible.

8.1 Costos del Equipo.

8.1.1 Costos de Utilización del Equipo.

El análisis de los ítems de obra, produce la necesidad de determinar el uso de equipos que sean representativos en cuanto a potencia, versatilidad, eficiencia, durabilidad.

En base a las consideraciones anteriormente mencionadas y las experiencias en la ejecución de Obras Viales tanto de Contratistas como del MTI, se han escogido los siguientes equipos y plantas característicos para obras viales:

- Tractor a orugas de 300 HP.
- Tractor a orugas de 200 HP.
- Tractor a oruga de 140 HP.
- Motoniveladora de 140 HP.
- Cargadora Frontal con ruedas neumáticas de 127 HP - 2,7 m3.
- Retroexcavadora 130 HP - 1,2 m3.
- Camión volquete de 10 tn.
- Camión volquete de 17 tn.
- Camión cisterna para agua de 8.000 lt.
- Camión plataforma de 14 tn.
- Tractor agrícola de 90 HP.

- Vibrocompactador pata de cabra autopropulsado.
- Vibrocompactador liso autopropulsado.
- Compactador neumático.
- Planta asfáltica 30-80 tn/h.
- Planta trituradora de roca 150 tn/h.
- Camión Concretero.
- Vibroacabadora de concreto asfáltico.
- Esparcidor de agregados.
- Camión regador de asfalto.
- Equipo para marcación de pavimento.

Para el análisis de costo se han considerado los gastos que se derivan de la posesión y explotación del equipo en la unidad de tiempo, tomando como base de partida el precio de adquisición de cada máquina CIF - Managua.

Dichos gastos son los siguientes:

- Gastos fijos de posesión que comprenden: la depreciación, los intereses del capital invertido, y los seguros y comisiones bancarias.

- Gastos de mantenimiento y conservación que comprenden las labores para operar el equipo en óptimas condiciones de uso.

- Gastos de operación que engloban combustibles, lubricantes y mano de obra necesaria para el funcionamiento del equipo.

8.1.2 Costos de Posesión del Equipo.

Para el cálculo de costos en Nicaragua se parte de la siguiente premisa:

- La depreciación o pérdida del valor del equipo como consecuencia del uso es de 100%, o sea valor de rescate = 0.
- La tasa de interés anual es de 12%.
- La expresión utilizada para la depreciación e intereses anuales durante la vida útil del equipo está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Dep.} + \text{Int} = \frac{A \times q^n \times (q-1)}{q^n - 1} = A \times p$$

Siendo:

A = Valor de adquisición del equipo CIF Managua,

$$p = \frac{q^n \times (q-1)}{q^n - 1}$$

$$q = (1 + i)$$

i = Tasa de interés anual

n = Vida útil del equipo en años.

Los seguros y comisiones de acuerdo con la información obtenida de los estudios básicos, representan las siguientes tasas anuales:

- Seguros	2 %
- Comisiones bancaria	5 %
<hr/>	
TOTAL	7 %

La expresión usada para el cálculo de los seguros y comisiones es la misma que la que se utiliza para la depreciación.

La vida útil del equipo varía según el tipo de máquina y de acuerdo a las condiciones del servicio.

En el cuadro 8.1 se presentan los valores de "vida útil del equipo" para las condiciones del servicio Liviano (L); Medio (M) y Pesado (P).

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8.1. Vida útil de las Unidades de Equipo según condición de Servicio.

Equipos	Condiciones de Servicio					
	Liviana		Mediana		Pesada	
	Vida Util en		Vida Util en		Vida Util en	
	Años	Horas	Años	Horas	Años	Horas
Perforadora Manual	-	-	-	-	3	6,000
Vibrador para hormigón	-	-	4	5,000	-	-
Bomba de agua, Equipo de soldadura eléctrica	-	-	4	6,000	-	-
Concreteira	-	-	4	7,000	-	-
Tractores de oruga, retroexcavadora, motoniveladora, cargadoras, camiones volquetes,	6	12,000	5	10,000	4	6,000
Compresores de aire	-	-	6	10,000	-	-
Esparcidor de agregados	-	-	6	8,000	-	-
Camión regador de agua, camión de carga, generador.	-	-	6	12,000	-	-
Planta de trituración	-	-	-	-	6	9,000
Rastra de discos, barredoras	-	-	8	8,000	-	-
Rodillo pata de cabra, rodillo neumático de presión variable, rodillo liso, hincapilotes.	-	-	8	14,000	-	-
Tanque precalentador de asfalto	-	-	6	14,000	-	-
Camión distribuidor de asfalto	-	-	8	10,000	-	-
Vibroacabadora de concreto asfáltico	-	-	8	12,000	-	-
Planta dosificadora de agregados	-	-	6	10,000	-	-
Equipo para marcación de pavimento	-	-	8	10,000	-	-

Para nuestro caso se ha tomado en cuenta la vida útil en condiciones de servicio medio.

8.1.3 Costo de Mantenimiento del Equipo.

En este rubro se considera los gastos referentes a:

- Repuestos y accesorios, que incluye la mano de obra de reparaciones y gastos de talleres;
- Reajustes, regulación, limpieza, lavado, etc.;
- Neumáticos, Llantas, caites de orugas y demás piezas de gasto efectivo durante la operación.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

La expresión utilizada para calcular el costo horario de reparaciones y repuestos es la siguiente:

$$M = \frac{A}{n \times h} \times K$$

Siendo:

- M = Costo horario de mantenimiento;
- A = Valor de adquisición de la unidad;
- n = Vida útil en años;
- K = Coeficiente para cada máquina.

En el cuadro 8.2 se presentan los valores de los “Coeficientes de Proporcionalidad K” para reparaciones y repuestos a ser aplicados en la fórmula precedente.

Cuadro 8.2. Valores de los Coeficientes de Proporcionalidad Para el Cálculo de Costos de Mantenimiento del Equipo.

Tipo de Maquina	Coeficiente
Perforadora, dril, martinete neumático, vibrador, bomba de succión, soldadora	0.50
Tractor de orugas, pala cargadora frontal, pala cargadora de arrastre y autopropulsada	1.00
Motoniveladora	0.80
Excavadora	0.80
Tractor neumático, camión tanque, camión volquete	0.80
Camión volquete	1.00
Compresor de aire	0.80
Mezclador de suelos	0.90
Distribuidor de agregado, arado de discos	0.50
Trituradora de piedra.	0.90
Rodillo de compactación autopropulsado	0.90

8.1.4 Costos de Operación.

Para establecer el costo de funcionamiento o Costo de Operación de la maquinaria, es necesario hacer el análisis de los combustibles, lubricantes y Mano de Obra.

Combustibles y lubricantes.

Comprende este rubro los combustibles, lubricantes y filtros los mismos se analizarán según el tipo de motor a usar, sean estos de combustible diesel o gasolina.

Para motores diesel: el consumo horario por HP puede estimarse en:

Combustible	=	0, 150 lts.
Aceite Lubricante	=	0, 002 lts.
Grasa	=	0, 001 kg.

Si se toma como parámetro el costo del diesel se tendrá para Nicaragua la siguiente composición expresada en "litros equivalentes de diesel por HP":

Diesel	=	0,150 x Precio del diesel / Precio del diesel = 0,150
Aceite Lubricante	=	0,002 x Precio del aceite lubricante / Precio del diesel = 0,019
Grasas, filtros, Varios	=	0,001 x Precio de grasas y filtros / Precio del diesel = 0,006

TOTAL (Lts) = 0, 175

Se tendrá por tanto:

$$\begin{aligned}\text{Costo horario} &= 0,180 \times \text{HP} \times \text{Costo lts. Diesel} \\ &= 0,180 \times \text{HP} \times 24 = 4.32 \times \text{HP}.\end{aligned}$$

8.1.5 Mano de Obra de Operación.

Para el análisis de la mano de Obra que incide en la operación del equipo, se parte de los salarios básicos que pagan normalmente los Contratistas en construcción de caminos, en este caso intervienen, el salario del operador sus prestaciones sociales y viáticos.

8.1.6 Costos Horarios de Equipos.

En el cuadro 8.3 mostrado a continuación se detallan las rentas horarias de los equipos a utilizar, en dichas rentas se incluyen depreciación, fianzas, seguros, combustibles lubricantes, reparaciones, filtros y repuestos, no se incluye los costos de mano de obra para operación de los diferentes equipos.

Cuadro 8.3. Rentas Horarias de Equipos.

DESCRIPCION	RENTA EN C\$	UNIDAD
Camión Volquete 7 M ³	325.00	Hora
Camión Volquete 5 M ³	234.00	Hora
Compactadora Manual	65.00	Hora
Camión Concretero	429.00	Hora
Compactadora Vibratoria de 12 Tn	377.00	Hora
Cargador Frontal 127 HP	403.00	Hora
Motoniveladora 140 HP	338.00	Hora
Cisterna de Agua 1200 GL.	299.00	Hora
Tractor 300 HP	793.00	Hora
Tractor 200 Hp	598.00	Hora
Tractor 140 Hp	455.00	Hora
Bomba de Succión	45.50	Hora
Retroexcavadora	260.00	Hora
Grua	312.00	Hora
Cisterna de Asfalto	416.00	Hora
Tractor Agrícola	188.50	Hora
Regador de Piedrin	39.00	Hora
Barredora Sopladora	234.00	Hora
Vibrador Manual	45.50	Hora

8.2 Costo de la Mano de Obra.

El análisis de la mano de Obra que interviene en el costo unitario de cada ítem se ha efectuado a partir de los salarios básicos que pagan los contratistas en las labores de construcción de caminos.

Partiendo de los salarios del personal (incluidos Domingos y feriados no laborales), se calculan las cargas sociales que debe considerar el contratista en las obras, de acuerdo con el análisis que sirve para hallar el factor multiplicador que habrá que aplicar a los salarios básicos horarios para su inclusión en el análisis de precios unitarios de cada ítem.

Se considera como jornada de trabajo 8hrs/día, incluido el sábado, lo que genera un total mensual promedio de 200 hrs. efectivas en 25 días.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Para hallar el “factor multiplicador” se tienen en cuenta los siguientes rubros de cargas sociales:

- Aporte patronal al INSS	16.50%
- Aguinaldo un sueldo por año =1/12.	08.33%
- Vacaciones un sueldo por año =1/12.	08.33%
- Séptimo día	14.29%
- Indemnización por años de servicio	08.33%
- INATEC	02.00%
- Días feriados	02.75%
- Seguro de vida	05.00%
TOTAL	65.53%

En el cuadro 8.4 mostrado a continuación se detallan los salarios básicos para los diferentes cargos utilizados en los diferentes ítem, así como el cálculo de las prestaciones sociales de los salarios y el viático. Para el viático se definió un monto de C\$ 80.00/día esto considerando que el contratista no paga alojamiento (hospedaje) ya que el personal se hospeda en los campamentos construidos para tal fin, generando esto para una jornada de 8 horas diarias una tasa de C\$ 10.00/Hr, en concepto de viático.

CONCEPTO	UNIDAD	SALARIO HORARIO EN C\$	PRESTACIONES SOCIALES 65.53%	VIATICO EN C\$	TOTAL SALARIO EN C\$
Albañil	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Armador de Hierro	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Carpintero	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Operario	Hora	5.00	3.28	10.00	18.28
Compactadorista	Hora	11.00	7.21	10.00	28.21
Conductor de Equipo Pesado	Hora	10.00	6.55	10.00	26.55
Motoniveladorista	Hora	25.00	16.38	10.00	51.38
Tractorista	Hora	18.00	11.8	10.00	39.80
Cargadorista	Hora	13.50	8.85	10.00	32.35
Retroexcavadorista	Hora	13.50	8.85	10.00	32.35
Soldador	Hora	12.00	7.86	10.00	29.86
Operador de Regadora de Asfalto	Hora	15.00	9.83	10.00	34.83

Cuadro 8.4. Tasas Salariales del Personal.

8.3 Costos de los Materiales y Transporte.

Para establecer el costo de los materiales se ha tomado como punto de partida los precios básicos en los centros de comercialización al por mayor de Managua (Ej: para el cemento el precio básico en el plantel San Carlos, para la tubería el precio en Procon Los Brasiles).

Para el cálculo de los costos de los materiales puestos en obra, se ha partido de los precios comerciales tomando en cuenta los costos de fletes en $Cs/Tn.xKm.$, para los diferentes rangos de Distancias Medias de Transporte (DMT), cuyos valores surgen del análisis de las ubicaciones de los centros de distribución y los centros de acopio del proyecto.

A los fines de establecer las DMT correspondientes al Proyecto, se calcularon las distancias al respectivo Centro de Gravedad del sitio de almacenamiento de los materiales, esto para los materiales provenientes de los centros de comercialización, de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 8.1.

Estas distancias fueron utilizadas en el cálculo del costo de transporte para los diferentes materiales de construcción a ser utilizados en las obras, en sus correspondientes unidades de medida. Sumado a los precios básicos de materiales en los centros de aprovisionamiento, dieron como resultado los denominados Precios Básicos de Materiales Puestos en Obra.

Figura 8.1. Ubicación del Proyecto.



8.3.1 Precios básicos de materiales puestos en obra.

En el cuadro 8.5 se detallan los precios básicos de materiales en los centros de comercialización, así como el costo de transporte de dichos materiales y el costo de los materiales puesto en obra, para el Proyecto.

Cuadro 8.5. Costo de los Materiales Puestos en Obra.

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO BASICO EN C\$	TRANSPORTE EN C\$	COSTO EN OBRA EN C\$
Acero de Refuerzo	KG	5.09	0.58	5.67
Arena	M ³	58.65	189.60	248.25
Asfalto RC-250	Gln	20.04	5.05	25.09
Cemento	Saco	49.52	10.33	59.85
Madera Roja	Pie-T.	1.20	0.02	1.22
Piedra Triturada	M ³	123.50	109.86	233.36
Pintura Reflexiva	Gln	215.00	5.00	220.00
Tubo de Concreto Reforzado de 24" Clase II	ml	687.70	149.05	836.75
Tubo de Concreto Reforzado de 30" Clase II	ml	1,046.50	149.05	1,195.55

Las cotizaciones realizadas ante los suplidores de materiales, se efectuaron de dos formas una de manera telefónica y otro por medio de Internet, de las cotizaciones efectuadas telefónicamente algunas fueron respondidas por fax y se adjuntan en el *Anexo 2 Cotizaciones* y otras fueron suministradas de manera directa durante la comunicación telefónica.

III. Análisis de costos unitarios para el pavimento flexible.

A partir de la información de los fabricantes de maquinarias se han obtenido los "Rendimientos teóricos" del equipo, los que afectados por los muchos factores variables que afectan la producción en un trabajo específico, tales como las características de los materiales, la experiencia del operador, las condiciones del suelo y la altitud, determinaron los "Rendimientos Medios" para cada ítem de la Obra.

Para el cálculo de precios unitarios para cada ítem de Obra se considero lo siguiente:

- Los "Costos Directos" fueron calculados considerando los insumos correspondientes de los rubros, equipo, materiales y mano de obra, de acuerdo a los "Rendimientos" para cada ítem de Obra.
- Los materiales utilizados fueron considerados con sus precios "Puestos en Obra".
- Los costos horarios de utilización del equipo en cada Item no han sido afectados por el factor de utilización;
- Los "Costos de Venta" fueron obtenidos mediante la aplicación del factor de sobre costos de 1.40, el cual se obtiene de la consideración de los costos indirectos 22%, los costos de administración 8% y las utilidades 10%.

En los costos indirectos se consideran los salarios del personal indirecto, como maestros de obra, personal de topografía, personal de mecánica, fiscales y las rentas de equipo de apoyo como camión de engrase, cisterna de combustible, camión taller, camionetas.

En los costos de administración se consideran los salarios del personal administrativo, como ingeniero residente, asistente del residente, secretarias, conductores, bodeguero, kardista, vigilantes, intendente, encargado de combustible y lubricantes, encargado de explotación de equipos y las rentas de los equipos utilizados por la administración.

Las planillas del Análisis de precios unitarios de cada ítem, con el objetivo de obtener el presupuesto de la obra, se presentan en el *Anexo 1, Detalles de Costos Unitarios*. En dichas planillas se incorporan los diferentes componentes en la estructura de costo de cada ítem, para los tres grandes rubros en que se dividen, siendo estos Mano de Obra, Equipos y Materiales, obteniendo mediante esta planilla el costo directo al que se le aplica el factor de sobre costo para obtener el precio de venta.

IV. Presupuesto de obra para el pavimento flexible.

El presupuesto de obra se presenta en el cuadro 8.6, en el cual se muestra las cantidades de obra, a las que se les aplican los costos de venta generando el costo total por cada ítem y por consiguiente el presupuesto total del proyecto.

Las cantidades de obra del proyecto fueron calculadas tomando en consideración los diseños aplicados por los especialistas de las distintas disciplinas que participaron en el diseño.

Para cuantificar las cantidades, se efectuaron las siguientes actividades:

a. Movimiento de Tierra.

La cuantificación de las cantidades de obra para los conceptos correspondientes al movimiento de tierra se efectuó mediante varias corridas del Modulo Civil Design del Programa Landdevelopment de Autodesk, discriminando los diferentes conceptos y calculando algunos por diferencia entre las diferentes corridas.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Excavación no Clasificada.
- Excavación de Préstamo Caso I.
- Sobreacarreo Largo (Para este ítem además es necesario el análisis de la Curva Masa).

b. Pavimentos.

Las cantidades de estos conceptos se calcularon basados en el dimensionamiento de las diferentes capas obtenidas de los estudios deflectométricos realizados con el FWD y de suelos procediendo luego con la corrida del Modulo Civil Design del programa Landdevelopment de Autodesk, además se comparó con los resultados de una hoja electrónica preparada por los consultores.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Préstamo Seleccionado Caso I.
- Subbase Reciclada (Carpeta y Base), tratada con cemento.
- Base de Material Triturado.
- Pavimento de Concreto Bituminosos en Caliente.

En esta etapa se consideran otros ítem de obra, para los que sus cantidades fueron calculadas mediante hojas de cálculo, ya que el cálculo consiste en la determinación de un volumen, tal es el caso de los ítem:

- Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación.
- Material de Secado.
- Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga.
- Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25.

c. Drenaje Menor.

Las cantidades de estos conceptos se calcularon mediante la utilización de hojas electrónicas preparadas por los consultores.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Excavación de Canales Menores de 4 mts.
- Excavación para Estructuras.
- Mampostería.
- Lecho de Alcantarillas Clase “B”.
- Relleno de Alcantarillas.

d. Señalización y Otros Ítem.

Las cantidades de obras de estos conceptos se calcularon mediante la cuantificación de cada rubro en los sitios indicados.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8.6. Resumen de Costos
Estimado de Costos de Construcción
Con Impuestos.

CONCEPTO	DESCRIPCION	U/M	VOLUMEN ESTIMADO	COSTO UNITARIO DIRECTO	COSTO UNITARIO DE VENTA	COSTO TOTAL C \$
201 (1)	Abra y Destronque	Ha	79.20	4,267.90	5,975.05	473,223.96
203 (3)	Excavación no Clasificada	M ³	85,399.31	35.06	49.08	4,191,398.13
203 (18)	Excavación de Canales Menores de 4 mts.	M ³	225.00	8.00	11.20	2,520.00
206 (2)	Sobreacarreo Largo	M ³ -KM	149,889.01	9.39	13.15	1,971,040.48
207 (1)	Excavación para Estructuras	M ³	56.00	37.23	52.12	2,918.72
304 (3)	Base de Material Triturado	M ³	67,932.00	99.75	139.65	9,486,703.80
312 (1)	Subbase Reciclada (Carpetas y Base), tratada con cemento	M ³	83,520.00	144.87	202.81	16,938,691.20
401 (1)	Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación	Gln	133,560.00	27.54	38.56	5,150,073.60
401 (8)	Material de Secado	M ³	2,423.16	333.54	466.95	1,131,494.56
402 (1)	Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga	Gln	76,320.00	26.74	37.44	2,857,420.80
404 (3)	Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25	M ³	1,645.92	312.31	437.24	719,662.06
406 (1)	Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente	M ³	17,640.00	881.04	1,233.45	21,758,058.00
608 (2)	Mampostería (Cabezales)	M ³	35.00	790.78	1,107.10	38,748.50
701 (19A)	Tubo de Concreto Reforzado de 24" Clase II	ML	245.00	979.83	1,371.76	336,081.20
701 (19B)	Tubo de Concreto Reforzado de 30" Clase II	ML	81.00	1,338.63	1,874.08	151,800.48
701 (27)	Lecho de Alcantarillas Clase "B"	M ³	21.11	144.78	202.69	4,278.79
701 (28)	Relleno para Alcantarillas	M ³	649.34	83.78	117.30	76,167.58
704 (5)	Subdrenes Tipo Francés de Concreto de 6"	ML	3,920.00	228.50	319.90	1,254,008.00
801 (8)	Señales de Transito Verticales de Acero	C/ U	99.00	842.67	1,179.73	116,793.27
802 (1)	Marcas de Transito Reflectorizadas Discontinuas	ML	35,170.00	7.77	10.87	382,297.90
802 (2)	Marcas de Transito Reflectorizadas Continuas	ML	108,830.00	8.13	11.39	1,239,573.70
902 (1)	Guarda Vía de Viga "W" (Flex Beam)	ML	3,830.00	472.24	661.14	2,532,166.20
905 (1)	Bordillo Protector de Concreto de Cemento Portland	ML	1,067.00	38.52	53.93	57,543.31
913 (7)	Cunetas Revestidas de Suelo Cemento	M ²	11,242.14	121.14	169.60	1,906,666.94
914 (4)	Postes Guías	C/ U	364.00	252.77	353.88	128,812.32
914 (5)	Postes Kilómetros	C/ U	2.00	265.49	371.68	743.36
923 (1)	Entradas a Calles y Propiedades	C/ U	60.00	30,752.26	43,053.16	2,583,189.60
COSTO TOTAL (C \$)						75,492,076.46
IGV						11,323,811.47
Imp. Municipal						868,158.88
TOTAL CON IMP. (C \$)						87,684,046.81
COSTO TOTAL SIN IMP. (US \$)						5,807,082.80
TOTAL CON IMP. (US \$)						6,744,926.68

V. Costos de mantenimiento.

Los costos de mantenimiento para el Proyecto fueron calculados de acuerdo a lo detallado en Cap. VII, del Informe de Ingeniería, los mismos fueron divididos en aquellas actividades que deben ser realizadas anualmente, en forma continua, que pueden ser denominadas Mantenimiento Rutinario o Preventivo, y aquéllas que sólo deben ser realizadas periódicamente denominadas Mantenimiento Periódico.

Los ítems principales que requieren de mantenimiento rutinario o preventivo son los siguientes:

- Limpieza del Derecho de Vía.
- *Limpieza y Rectificación de Cunetas.*
- *Limpieza de Alcantarillas.*
- *Limpieza de Cajas.*
- *Postes Guías.*
- *Señales Verticales.*

Los ítems principales que requieren de mantenimiento periódico son los siguientes:

- Mantenimiento de Puentes.
- Limpieza de Cauces de Puentes.
- Bacheo Superficial.
- Bacheo Profundo.
- Tratamiento Superficial.
- Revestimiento Asfáltico.
- Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas y Continuas.

A continuación se detalla en los cuadros 8.7 y 8.8, la frecuencia con que se recomienda ejecutar las diferentes actividades del mantenimiento rutinario y periodico, y los costos anuales para las diferentes actividades antes descritas.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 7

COSTOS DEL MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIODICO

Carretera: SANTA RITA-IZAPA

TIPO	CONCEPTOS	UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA	COSTO UNITARIO EN US\$	CANTIDAD	COSTO TOTAL EN US\$
RUTINARIO	Limpieza del Derecho de Vía	Ha.	2 veces/año	275.82	36.00	19,859.04
	Limpieza de Cunetas	Km.	2 veces/año	79.60	25.20	4,011.84
	Limpieza de Alcantarillas	ml	2 veces/año	3.37	1,092.00	7,360.08
	Limpieza de Cajas	ml	2 veces/año	3.37	176.00	1,186.24
	Postes Guías	unidad	1 Poste c 7 Km/Año	28.59	5.00	142.95
	Señal Vertical	unidad	1 Señal c 3 Km/año	90.75	12.00	1,089.00
	Mantenimiento de Puentes	Global	1 vez c/3 años	12,000.00	1.00	12,000.00
	Limpieza de Cauces y Puentes	m ³	1 vez c/3 años	7.91	650.00	5,141.50
	Bacheo:		Años			
			2°, 4°, 6°	153.01	176.40	26,990.96
PERIODICO	a) Superficial	m ³	8°, 10°	153.01	352.80	53,981.93
			12°, 14°, 16°	153.01	264.60	40,486.45
			18° y 20°	153.01	352.80	53,981.93
	b) Profundo	m ³	4°	54.69	17.64	964.73
			6° al 10°	54.69	26.46	1,447.10
			16°	54.69	17.64	964.73
			18° y 20°	54.69	26.46	1,447.10
	Tratamiento Superficial Bituminoso en Hombros	m ²	Años 10° y 16°	1.32	129,600.00	171,072.00
	Mezcla Asfáltica en Caliente Colocada con Pavimentadora e=0.02 m a _c =7 m; incluye riego de liga	m ³	Años 10° y 16°	135.62	5,040.00	683,524.80
	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas	ml	Años 5°, 10°, 16°	0.84	35,170.00	29,542.80
Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	ml	Años 5°, 10°, 16°	0.88	108,830.00	95,770.40	

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO

Carretera: SANTA RITA - IZAPA									
AÑO	MANTENIMIENTO DE RUTINA	BACHEO SUPERFICIAL Y PROFUNDO	MESCLA ASFALTICA EN CALIENTE	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	PUENTES MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE CAUCES	SEÑALIZACION HORIZONTAL	COSTO ANUAL EN US\$		
1	33,649.15						33,649.15		
2	33,649.15	26,990.96					60,640.11		
3	33,649.15				17,141.50		50,790.65		
4	33,649.15	27,955.69					61,604.84		
5	33,649.15					125,313.20	158,962.35		
6	33,649.15	28,438.06			17,141.50		79,228.71		
7	33,649.15						33,649.15		
8	33,649.15	53,981.93					87,631.08		
9	33,649.15				17,141.50		50,790.65		
10	33,649.15	55,429.03	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,068,988.18		
11	33,649.15						33,649.15		
12	33,649.15	40,486.45			17,141.50		91,277.10		
13	33,649.15						33,649.15		
14	33,649.15	40,486.45					74,135.60		
15	33,649.15				17,141.50		50,790.65		
16	33,649.15	41,451.18	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,055,010.33		
17	33,649.15						33,649.15		
18	33,649.15	55,429.03			17,141.50		106,219.68		
19	33,649.15						33,649.15		
20	33,649.15	55,429.03					89,078.18		
INVERSION TOTAL EN MANTENIMIENTO							3,287,043.01		

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

VI. Costos de Supervisión.

Los costos para la supervisión han sido estimados considerando un plazo de ejecución de la obra de 14 meses, mas un mes de preconstrucción y un mes de postconstrucción, dichos costos se detallan a continuación:

Cuadro 8.9 Costos de Supervisión.

CONCEPTO	SALARIO O COSTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO TOTAL C\$
Director	32,500.00	3.50	H-M	113,750.00
Conductor	2,200.00	3.50	H-M	7,700.00
Secretaria	3,000.00	3.50	H-M	10,500.00
Sub-total Salario Basico				131,950.00
Prest. Sociales (41.06 %)				54,178.67
SUB-TOTAL				186,128.67
Ing. Residente	19,500.00	16.00	H-M	312,000.00
Experto Impacto Ambiental	26,000.00	3.00	H-M	78,000.00
Topógrafo	4,000.00	15.00	H-M	60,000.00
Cadenero	2,000.00	15.00	H-M	30,000.00
Cadenero	2,000.00	15.00	H-M	30,000.00
Ayudante de Topografía	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Maestro de Obra (Puente)	4,000.00	8.00	H-M	32,000.00
Maestro de Obra (Camino)	4,000.00	14.00	H-M	56,000.00
Maestro de Obra (Drenaje Menor)	4,000.00	11.00	H-M	44,000.00
Contador	3,500.00	14.00	H-M	49,000.00
Conductor	2,200.00	15.00	H-M	33,000.00
Conductor	2,200.00	15.00	H-M	33,000.00
Dibujante-Calculista	3,000.00	15.00	H-M	45,000.00
Conserje	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Celador	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Sub-total Salario Basico				856,000.00
Prest. Sociales (67.21%)				575,317.60
SUB-TOTAL				1,431,317.60
TOTAL SALARIOS DIRECTOS				987,950.00
TOTAL 'PREST. SOCIALES				629,496.27
GASTOS DIRECTOS				
Renta de Vehiculos	13,000.00	33.50	MES	435,500.00
Renta Equipo de Topografía	3,900.00	14.00	MES	54,600.00
Renta Equipo de Computación	1,000.00	14.00	MES	13,925.00
Renta Mobiliario y Equipo de Oficina	1,500.00	14.00	MES	21,000.00
Renta de Equipo de Radiocomunicaciones	1,500.00	14.00	MES	21,000.00
Alquiler de Oficinas y Camp.	3,000.00	14.00	MES	42,000.00
Materiales Varios	4,500.00	14.00	MES	63,000.00
Viaticos			GBL	833,625.00
Laboratorio	13,500.00	14.00	MES	189,000.00
Sub-total Gastos Directos				1,673,650.00
Gastos de Manejo				83,682.50
I. TOTAL SALARIOS + PS				1,617,446.27
II. GST. GRL. 60% (TOT.SAL. DIR.)				592,770.00
III. TOT. GAST. DIRECT.				1,757,332.50
IV. HONORARIOS (10% DE I)				161,744.73
V. COSTO TOTAL (I+II+III+IV)			C\$	4,129,292.49
VI. COSTO TOTAL (I+II+III+IV)			US \$	317,637.88

VII. Notas Generales para el Pavimento Rígido De la carretera Santa Rita – Izapa.

a. Descripción de la Obra.

Se trata de la construcción de 36.0 kilómetros de una carretera de altas especificaciones técnicas y con control de calidad excelente, que servirá de acceso al tramo de carretera Santa Rita – Izapa, ubicada en carretera Vieja a León.

La nueva carretera contará con 2 carriles de circulación para vehículos, cada carril consta de dos líneas de circulación en un solo sentido, para entrar a las zona de acceso y otras dos líneas en otro carril para salir y alcanzar la carretera hacia León. Cada línea de circulación tiene un ancho de 3.50 metros, de manera que todo el ancho del carril es de 7 metros. La pendiente transversal en cada carril es solamente hacia el lado, la pendiente no es mayor del 1%, de manera que entre un extremo y otro del carril el desnivel es de 7 cm. El carril Norte tiene el peralte de Norte a Sur y el carril izquierdo el peralte es mayor al costado Norte y el costado Sur es el mas bajo.

Para el manejo del agua pluvial, sobre la futura vía se hará uso de bordillos de concreto en la isla y los costados de los carriles estarán dotados igualmente de bordillos de concreto. Cada 40 metros se dará salida al agua hacia el canal lateral, descontinando el bordillo y construyendo un canal con un esviaje en el sentido de la corriente de agua dentro del canal, esto es en la banda sur. En la banda Norte, la discontinuidad del bordillo tiene igual espaciamiento y la longitud del tubo en su mayoría de de 2.50 metros y se colocará bajo la base de las ciclovías, y a través de la piedra cantera que forma el bordillo exterior de las ciclovías.

Los carriles estarán separados por una isla de 4 metros de ancho. Esta isla servirá para ubicar los postes del alumbrado eléctrico, y en los sitios de intersección con el sistema vial para acondicionar los refugios para los giros a la izquierda y en algunos sitios para el giro en U.

En un tramo de esta isla se construirá un sub.-dren para recoger el agua que pueda infiltrarse a través de la tierra y llegar hasta un estrato de suelo del tipo A-7-5 y A-7-6, que es susceptible a la acción del agua. Este sub.-dren termina en un pozo de infiltración de 4 metros de profundidad que se rellenará con arena de Motastepe como filtro, para que agua recogida por el sub.-dren recargue el acuífero.

Paralelo a las vías de circulación se construirán un carril como vía para uso común de ciclistas y peatones.

Esta ciclovía tiene un ancho de 2 metros. Los andenes peatonales tienen un ancho en el costado sur entre 1.20m cuando se construyen en terreno firme, de 1.50m hasta 2 metros, cuando constan de una losa de concreto reforzado para tapar el canal existente y utilizar la superficie como andén.

Se construirá 1 alcantarilla de tubos de concreto reforzado, clase III de 42” de diámetro, y se reemplazarán las alcantarillas existentes por cajas de concreto, de 2 x 3.05m y de 1.10 x 3.05 m.

Este reemplazo se debe a que la cantidad de basura que llega a las obras de drenaje obstaculiza el libre paso del agua y rebasan las alcantarillas dañando la superficie de rodamiento y dejando grandes cantidades de lodo. Los tubos que se recuperan de las dos alcantarillas existentes, se emplean nuevamente en la construcción de la nueva alcantarilla. En dos sitios se construirán puentes de vigas de acero o concreto con losa de concreto como superficie de rodamiento colado in situ. Los estribos del puente son paredes de concreto coronadas en una viga para el asiento de las vigas de acero.

Los puentes estarán dotados de barandas de concreto reforzado y de una acera peatonal. Los puentes para las ciclovías serán de vigas de acero y losa de concreto con estribos consistentes en columnas de concreto. A la salida del puente se procederá a la construcción de obras para proteger de la erosión. Estas obras consisten en gaviones colocados a las orillas del cauce y en el fondo del mismo.

Las alcantarillas tendrán cabezales de mampostería de piedra bolón que considerando que en la zona no existen minas deberá importarse de Veracruz o de otro sitio donde se encuentren. En cambio las cajas tienen aletones de concreto que se unen con el cuerpo de la caja. En la salida de una de las cajas, se construirá una rampa disipadora de energía, pues la que existe se encuentra dañada.

Con relación a las obras para la construcción del pavimento, de manera general se trata de excavar en el terreno actual la profundidad necesaria para luego colocar las capas de sub-base y base triturada y sobre esta última una losa de concreto hidráulico de 15 cm de espesor. El acabado es antiderrapante.

La capa de terracería será mejorada mediante un proceso de escarificación de 15 cm de profundidad y compactada al 95% de su máxima densidad obtenida mediante el ensayo Proctor estándar.

El nivel de tolerancia en los niveles es fuerte, no se permite desnivel mayor de 10 milímetros con relación a un escantillón que será utilizado para establecer el nivel de exactitud en la pendiente transversal.

Sobre la capa de subrasante mejorada, se colocará una capa de material de terraplén que hemos denominado sub-base. Esta capa de material debe de cumplir con requisitos sobre todo de carácter plástico, pues no debe de exceder de 12 como Índice de plasticidad. El espesor de esta capa se encuentra en dependencia de la rasante final y del nivel del terreno natural, pero en ningún caso es menor de 15 cm de espesor. El nivel de tolerancia en los niveles es fuerte, no se permite desnivel mayor de 10 milímetros con relación a un escantillón que será utilizado para establecer el nivel de exactitud en la pendiente transversal. El grado de compactación de esta capa debe de ser mínimo 95% obtenido en el ensayo Proctor estándar. Esta capa de material se prepara mezclando el 60% de material conocido como hormigón y 40% de material selecto, (limo arenoso no plástico, cementado).

La capa de sub.-base (cuando se usa concreto hidráulico) o base como tradicionalmente se conoce a la capa ubicada inmediatamente bajo la superficie de rodamiento, consta de una capa de piedra triturada de tamaño máximo 1", con graduación "E", establecida en el NIC – 2000, con espesor de 15 cm.

El nivel de tolerancia en cuanto a desniveles es de 5 mm, que se obtiene mediante el uso de un escantillón colocado cada 20 metros. El grado de compactación es de 100% obtenido de la prueba Proctor modificado con martillo de 10 libras de masa y caída de 18 pulgadas en un molde de 6" de diámetro.

La superficie de rodamiento consta de una capa de concreto de 281.23 kg/cm² (4,000 PSI) de resistencia a la compresión a los 28 días y resistencia a la flexión (Módulo de ruptura) obtenida en probetas de sección 15 cm x 15 cm x 50.8 cm de longitud (6" x 6" x 20"), de 45 Kg/cm² (470 PSI).

Las juntas forma cuadrados de 3.50 metros de lado. Son formadas mediante aserrado mecánico realizado con una máquina especialmente diseñada para cortar concreto en estado de fraguado inicial. El concreto será colocado con una máquina especialmente diseñada para estos fines, cuya aprobación se realizará previa a su uso.

El IRI, que se deberá conseguir para la superficie de rodamiento deberá ser (IRI menor o igual a 2.8) y la manera de obtenerlo es mediante el uso de un perfilómetro que será suplido por El Contratista.

Las juntas de contracción se ubican a cada 3.60 metros y tienen un ancho de 6 mm y una profundidad no mayor de 5 cm. Las juntas tienen una pasa junta de varilla lisa # 1, con longitud de 40 cm y separación de 30 cm. En el plano especial para pasajuntas y barras de anclaje se muestra el lugar preciso de colocación.

Las barras pasajuntas y de anclaje, se montan en dos aditamentos hechos con varilla de hierro lisa # 2. Las varillas pasajuntas en un extremo serán embebidas en grasa amarilla. Este pasajunta tiene por objeto hacer que las losas trabajen en colaboración para evitar fallas por erosión, pues evitan el bombeo.

Las juntas se rellenarán posteriormente con un elastómero que tiene por objeto dar una superficie de rodamiento sin golpes por causa de las ranuras de las juntas. El elastómero utilizado para el diseño es conocido comercialmente como FLUJO FLEX – 40 FS, pero esta es una marca de referencia, otras marca puede ser empleada, siempre que su función sea similar a la de la marca mencionada.

Las juntas de construcción tienen forma trapezoidal y se colocarán al finalizar la jornada de colocación del concreto fresco. Necesariamente llevarán acero pasajuntas. El acabado de la superficie es ligeramente estrillado con el objeto de tornarlo antiderrapante.

A lo largo de la junta longitudinal se colocará un pasajunta con el objeto de transmitir los esfuerzos de una losa a otra. Estas juntas constan de varillas # 4, con longitud no menor de 76 cm y colocadas a cada 75 cm. También se fijan en un aditamento de varillas # 2.

En la entrada a los puentes, la losa de concreto se interrumpe y se coloca una junta rellena de elastómero, que funciona como junta de expansión. El remate de la losa del puente y de la losa de concreto de la carretera se realiza mediante la colocación de un angular de 3” x 3” x 1/8”.

Los conceptos de obra empleados en el desarrollo de la carretera de acceso, tomando como referencia la identificación pertinente del NIC – 2000, que será el documento oficial de especificaciones del proyecto son los siguientes:

201.04. Descortezado. Este concepto de obra se empleará para llevar a cabo la limpieza de la franja de terreno a trabajar par ubicar los carriles de circulación para los vehículos y para dotar de andenes peatonales y ciclovías a la carretera

202. Remoción de estructuras y obstáculos. Se trata de remover las alcantarillas y un cerco de malla ciclón al inicio del proyecto.

203. Excavación y Terraplenado. Bajo las instrucciones de esta sección se realizan los trabajos de excavación de la tierra vegetal y su almacenamiento para uso posterior, la preparación de la capa para la construcción del terraplén, las sub-excavaciones necesarias para eliminar material inadecuado, compactación, zanjas y cunetas, desecho de materiales.

207. Excavación para estructuras. Bajo este concepto se realizan los trabajos de excavación para zanjas, para el lecho de las alcantarillas, y estribos para puentes, relleno de alcantarillas y puentes,

208. Acabado de la subrasante. Bajo este concepto se llevará a cabo la preparación de la capa superior de la terracería, para dejarla en condiciones de colocar de manera segura las capas que conforman el pavimento, tanto en la sección donde se construirán los carriles nuevos como en la sección del adoquinado actual, que según estas especificaciones se denominan superficies construidas con anterioridad, sección 208.09.

303. Capas de agregado no tratado. Base. Este concepto cubre las actividades que tienen como objetivo dotar a la carretera de una superficie de soporte a la losa de concreto. Consta de material triturado con tamaño de 1”.

306. Capas de agregados naturales. Sub.-base. Este concepto cubre las actividades necesarias para dotar a la estructura de pavimento de una capa que se coloca inmediatamente sobre el terreno natural conformado (Subrasante), y bajo la capa de material de base. Se denomina agregado natural pues es una mezcla de materiales procedentes de bancos de préstamos y se usan sin proceso previo de preparación. La capa a utilizar es una mezcla de material conocido como hormigón, que es una espuma volcánica o lava de enfriamiento rápido, utilizado en 60% en volumen y un 40% del material conocido como selecto del banco. Este selecto es un toba de color gris, limo arenoso no plástico, que también se encuentra en el banco conocido como Miraflores a unos tres kilómetros del proyecto.

501. Pavimento de concreto de cemento hidráulico. El trabajo de colocar la capa de rodamiento de concreto se realizará bajo las instrucciones de esta sección. El trabajo consiste en la colocación de una capa de 15 cm de espesor, por 7.20 metros de ancho por cada banda, son dos carriles por banda. El concreto tiene una resistencia de 45 kg/cm^2 , de Módulo de ruptura. El concreto será colocado mediante una maquina de diseño especial para estos trabajos. El concreto será suministrado mediante camiones revolvedores que descargarán directamente en la tolva de la máquina. Las juntas serán aserradas con el concreto aun fresco, con una máquina especialmente diseñada para esa función. Las juntas forman cuadrados de 3.5 metros de lado.

El acabado será rastrillado con estrillas no mayores de 1.6 mm y la sección final será recibida con una tolerancia de 6 mm en tres metros de longitud si se reciben con escantillón. Si se reciben con perfilómetro del tipo California, la tolerancia será de 160 mm por kilómetro, de acuerdo con la norma FLH T 504.

Subdivisión de 600 Puentes.

602. Concreto estructural. Bajo esta sección se construirán las paredes y vigas de que conforman el estribo de los puentes, los aletones, y las barandas del puente. El concreto será de 210 kg/cm^2 (3,000 PSI) de resistencia a los 28 días. Para la losa de rodamiento del puente el concreto será de 351 kg/cm^2 .

También se utilizará el concepto para la fabricación y colocación de tapas para el canal que se encuentra en el costado sur de la vía adoquinada actual. Se estima que será necesario tapar alrededor de 1,500 metros. Las tapas pueden ser prefabricadas.

604. Acero de refuerzo. Bajo este concepto se suministrará y colocará el acero de refuerzo tanto en las columnas, vigas o losa de rodamiento y barandas de los puentes. Se estima un total de 15,000 kilogramos de acero de diámetros #2, 3, 4 y #5. También bajo este concepto se colocan las barras de anclaje y pasajuntas, lo mismo que el dispositivo para fijarlas.

605. Estructuras de acero. Con los lineamientos mandatorios en este concepto se llevará a cabo el suministro y colocación de las vigas de acero del puente a construir. El peralte de las vigas es de 1.12 metros y el espesor del alma es de $\frac{3}{4}$ ", la longitud de las vigas es de 12.40 metros y en total son 4 vigas, mas 2 vigas para la ciclovía. El peralte es de 0.50m. El ancho del patín es de 41 cm en el primer caso y 25 cm en el segundo. El acero es grado A -36.

606. Barandas de puentes y viaductos. Este concepto es utilizado para la construcción de las barandas para el puente y cajas a instalarse. Las barandas serán de concreto colado en sitio, con acero de refuerzo.

608. Estructuras de mampostería de piedra. Esta sección da las indicaciones para la construcción de los dientes de mampostería de la protección del fondo del cauce en los puentes y cabezales de alcantarillas, y para otras obras menores como resbaladeros de cunetas para descargar las aguas en el lecho de los cauces que

atraviesa la vía, y canales protegidos con rejillas en las boca calle. La piedra es bolón que puede ser obtenido mediante trituración o de cualquier otro origen.

611. Dispositivos de apoyo. Se trata del suministro de placas de neopreno y placas de acero que las confinan, para colocarlas entre la viga de asiento del puente y la viga de metal que soporta la losa de rodamiento del puente. El grado de dureza 50 al durómetro.

701. Drenaje pluvial. Esta sección rige para la instalación de las alcantarillas de tubos de concreto reforzado, clase III, o bien las cajas de concreto reforzado, con empalme de mortero. Los tubos a emplear son los recuperados de las alcantarillas existentes pues se encuentran en buen estado y serán removidos.

703. Tragantes. Se necesita construir un tragante en los puntos de toma la alcantarilla en la estación 2+35. El tragante será de ladrillo cuarterón repellido en la superficie expuesta a la acción del agua, se cubrirá con una rejilla. El agua entrará por huecos tipo gaveta. La rejilla tiene por objeto proteger a las personas de una caída pues es de 2.50 metros de profundidad.

801. Señales verticales para control del tráfico, Se trata de colocar señales de poste y tablero metálico que ayuden a los conductores al manejo seguro en la carretera.

802. Marcas en el pavimento. Se trata de pintar una raya de color blanco que divida los carriles en dos líneas de rodamiento, de señalizar los sitios destinados a cruce de peatones, a pintar flechas que indique la dirección del giro, de letreros que indiquen alto y otro que indiquen zona de precaución por ser zonas pobladas.

904. Aceras y andenes. Bajo este concepto se construirán los andenes peatones que tienen un ancho de 2 metros ubicados al costado Norte de la vía a construir. El espesor de los andenes es de 7cm colocados sobre una capa de material granular compactado al 90% Proctor estándar. El concreto es de 210 kg/cm². En otros casos, cuando se usa como andén y tapa de canal, la losa tiene 2 metros de ancho y el espesor de 12 cm, con refuerzo de acero # 4 en forma de malla de 30cm por lado. También hay andenes de 1.50m de ancho que también son tapa de canal, en este caso tienen refuerzo de acero # 4, en forma de malla de 30cm de lado. En el caso de los andenes construidos sobre tierra se usará una base de 7cm de espesor, de la misma mezcla empleada en la sub.-base de la carretera principal.

905. Bordillos y cunetas. Será necesario construir de bordillos. Estos bordillos de concreto, se construirán después de terminada la losa de concreto. Justo antes de que el concreto de la losa fragüe, se colocarán espigas de acero # 4, de 20 cm de longitud con espaciamiento de 40 cm, para anclarlos a la losa de rodamiento. El concreto para ello es de 210 kg/cm². Cada 40 metros los bordillos del lado Sur de la banda Sur, tendrán una descarga de agua directamente al canal lateral existente.

En el caso de las ciclovías también se utilizará la misma separación para drenar el agua pluvial. Para evitar erosión se revestirá el canalito de desagüe con una mezcla de suelo del sitio con 4 bolsas de cemento. El espesor es de 10 cm. Se puede usar

como alternativa una mezcla de arena asfalto. Para drenar el agua de la banda Norte, en la separación de los bordillos a cada 40 metros, se colocará un tubo de PVC de 4” de diámetro con longitud de 2.50 metros, empotrado en el bordillo.

Como remate de las ciclovías, se empleará piedra cantera de 0.60 x 0.40 x 0.15, colocando la dimensión de 0.60 m paralela al eje de las ciclovías y enterrando la de 0.40 m.

908. Tapajuntas. La tapa juntas o el rellenos de junta consisten en un material especialmente diseñado para introducirlo en las juntas de las losas.

910. Zampeado. Este concepto de obra es para proteger el lecho del cauce y evitar que la erosión causada por la corriente socave las fundaciones de los estribos. El espesor de la losa de protección zampeada es de 30 cm, para un total de 200 m².

918. Gaviones y colchones de revestimiento. Será empleado en dos sitios donde se necesita proteger tanto las paredes del cauce, como la salida del zampeado que se realizará en el lecho del cauce, en la estación 2+038.

b. Mantenimiento del Tráfico.

Con el objeto de mantener abierto el tráfico, se construirá primero la banda Norte dejando abierto al tráfico el carril. Después de abierto al tráfico el carril nuevo, se procederá a levantar los restos de materiales e impurezas de la carretera actual y a su construcción posterior. Los sitios de trabajo donde exista peligro para los peatones, como sitio de cauce deberá ser continuamente protegido con cintas señalizadoras o cerradas con alambre.

c. Regulaciones Ambientales.

Las regulaciones ambientales son de ineludible cumplimiento durante las operaciones de construcción. El equipo deberá tener un nivel de ruido máximo de 80 decibeles, libre de emisiones nocivas de gases, no derramar aceite pues es contaminante. Mantener húmeda la superficie para no producir polvo. Durante las operaciones nocturnas, no se permite ruidos perturbadores del sueño en las cercanías de iglesias y hospitales. Si es necesario trabajar mas allá de las 9 de la noche deberán programarse actividades que no produzcan ruidos mayores de 60 decibeles, ni golpes puntuales que hagan vibrar la tierra.

La disposición de los desechos de construcción deberán ser trasladados hasta el vertedero municipal de Managua, no se quemarán bolsas de cemento, se prepararán en fardos y se entregarán en venta a las empresas que utilizan ese material para reciclaje.

Los cambios de aceite de los vehículos y maquinaria de trabajo, se realizarán colocando una tela absorbente bajo el recipiente que recibe el aceite a cambiar. El aceite usado será almacenado en barriles. Se utilizarán letrinas portátiles en los sitios de campamento, y de construcción del puente, cajas y alcantarillas.

d. Sobre el Empleo.

No se permite bajo ninguna circunstancia la discriminación racial, de género, religión o de cualquier otra índole que limite el derecho de las personas a emplearse en el proyecto, excepto que sean convictos. Es deseable el empleo de estudiantes de carreras relacionadas con ingeniería civil, arquitectura, ingeniería mecánica, industrial, para que adquieran familiaridad con la profesión.

e. Observación de las leyes.

El Contratista está obligado a conocer las leyes relacionadas con su trabajo, sobre todo lo relacionado al Código del Trabajo, convenios colectivos de la industria de la construcción y poner en práctica sus alcances. También se recuerda a El Contratista que la ley general de transporte ha sido recientemente modificada por la Asamblea Nacional y contiene regulaciones importantes para la circulación de vehículos que transportan equipos para construcción.

f. Sistemas de Medidas.

Los planos y especificaciones emplean el sistema internacional de medidas, excepto en lo referente a diámetros de tubos, varillas de hierro, espesores de láminas que se expresan en pulgadas. Sin embargo, normalmente se expresa el equivalente en el sistema internacional de medidas.

g. Errores y Omisiones en los Planos.

Estos planos han sido preparados con poco tiempo para desarrollarlos, por lo tanto es de esperarse que en algunos de ellos se encuentre información incompleta o en algunos casos contradictoria. En ese caso, el Consultor, está en la mejor disposición para aclarar los problemas que puedan ocasionar tales inexactitudes. Sin embargo, previo a iniciar las obras debe de estudiarse con detenimiento las hojas de los planos y especificaciones para evitar atrasos durante la ejecución de la obra.

h. Alternativas de Solución.

En algunos casos puede ser que El Contratista tenga soluciones alternas a las propuestas que puedan ahorrar tiempo y dinero. Para implementarlas existen procedimientos establecidos en las NIC – 2000, y serán bien recibidas, estudiadas y resueltas de manera expedita.

i. Variación en las Cantidades Estimada.

Algunas cantidades estimadas de obra, pueden variar de acuerdo con mejoras en el diseño sobre todo en lo referente al puente a construir, pues el diseño será mejorado, pero no se prevé que se cambie la naturaleza de las obras.

VIII. Listado Mínimo de equipo para el Pavimento Rígido.

Brigada de topografía compuesta por un topógrafo – nivelador, dos ayudantes de topografía, para el replanteo, control de límites y niveles de excavación, y demás actividades.

Equipo de laboratorio puntualmente para los ensayos de compactación en los rellenos de terraplenes y mejoramiento de carretera, y control de revenimiento y toma de muestras de concreto para el control de calidad del concreto.

(1). Excavadora con capacidad de brazo extensible hasta 4 metros.

(2). Compactadoras tipo plancha golpeadora (brinquines), para la compactación del relleno de los estribos y aletones del puente, fondo de excavación para cajas, base para andenes peatonales.

(2). Compactadoras tipo rodillo de 500 libras de peso para compactar relleno detrás de las paredes de los estribos.

(1). Planta eléctrica con capacidad de 5 Kv, para suplir energía a las herramientas eléctricas de corte, sierras de carpintería, iluminación nocturna y demás herramientas pequeñas movidas a base de energía eléctrica.

(1). Mezcladora autopropulsada mediante motor de diesel o gasolina con capacidad de mezclar por lo menos 3 sacos (0.30 metros cúbicos), para llenar las losa del puente, losetas que cubren el canal, vigas de asiento del puente y demás obras pequeñas de concreto, y preparar la mezcla de mortero para la mampostería. (Nota: las losetas de concreto también pueden ser prefabricadas en Managua, entonces la capacidad de la mezcladora se reduce a 1 saco para usarla solamente en las obras realmente menores de concreto y en la mezcla del mortero de la mampostería.

(6) Camiones mezcladores de concreto con capacidad de 7.5 m³, cada uno para el suministro de concreto de la losa de rodamiento.

(1) Planta estacionaria portátil para el mezclado del concreto.

(1) Máquina colocadora para pavimentos que puede ser con regla vibratoria o no.

(2) Vibradores de chilillo ya sean eléctricos o autopropulsados para vibrar el concreto de losetas y vigas de asiento.

(2) Welders (Máquinas de combustión interna para soldar), con capacidad 50- 210 A DC, 50-225 A , AC, 15 – 25 V, polaridad AC, DC.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

- (1) Camión de plataforma de 20' de largo, eje sencillo, 8 Toneladas de capacidad, para el acarreo de materiales de construcción, madera, personal.
- (1) Camión de volteo de (4 a 6m³) de capacidad para el acarreo de bolones y material de relleno de aletones y muros.
- (1) Camioneta de tina de 1 Ton, para movilización de personal de dirección.
- (1) Grúa de 6 Toneladas de capacidad de levante, para la colocación de vigas del puente.
- (1) Tractor tipo D-6 CAT, o similar, para el corte de material hasta llegar a la subrasante.
- (2) Motoniveladoras tipo CAT 140G (solamente es referencia puede ser cualquier marca), para el mejoramiento.
- (2) Vibrocompactora entre 12 y 24 toneladas de capacidad para compactar la capa componentes de la estructura de pavimento.
- (3) Camión Cisterna para regar el material de la carretera durante el proceso de compactación.
- (1) Tanque de agua estacionario de 3,000 galones de agua para usos diversos, como mezcla de concreto, mezclas de mortero para mampostería, curado del concreto recién colado.
- (1) Cabezal y lowboy para movilización de equipos de construcción hacia y desde el proyecto.
- (1) Cabezal y rastra de 400 quintales de capacidad para el transporte de arena, cemento, grava para la elaboración del concreto y además para el transporte de las vigas desde el taller de fabricación hasta el sitio del proyecto.
- (2) Palas mecánicas.
- (4) Juegos de luces para trabajos nocturnos o bien para iluminación de zonas con peligro para peatones y tráfico de vehículos.

CAPÍTULO VIII.

COSTOS Y PRESUPUESTO.

I. Introducción.

Considerando el anterior cuadro resumen de la comparación económica entre pavimentos, la cantidad de mantenimiento que se tiene que dar a una carretera así como la cantidad de obra ocupada en el proyecto de Santa Rita – Izapa, se detallará, en este capítulo, la metodología utilizada para el análisis y la cuantificación de los costos del proyecto, como así también los costos de Mantenimiento y Supervisión.

Para llegar a la elaboración del presupuesto, fueron previamente efectuadas las siguientes actividades y tareas:

a. Estudio de Costos Básicos, mediante investigaciones del mercado en lo referente a:

- Equipos.
- Mano de Obra.
- Materiales.

b. Análisis de Precios Unitarios, mediante la composición de los Costos Básicos, para cada uno de los ítems de obra y según los rendimientos en cada caso se obtuvieron los "Costos Directos", los que fueron afectados por un factor multiplicador de 1.4, que contempla los Costos Indirectos (22%), Administración (8%) y Utilidades (10%), obteniéndose así los costos de venta para cada ítem de la construcción.

c. Elaboración del presupuesto del Proyecto.

Para todos los efectos que se deriven de los costos se tomó como fecha base y tipo de cambio Córdobas/Dólares:

Fecha base: 4 de Diciembre 2000.

Tipo de Cambio: 13.00 C\$/US\$

A continuación se adjunta la comunicación oficial del Banco Central de Nicaragua, mediante la cual se presentan las tasas de cambio oficial para el mes de Diciembre del 2000.

AVISO

El **Banco Central de Nicaragua** informa al público en general los tipos de cambio oficial del córdoba nicaragüense con respecto al dólar de los Estados Unidos de América que regirán en todo el territorio nacional, en el período abajo señalado:

TIPO DE CAMBIO OFICIAL DEL 1° AL 31 DE DICIEMBRE 2000

FECHA	C\$ por US\$	FECHA	C\$ por US\$
01-Dic-2000	12.9951	17-Dic-2000	13.0283
02-Dic-2000	12.9972	18-Dic-2000	13.0304
03-Dic-2000	12.9993	19-Dic-2000	13.0324
04-Dic-2000	13.0013	20-Dic-2000	13.0345
05-Dic-2000	13.0034	21-Dic-2000	13.0366
06-Dic-2000	13.0055	22-Dic-2000	13.0387
07-Dic-2000	13.0076	23-Dic-2000	13.0407
08-Dic-2000	13.0096	24-Dic-2000	13.0428
09-Dic-2000	13.0117	25-Dic-2000	13.0449
10-Dic-2000	13.0138	26-Dic-2000	13.0470
11-Dic-2000	13.0158	27-Dic-2000	13.0490
12-Dic-2000	13.0179	28-Dic-2000	13.0511
13-Dic-2000	13.0200	29-Dic-2000	13.0532
14-Dic-2000	13.0221	30-Dic-2000	13.0553
15-Dic-2000	13.0241	31-Dic-2000	13.0573
16-Dic-2000	13.0262		

MANAGUA, NICARAGUA, 21 DE NOVIEMBRE 2000

DIFUSION Y COMUNICACION

II. Estudio de costos básicos para el pavimento flexible.

8.1 Costos del Equipo.

8.1.1 Costos de Utilización del Equipo.

El análisis de los ítems de obra, produce la necesidad de determinar el uso de equipos que sean representativos en cuanto a potencia, versatilidad, eficiencia, durabilidad.

En base a las consideraciones anteriormente mencionadas y las experiencias en la ejecución de Obras Viales tanto de Contratistas como del MTI, se han escogido los siguientes equipos y plantas característicos para obras viales:

- Tractor a orugas de 300 HP.
- Tractor a orugas de 200 HP.
- Tractor a oruga de 140 HP.
- Motoniveladora de 140 HP.
- Cargadora Frontal con ruedas neumáticas de 127 HP - 2,7 m3.
- Retroexcavadora 130 HP - 1,2 m3.
- Camión volquete de 10 tn.
- Camión volquete de 17 tn.
- Camión cisterna para agua de 8.000 lt.
- Camión plataforma de 14 tn.
- Tractor agrícola de 90 HP.
- Vibrocompactador pata de cabra autopropulsado.
- Vibrocompactador liso autopropulsado.
- Compactador neumático.
- Planta asfáltica 30-80 tn/h.
- Planta trituradora de roca 150 tn/h.
- Camión Concretetero.
- Vibroacabadora de concreto asfáltico.
- Esparcidor de agregados.
- Camión regador de asfalto.
- Equipo para marcación de pavimento.

Para el análisis de costo se han considerado los gastos que se derivan de la posesión y explotación del equipo en la unidad de tiempo, tomando como base de partida el precio de adquisición de cada máquina CIF - Managua.

Dichos gastos son los siguientes:

- Gastos fijos de posesión que comprenden: la depreciación, los intereses del capital invertido, y los seguros y comisiones bancarias.
- Gastos de mantenimiento y conservación que comprenden las labores para operar el equipo en óptimas condiciones de uso.
- Gastos de operación que engloban combustibles, lubricantes y mano de obra necesaria

para el funcionamiento del equipo.

8.1.2 Costos de Posesión del Equipo.

Para el cálculo de costos en Nicaragua se parte de la siguiente premisa:

- La depreciación o pérdida del valor del equipo como consecuencia del uso es de 100%, o sea valor de rescate = 0.
- La tasa de interés anual es de 12%.
- La expresión utilizada para la depreciación e intereses anuales durante la vida útil del equipo está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Dep.} + \text{Int} = \frac{A \times q^n \times (q-1)}{q^n - 1} = A \times p$$

Siendo:

A = Valor de adquisición del equipo CIF Managua,

$$p = \frac{q^n \times (q-1)}{q^n - 1}$$

$$q = (1 + i)$$

i = Tasa de interés anual

n = Vida útil del equipo en años.

Los seguros y comisiones de acuerdo con la información obtenida de los estudios básicos, representan las siguientes tasas anuales:

- Seguros	2 %
- Comisiones bancaria	5 %
<hr/>	
TOTAL	7 %

La expresión usada para el cálculo de los seguros y comisiones es la misma que la que se utiliza para la depreciación.

La vida útil del equipo varía según el tipo de máquina y de acuerdo a las condiciones del servicio.

En el cuadro 8.1 se presentan los valores de "vida útil del equipo" para las condiciones del servicio Liviano (L); Medio (M) y Pesado (P).

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8.1. Vida útil de las Unidades de Equipo según condición de Servicio.

Equipos	Condiciones de Servicio					
	Liviana		Mediana		Pesada	
	Vida Útil en		Vida Útil en		Vida Útil en	
	Años	Horas	Años	Horas	Años	Horas
Perforadora Manual	-	-	-	-	3	6,000
Vibrador para hormigón	-	-	4	5,000	-	-
Bomba de agua, Equipo de soldadura eléctrica	-	-	4	6,000	-	-
Concreteira	-	-	4	7,000	-	-
Tractores de oruga, retroexcavadora, motoniveladora, cargadoras, camiones volquetes,	6	12,000	5	10,000	4	6,000
Compresores de aire	-	-	6	10,000	-	-
Esparcidor de agregados	-	-	6	8,000	-	-
Camión regador de agua, camión de carga, generador.	-	-	6	12,000	-	-
Planta de trituración	-	-	-	-	6	9,000
Rastra de discos, barredoras	-	-	8	8,000	-	-
Rodillo pata de cabra, rodillo neumático de presión variable, rodillo liso, hincapilotes.	-	-	8	14,000	-	-
Tanque precalentador de asfalto	-	-	6	14,000	-	-
Camión distribuidor de asfalto	-	-	8	10,000	-	-
Vibroacabadora de concreto asfáltico	-	-	8	12,000	-	-
Planta dosificadora de agregados	-	-	6	10,000	-	-
Equipo para marcación de pavimento	-	-	8	10,000	-	-

Para nuestro caso se ha tomado en cuenta la vida útil en condiciones de servicio medio.

8.1.3 Costo de Mantenimiento del Equipo.

En este rubro se considera los gastos referentes a:

- Repuestos y accesorios, que incluye la mano de obra de reparaciones y gastos de talleres;
- Reajustes, regulación, limpieza, lavado, etc.;
- Neumáticos, Llantas, caites de orugas y demás piezas de gasto efectivo durante la operación.

La expresión utilizada para calcular el costo horario de reparaciones y repuestos es la

siguiente:

$$M = \frac{A}{n \times h} \times K$$

Siendo:

- M Costo horario de mantenimiento;
- A = Valor de adquisición de la unidad;
- n = Vida útil en años;
- K = Coeficiente para cada máquina.

En el cuadro 8.2 se presentan los valores de los “Coeficientes de Proporcionalidad K” para reparaciones y repuestos a ser aplicados en la fórmula precedente.

Cuadro 8.2. Valores de los Coeficientes de Proporcionalidad
Para el Cálculo de Costos de Mantenimiento del Equipo.

Tipo de Maquina	Coeficiente
Perforadora, dril, martinete neumático, vibrador, bomba de succión, soldadora	0.50
Tractor de orugas, pala cargadora frontal, pala cargadora de arrastre y autopropulsada	1.00
Motoniveladora	0.80
Excavadora	0.80
Tractor neumático, camión tanque, camión volquete	0.80
Camión volquete	1.00
Compresor de aire	0.80
Mezclador de suelos	0.90
Distribuidor de agregado, arado de discos	0.50
Trituradora de piedra.	0.90
Rodillo de compactación autopropulsado	0.90

8.1.4 Costos de Operación.

Para establecer el costo de funcionamiento o Costo de Operación de la maquinaria, es necesario hacer el análisis de los combustibles, lubricantes y Mano de Obra.

Combustibles y lubricantes.

Comprende este rubro los combustibles, lubricantes y filtros los mismos se analizarán según el tipo de motor a usar, sean estos de combustible diesel o gasolina.

Para motores diesel: el consumo horario por HP puede estimarse en:

Combustible	=	0, 150 lts.
Aceite Lubricante	=	0, 002 lts.
Grasa	=	0, 001 kg.

Si se toma como parámetro el costo del diesel se tendrá para Nicaragua la siguiente composición expresada en "litros equivalentes de diesel por HP":

Diesel	=	0,150 x Precio del diesel / Precio del diesel = 0,150
Aceite Lubricante	=	0,002 x Precio del aceite lubricante / Precio del diesel = 0,019
Grasas, filtros, Varios	=	0,001 x Precio de grasas y filtros / Precio del diesel = 0,006

TOTAL (Lts) = 0, 175

Se tendrá por tanto:

$$\begin{aligned}\text{Costo horario} &= 0,180 \times \text{HP} \times \text{Costo lts. Diesel} \\ &= 0,180 \times \text{HP} \times 24 = 4.32 \times \text{HP}.\end{aligned}$$

8.1.5 Mano de Obra de Operación.

Para el análisis de la mano de Obra que incide en la operación del equipo, se parte de los salarios básicos que pagan normalmente los Contratistas en construcción de caminos, en este caso intervienen, el salario del operador sus prestaciones sociales y viáticos.

8.1.6 Costos Horarios de Equipos.

En el cuadro 8.3 mostrado a continuación se detallan las rentas horarias de los equipos a utilizar, en dichas rentas se incluyen depreciación, fianzas, seguros, combustibles lubricantes, reparaciones, filtros y repuestos, no se incluye los costos de mano de obra para operación de los diferentes equipos.

Cuadro 8.3. Rentas Horarias de Equipos.

DESCRIPCION	RENTA EN C\$	UNIDAD
Camión Volquete 7 M ³	325.00	Hora
Camión Volquete 5 M ³	234.00	Hora
Compactadora Manual	65.00	Hora
Camión Concretero	429.00	Hora
Compactadora Vibratoria de 12 Tn	377.00	Hora
Cargador Frontal 127 HP	403.00	Hora
Motoniveladora 140 HP	338.00	Hora
Cisterna de Agua 1200 GL.	299.00	Hora
Tractor 300 HP	793.00	Hora
Tractor 200 Hp	598.00	Hora
Tractor 140 Hp	455.00	Hora
Bomba de Succión	45.50	Hora
Retroexcavadora	260.00	Hora
Grua	312.00	Hora
Cisterna de Asfalto	416.00	Hora
Tractor Agrícola	188.50	Hora
Regador de Piedrin	39.00	Hora
Barredora Sopladora	234.00	Hora
Vibrador Manual	45.50	Hora

8.2 Costo de la Mano de Obra.

El análisis de la mano de Obra que interviene en el costo unitario de cada ítem se ha efectuado a partir de los salarios básicos que pagan los contratistas en las labores de construcción de caminos.

Partiendo de los salarios del personal (incluidos Domingos y feriados no laborales), se calculan las cargas sociales que debe considerar el contratista en las obras, de acuerdo con el análisis que sirve para hallar el factor multiplicador que habrá que aplicar a los salarios básicos horarios para su inclusión en el análisis de precios unitarios de cada ítem.

Se considera como jornada de trabajo 8hrs/día, incluido el sábado, lo que genera un total mensual promedio de 200 hrs. efectivas en 25 días.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Para hallar el “factor multiplicador” se tienen en cuenta los siguientes rubros de cargas sociales:

- Aporte patronal al INSS	16.50%
- Aguinaldo un sueldo por año =1/12.	08.33%
- Vacaciones un sueldo por año =1/12.	08.33%
- Séptimo día	14.29%
- Indemnización por años de servicio	08.33%
- INATEC	02.00%
- Días feriados	02.75%
- Seguro de vida	05.00%
TOTAL	65.53%

En el cuadro 8.4 mostrado a continuación se detallan los salarios básicos para los diferentes cargos utilizados en los diferentes ítem, así como el cálculo de las prestaciones sociales de los salarios y el viático. Para el viático se definió un monto de C\$ 80.00/día esto considerando que el contratista no paga alojamiento (hospedaje) ya que el personal se hospeda en los campamentos construidos para tal fin, generando esto para una jornada de 8 horas diarias una tasa de C\$ 10.00/Hr, en concepto de viático.

CONCEPTO	UNIDAD	SALARIO HORARIO EN C\$	PRESTACIONES SOCIALES 65.53%	VIATICO EN C\$	TOTAL SALARIO EN C\$
Albañil	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Armador de Hierro	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Carpintero	Hora	8.50	5.57	10.00	24.07
Operario	Hora	5.00	3.28	10.00	18.28
Compactadorista	Hora	11.00	7.21	10.00	28.21
Conductor de Equipo Pesado	Hora	10.00	6.55	10.00	26.55
Motoniveladorista	Hora	25.00	16.38	10.00	51.38
Tractorista	Hora	18.00	11.8	10.00	39.80
Cargadorista	Hora	13.50	8.85	10.00	32.35
Retroexcavadorista	Hora	13.50	8.85	10.00	32.35
Soldador	Hora	12.00	7.86	10.00	29.86
Operador de Regadora de Asfalto	Hora	15.00	9.83	10.00	34.83

Cuadro 8.4. Tasas Salariales del Personal.

8.3 Costos de los Materiales y Transporte.

Para establecer el costo de los materiales se ha tomado como punto de partida los precios básicos en los centros de comercialización al por mayor de Managua (Ej: para el cemento el precio básico en el plantel San Carlos, para la tubería el precio en Procon Los Brasiles).

Para el cálculo de los costos de los materiales puestos en obra, se ha partido de los precios comerciales tomando en cuenta los costos de fletes en $Cs/Tn.xKm.$, para los diferentes rangos de Distancias Medias de Transporte (DMT), cuyos valores surgen del análisis de las ubicaciones de los centros de distribución y los centros de acopio del proyecto.

A los fines de establecer las DMT correspondientes al Proyecto, se calcularon las distancias al respectivo Centro de Gravedad del sitio de almacenamiento de los materiales, esto para los materiales provenientes de los centros de comercialización, de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 8.1.

Estas distancias fueron utilizadas en el cálculo del costo de transporte para los diferentes materiales de construcción a ser utilizados en las obras, en sus correspondientes unidades de medida. Sumado a los precios básicos de materiales en los centros de aprovisionamiento, dieron como resultado los denominados Precios Básicos de Materiales Puestos en Obra.

Figura 8.1. Ubicación del Proyecto.



8.3.1 Precios básicos de materiales puestos en obra.

En el cuadro 8.5 se detallan los precios básicos de materiales en los centros de comercialización, así como el costo de transporte de dichos materiales y el costo de los materiales puesto en obra, para el Proyecto.

Cuadro 8.5. Costo de los Materiales Puestos en Obra.

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO BASICO EN C\$	TRANSPORTE EN C\$	COSTO EN OBRA EN C\$
Acero de Refuerzo	KG	5.09	0.58	5.67
Arena	M ³	58.65	189.60	248.25
Asfalto RC-250	Gln	20.04	5.05	25.09
Cemento	Saco	49.52	10.33	59.85
Madera Roja	Pie-T.	1.20	0.02	1.22
Piedra Triturada	M ³	123.50	109.86	233.36
Pintura Reflexiva	Gln	215.00	5.00	220.00
Tubo de Concreto Reforzado de 24" Clase II	ml	687.70	149.05	836.75
Tubo de Concreto Reforzado de 30" Clase II	ml	1,046.50	149.05	1,195.55

Las cotizaciones realizadas ante los suplidores de materiales, se efectuaron de dos formas una de manera telefónica y otro por medio de Internet, de las cotizaciones efectuadas telefónicamente algunas fueron respondidas por fax y se adjuntan en el *Anexo 2 Cotizaciones* y otras fueron suministradas de manera directa durante la comunicación telefónica.

III. Análisis de costos unitarios para el pavimento flexible.

A partir de la información de los fabricantes de maquinarias se han obtenido los "Rendimientos teóricos" del equipo, los que afectados por los muchos factores variables que afectan la producción en un trabajo específico, tales como las características de los materiales, la experiencia del operador, las condiciones del suelo y la altitud, determinaron los "Rendimientos Medios" para cada ítem de la Obra.

Para el cálculo de precios unitarios para cada ítem de Obra se considero lo siguiente:

- Los "Costos Directos" fueron calculados considerando los insumos correspondientes de los rubros, equipo, materiales y mano de obra, de acuerdo a los "Rendimientos" para cada ítem de Obra.
- Los materiales utilizados fueron considerados con sus precios "Puestos en Obra".
- Los costos horarios de utilización del equipo en cada Item no han sido afectados por el factor de utilización;
- Los "Costos de Venta" fueron obtenidos mediante la aplicación del factor de sobre costos de 1.40, el cual se obtiene de la consideración de los costos indirectos 22%, los costos de administración 8% y las utilidades 10%.

En los costos indirectos se consideran los salarios del personal indirecto, como maestros de obra, personal de topografía, personal de mecánica, fiscales y las rentas de equipo de apoyo como camión de engrase, cisterna de combustible, camión taller, camionetas.

En los costos de administración se consideran los salarios del personal administrativo, como

ingeniero residente, asistente del residente, secretarias, conductores, bodeguero, kardista, vigilantes, intendente, encargado de combustible y lubricantes, encargado de explotación de equipos y las rentas de los equipos utilizados por la administración.

Las planillas del Análisis de precios unitarios de cada ítem, con el objetivo de obtener el presupuesto de la obra, se presentan en el *Anexo 1, Detalles de Costos Unitarios*. En dichas planillas se incorporan los diferentes componentes en la estructura de costo de cada ítem, para los tres grandes rubros en que se dividen, siendo estos Mano de Obra, Equipos y Materiales, obteniendo mediante esta planilla el costo directo al que se le aplica el factor de sobre costo para obtener el precio de venta.

IV. Presupuesto de obra para el pavimento flexible.

El presupuesto de obra se presenta en el cuadro 8.6, en el cual se muestra las cantidades de obra, a las que se les aplican los costos de venta generando el costo total por cada ítem y por consiguiente el presupuesto total del proyecto.

Las cantidades de obra del proyecto fueron calculadas tomando en consideración los diseños aplicados por los especialistas de las distintas disciplinas que participaron en el diseño.

Para cuantificar las cantidades, se efectuaron las siguientes actividades:

a. Movimiento de Tierra.

La cuantificación de las cantidades de obra para los conceptos correspondientes al movimiento de tierra se efectuó mediante varias corridas del Modulo Civil Design del Programa Landdevelopment de Autodesk, discriminando los diferentes conceptos y calculando algunos por diferencia entre las diferentes corridas.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Excavación no Clasificada.
- Excavación de Préstamo Caso I.
- Sobreacarreo Largo (Para este ítem además es necesario el análisis de la Curva Masa).

b. Pavimentos.

Las cantidades de estos conceptos se calcularon basados en el dimensionamiento de las diferentes capas obtenidas de los estudios deflectométricos realizados con el FWD y de suelos procediendo luego con la corrida del Modulo Civil Design del programa Landdevelopment de Autodesk, además se comparó con los resultados de una hoja electrónica preparada por los consultores.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Préstamo Seleccionado Caso I.
- Subbase Reciclada (Carpeta y Base), tratada con cemento.
- Base de Material Triturado.
- Pavimento de Concreto Bituminosos en Caliente.

En esta etapa se consideran otros ítem de obra, para los que sus cantidades fueron calculadas mediante hojas de cálculo, ya que el cálculo consiste en la determinación de un volumen, tal es el caso de los ítem:

- Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación.
- Material de Secado.
- Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga.
- Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25.

c. *Drenaje Menor.*

Las cantidades de estos conceptos se calcularon mediante la utilización de hojas electrónicas preparadas por los consultores.

Los ítem considerados dentro de esta etapa son:

- Excavación de Canales Menores de 4 mts.
- Excavación para Estructuras.
- Mampostería.
- Lecho de Alcantarillas Clase “B”.
- Relleno de Alcantarillas.

d. *Señalización y Otros Ítem.*

Las cantidades de obras de estos conceptos se calcularon mediante la cuantificación de cada rubro en los sitios indicados.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8.6. Resumen de Costos
Estimado de Costos de Construcción
Con Impuestos.

CONCEPTO	DESCRIPCION	U/M	VOLUMEN ESTIMADO	COSTO UNITARIO DIRECTO	COSTO UNITARIO DE VENTA	COSTO TOTAL C \$
201 (1)	Abra y Destronque	Ha	79.20	4,267.90	5,975.05	473,223.96
203 (3)	Excavación no Clasificada	M³	85,399.31	35.06	49.08	4,191,398.13
203 (18)	Excavación de Canales Menores de 4 mts.	M³	225.00	8.00	11.20	2,520.00
206 (2)	Sobreacarreo Largo	M³-KM	149,889.01	9.39	13.15	1,971,040.48
207 (1)	Excavación para Estructuras	M³	56.00	37.23	52.12	2,918.72
304 (3)	Base de Material Triturado	M³	67,932.00	99.75	139.65	9,486,703.80
312 (1)	Subbase Reciclada (Carpetas y Base), tratada con cemento	M³	83,520.00	144.87	202.81	16,938,691.20
401 (1)	Asfalto Rebajado MC-70 para Imprimación	Gln	133,560.00	27.54	38.56	5,150,073.60
401 (8)	Material de Secado	M³	2,423.16	333.54	466.95	1,131,494.56
402 (1)	Asfalto Rebajado RC-250 Riego de Liga	Gln	76,320.00	26.74	37.44	2,857,420.80
404 (3)	Agregado para Tratamiento Superficial Bituminoso AT-25	M³	1,645.92	312.31	437.24	719,662.06
406 (1)	Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente	M³	17,640.00	881.04	1,233.45	21,758,058.00
608 (2)	Mampostería (Cabezales)	M³	35.00	790.78	1,107.10	38,748.50
701 (19A)	Tubo de Concreto Reforzado de 24" Clase II	ML	245.00	979.83	1,371.76	336,081.20
701 (19B)	Tubo de Concreto Reforzado de 30" Clase II	ML	81.00	1,338.63	1,874.08	151,800.48
701 (27)	Lecho de Alcantarillas Clase "B"	M³	21.11	144.78	202.69	4,278.79
701 (28)	Relleno para Alcantarillas	M³	649.34	83.78	117.30	76,167.58
704 (5)	Subdrenes Tipo Francés de Concreto de 6"	ML	3,920.00	228.50	319.90	1,254,008.00
801 (8)	Señales de Transito Verticales de Acero	C/U	99.00	842.67	1,179.73	116,793.27
802 (1)	Marcas de Transito Reflectorizadas Discontinuas	ML	35,170.00	7.77	10.87	382,297.90
802 (2)	Marcas de Transito Reflectorizadas Continuas	ML	108,830.00	8.13	11.39	1,239,573.70
902 (1)	Guarda Vía de Viga "W" (Flex Beam)	ML	3,830.00	472.24	661.14	2,532,166.20
905 (1)	Bordillo Protector de Concreto de Cemento Portland	ML	1,067.00	38.52	53.93	57,543.31
913 (7)	Cunetas Revestidas de Suelo Cemento	M²	11,242.14	121.14	169.60	1,906,666.94
914 (4)	Postes Guías	C/U	364.00	252.77	353.88	128,812.32
914 (5)	Postes Kilómetros	C/U	2.00	265.49	371.68	743.36
923 (1)	Entradas a Calles y Propiedades	C/U	60.00	30,752.26	43,053.16	2,583,189.60
COSTO TOTAL (C \$)						75,492,076.46
IGV						11,323,811.47
Imp. Municipal						868,158.88
TOTAL CON IMP. (C \$)						87,684,046.81
COSTO TOTAL SIN IMP. (US \$)						5,807,082.80
TOTAL CON IMP. (US \$)						6,744,926.68

V. Costos de mantenimiento.

Los costos de mantenimiento para el Proyecto fueron calculados de acuerdo a lo detallado en Cap. VII, del Informe de Ingeniería, los mismos fueron divididos en aquellas actividades que deben ser realizadas anualmente, en forma continua, que pueden ser denominadas Mantenimiento Rutinario o Preventivo, y aquéllas que sólo deben ser realizadas periódicamente denominadas Mantenimiento Periódico.

Los ítems principales que requieren de mantenimiento rutinario o preventivo son los siguientes:

- Limpieza del Derecho de Vía.
- *Limpieza y Rectificación de Cunetas.*
- *Limpieza de Alcantarillas.*
- *Limpieza de Cajas.*
- *Postes Guías.*
- *Señales Verticales.*

Los ítems principales que requieren de mantenimiento periódico son los siguientes:

- Mantenimiento de Puentes.
- Limpieza de Cauces de Puentes.
- Bacheo Superficial.
- Bacheo Profundo.
- Tratamiento Superficial.
- Revestimiento Asfáltico.
- Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontínuas y Contínuas.

A continuación se detalla en los cuadros 8.7 y 8.8, la frecuencia con que se recomienda ejecutar las diferentes actividades del mantenimiento rutinario y periodico, y los costos anuales para las diferentes actividades antes descritas.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 7
COSTOS DEL MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIODICO

Carretera: SANTA RITA-IZAPA

TIPO	CONCEPTOS	UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA	COSTO UNITARIO EN US\$	CANTIDAD	COSTO TOTAL EN US\$
RUTINARIO	Limpieza del Derecho de Vía	Ha.	2 veces/año	275.82	36.00	19,859.04
	Limpieza de Cunetas	Km.	2 veces/año	79.60	25.20	4,011.84
	Limpieza de Alcantarillas	ml	2 veces/año	3.37	1,092.00	7,360.08
	Limpieza de Cajas	ml	2 veces/año	3.37	176.00	1,186.24
	Postes Guías	unidad	1 Poste c 7 Km/ Año	28.59	5.00	142.95
	Señal Vertical	unidad	1 Señal c 3 Km/año	90.75	12.00	1,089.00
PERIODICO	Mantenimiento de Puentes	Global	1 vez c/3 años	12,000.00	1.00	12,000.00
	Limpieza de Cauces y Puentes	m ³	1 vez c/3 años	7.91	650.00	5,141.50
	Bacheo:		Años			
	a) Superficial	m ³	2°, 4°, 6°	153.01	176.40	26,990.96
			8°, 10°	153.01	352.80	53,981.93
			12°, 14°, 16°	153.01	264.60	40,486.45
			18° y 20°	153.01	352.80	53,981.93
	b) Profundo	m ³	4°	54.69	17.64	964.73
			6° al 10°	54.69	26.46	1,447.10
			16°	54.69	17.64	964.73
			18° y 20°	54.69	26.46	1,447.10
	Tratamiento Superficial Bituminoso en Hombros	m ²	Años 10° y 16°	1.32	129,600.00	171,072.00
	Mezcla Asfáltica en Caliente Colocada con Pavimentadora e=0.02 m a _c =7 m; incluye riego de liga	m ³	Años 10° y 16°	135.62	5,040.00	683,524.80
Marcas de Tránsito Reflectorizadas Discontinuas	ml	Años 5°, 10° 16°	0.84	35,170.00	29,542.80	
Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	ml	Años 5°, 10° 16°	0.88	108,830.00	95,770.40	

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en
Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

Cuadro 8
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO

Carretera: SANTA RITA - IZAPA

AÑO	MANTENIMIENTO DE RUTINA	BACHEO SUPERFICIAL Y PROFUNDO	MESCLA ASFALTICA EN CALIENTE	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	PUESTOS MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE CAUCES	SEÑALIZACION HORIZONTAL	COSTO ANUAL EN US\$
1	33,649.15						33,649.15
2	33,649.15	26,990.96					60,640.11
3	33,649.15				17,141.50		50,790.65
4	33,649.15	27,955.69					61,604.84
5	33,649.15					125,313.20	158,962.35
6	33,649.15	28,438.06			17,141.50		79,228.71
7	33,649.15						33,649.15
8	33,649.15	53,981.93					87,631.08
9	33,649.15				17,141.50		50,790.65
10	33,649.15	55,429.03	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,068,988.18
11	33,649.15						33,649.15
12	33,649.15	40,486.45			17,141.50		91,277.10
13	33,649.15						33,649.15
14	33,649.15	40,486.45					74,135.60
15	33,649.15				17,141.50		50,790.65
16	33,649.15	41,451.18	683,524.80	171,072.00		125,313.20	1,055,010.33
17	33,649.15						33,649.15
18	33,649.15	55,429.03			17,141.50		106,219.68
19	33,649.15						33,649.15
20	33,649.15	55,429.03					89,078.18
INVERSION TOTAL EN MANTENIMIENTO							3,287,043.01

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

VI. Costos de Supervisión.

Los costos para la supervisión han sido estimados considerando un plazo de ejecución de la obra de 14 meses, mas un mes de preconstrucción y un mes de postconstrucción, dichos costos se detallan a continuación:

Cuadro 8.9 Costos de Supervisión.

CONCEPTO	SALARIO O COSTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO TOTAL C\$
Director	32,500.00	3.50	H-M	113,750.00
Conductor	2,200.00	3.50	H-M	7,700.00
Secretaria	3,000.00	3.50	H-M	10,500.00
Sub-total Salario Basico				131,950.00
Prest. Sociales (41.06 %)				54,178.67
SUB-TOTAL				186,128.67
Ing. Residente	19,500.00	16.00	H-M	312,000.00
Experto Impacto Ambiental	26,000.00	3.00	H-M	78,000.00
Topógrafo	4,000.00	15.00	H-M	60,000.00
Cadenero	2,000.00	15.00	H-M	30,000.00
Cadenero	2,000.00	15.00	H-M	30,000.00
Ayudante de Topografía	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Maestro de Obra (Puente)	4,000.00	8.00	H-M	32,000.00
Maestro de Obra (Camino)	4,000.00	14.00	H-M	56,000.00
Maestro de Obra (Drenaje Menor)	4,000.00	11.00	H-M	44,000.00
Contador	3,500.00	14.00	H-M	49,000.00
Conductor	2,200.00	15.00	H-M	33,000.00
Conductor	2,200.00	15.00	H-M	33,000.00
Dibujante-Calculista	3,000.00	15.00	H-M	45,000.00
Conserje	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Celador	1,200.00	15.00	H-M	18,000.00
Sub-total Salario Basico				856,000.00
Prest. Sociales (67.21%)				575,317.60
SUB-TOTAL				1,431,317.60
TOTAL SALARIOS DIRECTOS				987,950.00
TOTAL PREST. SOCIALES				629,496.27
GASTOS DIRECTOS				
Renta de Vehiculos	13,000.00	33.50	MES	435,500.00
Renta Equipo de Topografía	3,900.00	14.00	MES	54,600.00
Renta Equipo de Computación	1,000.00	14.00	MES	13,925.00
Renta Mobiliario y Equipo de Oficina	1,500.00	14.00	MES	21,000.00
Renta de Equipo de Radiocomunicaciones	1,500.00	14.00	MES	21,000.00
Alquiler de Oficinas y Camp.	3,000.00	14.00	MES	42,000.00
Materiales Varios	4,500.00	14.00	MES	63,000.00
Viaticos			GBL	833,625.00
Laboratorio	13,500.00	14.00	MES	189,000.00
Sub-total Gastos Directos				1,673,650.00
Gastos de Manejo				83,682.50
I. TOTAL SALARIOS + PS				1,617,446.27
II. GST. GRL. 60% (TOT.SAL. DIR.)				592,770.00
III. TOT. GAST. DIRECT.				1,757,332.50
IV. HONORARIOS (10% DE I)				161,744.73
V. COSTO TOTAL (I+II+III+IV)			C\$	4,129,292.49
VI. COSTO TOTAL (I+II+III+IV)			US \$	317,637.88

CONCLUSIONES.

- En la posición económica actual del país, Nicaragua necesita buscar nuevas tendencias de alternativas en la ejecución de los pavimentos existentes, de tal manera que proyecte su funcionalidad técnica así como su rentabilidad a lo largo de la vida útil de los mismos; considerando de que en Nicaragua han ocurrido una serie de fenómenos naturales tales como huracanes, deslaves y terremotos, se es necesario encontrar un pavimento que pueda resistir ante las severas condiciones ambientales y a su vez proporcionar confort a la sociedad partiendo que los pavimentos rígidos son capaces de soportar cargas extremas al igual que las intensas lluvias, una muestra de tal capacidad en su longevidad siendo que éstas pueden durar mucho más del tiempo estimado en su diseño garantizando así una mejor disposición de los mismos a diferencia de los pavimentos flexibles que debido a la actual demanda de petróleo (uno de los principales componentes en su diseño) y su frecuente necesidad de reparación motiva a los diseñadores a orientarse en la implementación de los pavimentos rígidos.
- En los últimos años ha mejorado mucho la técnica de los pavimentos de concreto con cuyo notable desarrollo en algunas regiones se han ido resolviendo los principales problemas. La mejora en ritmo y calidad conseguida en los procesos de ejecución, a base de una intensa mecanización, han permitido rebajar costes y ofrecer una buena superficie de rodadura al tráfico, con lo que cada día pueden competir ventajosamente con los pavimentos asfálticos.
- En los pavimentos de concreto hidráulico se requiere de menos estructuras de soporte porque usualmente se utiliza sólo una capa de base, lo que se traduce en ahorros significativos en costo de material, maquinaria y fletes, al eliminar la colocación de la sub.-base. Esta mínima diferencia en el costo de construcción ha venido a reducirse todavía más con los altos costos del petróleo.
- La vida útil del pavimento de concreto es mayor a los veinte años con mantenimiento muy mínimos. Ya que éstas utilizan sellos que deben cambiarse a los cuatro años, lo cual tiene un costo menor al uno por ciento del costo total de pavimento. A los ocho años es recomendable hacer una inspección de losas para mirar posibles daños lo cual es generalmente el uno por ciento del pavimento total, a comparación de los pavimentos flexibles que por lo general su mantenimiento es cada tres a seis meses.
- En el aspecto de seguridad, la textura de los pavimentos rígidos no permite el hidroplaneo, causa de los muchos accidentes en las vías asfaltadas en las cuales una película de agua puede provocar que los automóviles deslicen al tratar de frenar.

- Igualmente el color de los pavimentos rígidos permite que la luz se refleje dos o tres veces más que en los de asfalto, por lo que se pueden colocar postes de alumbrado público a mayor distancia para obtener la misma iluminación.
- Los pavimentos asfálticos presentan problemas de flexibilidad y de resistencia mecánica a la fatiga, provocada por la incesante repetición de las cargas, en la que juegan los efectos del aún no muy bien estimado fenómeno de la resiliencia, es fundamental para la vida del pavimento. La reducción en ésta, puede condicionar el empleo de los pavimentos en los tramos de tráfico pesado.
- El pavimento de concreto hidráulico posee un mejor drenaje superficial, ya que no se deforma ni encharca. De igual manera el pavimento rígido no contamina el medio ambiente a consideración de los pavimentos flexibles. La instalación de las juntas y sellos adecuados hacen al pavimento rígido una mejor opción en la capacidad soporte, impermeabilidad y adherencia de los vehículos a lo largo de su vida útil.
- El análisis de los datos obtenidos por proyectos ofrecerá valiosos resultados, entre ellos los de comparación de diversos tipos de pavimentos, estableciendo equivalencias en cuanto se refiere a resistencia mecánica y duración para iguales condiciones de tráfico y clima, de un firme asfáltico y otro de concreto. Partiendo de estas equivalencias y de las especiales circunstancias de terreno, materiales, equipos e instalaciones disponibles, etc., que concurren en cada caso, el proyectista podrá elegir a los pavimentos rígidos como la solución más económica.
- Las carreteras se diseñan dependiendo de la carga a la que estarán sometidas, cuántos vehículos pasarán, la frecuencia y el crecimiento así como la capacidad del suelo. Dependiendo de eso se hace el espesor del pavimento y su calidad.
- Una de las principales razones por las cuales se debe de tener en cuenta a la hora de ejecutar un proyecto es la planeación ya que de ella dependerá del tiempo en que durará un proyecto considerando de antemano su evaluación económica, basándose en lo anterior para el tramo Santa Rita – Izapa, se puede apreciar que en los pavimentos flexibles su duración fue de 12 meses, a su vez para los pavimentos rígidos se tuvo una duración de 18 meses; haciendo énfasis en dicha evaluación eso repercute a la hora de dicha elección y solución económica.
- Basándose en un documento de marzo del 2006 se hizo una comparación del Tramo Corinto – Chinandega – El viejo en concreto y asfalto, el cual reveló que la alternativa en concreto era cinco por ciento más costoso que la alternativa en asfalto, no obstante, en ese entonces el barril de petróleo tenía un precio de 63 dólares. Actualmente el barril de petróleo está valorado en 140 dólares (Julio 2008).

RECOMENDACIONES.

Recomendaciones Constructivas para Pavimentos Rígidos.

MOVIMIENTO DE TIERRAS.

1. La compactación debe ser realizada con estrictos controles de calidad a objeto de evitar asentamientos diferenciales que pueden afectar al pavimento.
2. Si bien el pavimento rígido transmite bajas presiones a los suelos de fundación, requiere de una plataforma uniforme y bien compactada.
3. Los trabajos en sectores a media ladera son críticos porque el pavimento descansa sobre dos distintos apoyos no uniformes.
4. El primero conformado por material cortado que ha tenido un largo proceso de consolidación y el segundo de relleno con unas características muy distintas y compactación realizada por equipos pequeños.
5. Si no se compacta adecuadamente el efecto en la losa podría manifestarse por medio de fisuras longitudinales a temprana edad.

PRODUCCIÓN DE MATERIAL DE SUBBASE.

1. La sub.-base es el resultado de la mezcla de este material granular con suelo fino en proporciones definidas. Se recomienda limitar el contenido de finos para evitar el bombeo de éstos, principal causa del deterioro de pavimentos rígidos.

CONFORMACIÓN DE SUBBASE GRANULAR.

1. Construcción de pavimento rígido ejecutado con pavimentadora deslizante carril por carril. En sectores que no se pueden hacer desvíos, la construcción carril por carril es la única alternativa.
2. La motoniveladora corrige defectos en las sub.-base ocasionados por el tránsito de los vehículos particulares que circulan simultáneamente por la zona de ejecución del pavimento.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE SUELO CEMENTO PARA SUBBASE.

1. En grandes volúmenes de suelo-cemento es indispensable la elaboración de la mezcla en una planta.
2. En lugares de alta temperatura es recomendable que las volquetas tengan la protección de carpas.

CONSTRUCCIÓN CON MOLDES FIJOS.

1. Para pavimentos urbanos por la presencia de bordillos, aceras, jardineras, cámaras de servicios, etc., la alternativa de construcción con moldes fijos es la más adecuada.
2. Lo recomendable es utilizar moldes metálicos, los de madera tienen un uso limitado (2 o 3 veces) y luego deben descartarse por las deformaciones que presentan.
3. El procedimiento de colocado de concreto con moldes fijos utiliza más mano de obra, generando fuentes de trabajo (se necesitan alrededor de 20 personas por grupo de trabajo).

4. Una regla vibratoria puede producir en ocho horas de trabajo entre 100 y 150 ml (para un ancho de 8.0 m – dos carriles).
5. Una vez vertido el concreto sobre la subbase se precisa de obreros para distribuir el concreto, accionar la regla vibratoria, proceder al alisado superficial, el texturizado, curado y protección con carpas o mantas (según el caso de calor o frío).
6. En la unión de la losa con el bordillo (si éste ya está construido), se puede colocar un molde metálico provisional para vaciar el espesor proyectado.
7. Una vez compactado y alisado el concreto este molde se retira y se rellena el espacio con concreto adicional que debe ser consolidado y nivelado adecuadamente.
8. Otra alternativa puede ser la construcción previa de cunetas, el inconveniente de las cunetas es que se forma adicionalmente otra junta longitudinal.
9. La construcción con moldes también es una alternativa en carreteras, el inconveniente se refleja en bajos rendimientos comparando con el de la pavimentadora deslizante.
10. La regularidad superficial que se puede alcanzar con regla es inferior a la pavimentadora deslizante.
11. La consistencia del concreto para moldes fijos debe estar entre 4 +/- 1 cm.
12. Esta consistencia permite un movimiento suave de la regla vibratoria y facilita el alisado y terminado.
13. Debe evitarse el uso intensivo de frotachos metálicos manuales luego de que ha pasado la regla vibratoria.
14. La entrega con camiones mezcladores (mixers) permite una entrega uniforme al pie de la regla vibratoria (ya debería ser necesaria la distribución adicional con palas).
15. Las juntas constructivas formadas entre el final de un día y el inicio del siguiente deben ejecutarse con mucho cuidado.
16. Es una buena práctica el verificar antes del vaciado el espesor de la losa por medio del arrastre de un perfil metálico a lo largo del sector preparado.
17. Para la fabricación de los moldes metálicos se debe considerar una base de soporte del molde de dimensiones similares al alto.
18. Estos moldes han sido elaborados a partir de plancha metálica de 1/8” de espesor.
19. La regla vibratoria se mueve en el sentido horizontal por efecto de los malacates (palanca y polea para enroscar el cable), éstos van enroscando el cable previamente anclado por la parte anterior a la regla.
20. Es importante proporcionar concreto en una magnitud tal que a la regla no se le dificulte el movimiento hacia adelante y ésta pueda vibrar y alisar el concreto.
21. Las reglas no deben ser rígidas sino más bien flexibles para que el efecto del eje excéntrico permita transmitir vibración sobre la superficie de la losa.
22. Por medio del uso de palas se va sacando el concreto en exceso o en caso contrario proporcionando el material necesario de tal modo que no se forme oquedades.
23. Los moldes deben ser de acero con una base que le permita estabilidad y le de la suficiente rigidez para soportar el empuje del concreto y el propio peso de la regla vibratoria.
24. Para que no se muevan durante el proceso de vaciado se los fija por medio de estacas a la sub.-base.

25. Para facilitar el proceso de terminado con regla vibratoria se recomienda compactar el concreto con mínimo dos vibradores externos por la parte anterior.
26. Los dos tubos de sección cuadrada que poseen las reglas se encargan de: el anterior, de arrastrar el concreto en exceso y, el posterior, de realizar el alisado de la superficie de la losa.
27. El accionamiento del eje excéntrico es realizado por un motor a gasolina y en otros modelos éste acciona también a malacates hidráulicos. El eje tiene una masa colocada excéntricamente que al girar produce el efecto de vibración.
28. Se coloca una lámina metálica para facilitar el movimiento de la regla sobre la superficie terminada de la losa del primer carril.
29. Cuando se entrega concreto con consistencia entre 1 y 3 cm, no se tienen buenos resultados con el alisado de la regla vibratoria.
30. Es evidente que para llegar a la resistencia a flexión usualmente especificada de 4.5 MPa (equivalente a por lo menos 33 MPa a compresión) se busca tener la menor relación agua/cemento posible, aspecto que influye en la trabajabilidad.
31. Se recomienda entonces la utilización de un plastificante reductor de agua que tienen la principal virtud de lograr una buena trabajabilidad con relación agua/cemento baja (0.48 por ejemplo).
32. Al mismo tiempo se logran altas resistencias en el concreto tanto a flexión como a compresión.

PAVIMENTADORA DESLIZANTE.

1. La pavimentadora deslizante es un equipo que permite el colocado y consolidado del concreto sobre plataforma sin la necesidad de moldes.
2. Esto se logra gracias al efecto de extrusión donde la consistencia del concreto, la vibración, la velocidad, peso del equipo y el efecto de los moldes deslizantes dan la forma final a la losa haciendo que luego de que el equipo ha pasado, los bordes no se caigan.
3. La consistencia debe estar comprendida con un valor de 3 +/- 1 cm, la vibración es de alta frecuencia (superior a 8000 rpm), la velocidad entre 0.9 y 1.5 m/min, el peso del equipo debe ser tal que el concreto no lo levante y el bastidor debe estar preparado para el ancho a vaciarse.
4. Para altos rendimientos de la pavimentadora deslizante (más de 700 m día) en ancho completo (dos carriles), debe programarse la suficiente cantidad de concreto para que la pavimentadora no se detenga en ningún momento.
5. Sucesivas interrupciones de la pavimentadora por falta de concreto inciden en la suavidad de conducción.
6. Para 8 metros de ancho, espesor 0.22 m de losa y avance a 0.9 m/min se necesita una mínima provisión de 100 m³/hora de concreto.
7. Este volumen llevado a volquetas de 12 m³ (efectivamente transportan 10 m³) significa que en una hora por lo menos lleguen a obra 10 volquetas (1 volqueta cada 6 minutos)
8. El volumen de concreto dejado al pie de la pavimentadora por las volquetas es necesario de ser distribuido por medio de una retroexcavadora.

9. Por medio del cucharón y gracias al brazo largo que una retroexcavadora posee esto se puede hacer sin interrumpir el avance de la pavimentadora.
10. Cuando se trabaja sobre una subbase imprimada lo recomendable es disponer de retroexcavadora con llantas de goma. Las de oruga dañan la imprimación.
11. Un mixer de 8 m^3 (con un hormigón de asentamiento 4 cm) tarda aproximadamente 8 minutos en descargar la mezcla equivalente a $1 \text{ m}^3/\text{min}$.
12. Para un ancho de carril de 4 m, espesor de losa de 0.23 m y avance de 1.0 m/min se precisa una provisión de $0.90 \text{ m}^3/\text{min}$ mínimo.
13. Pero por las operaciones de entrada y salida de los mixers se pierden por lo menos tres minutos, aspecto que hace que la pavimentadora interrumpa el colocado por falta de hormigón.
14. En cada uno de los lados de la pavimentadora debe disponerse de personal (orilleros) que controle permanentemente el alineamiento del equipo con relación a la cuerda guía.
15. Esto es de especial cuidado en sectores en curva porque las orugas del lado interno deben reducir su velocidad de avance en relación a las del lado externo.
16. El éxito consiste en mantener todo el tiempo la perpendicularidad entre la pavimentadora y el eje del camino.
17. Para que las orugas puedan circular se dispone de un espacio de por lo menos 1.0 m entre el final del pavimento (borde la losa) y la cuerda guía.
18. Entonces la cuerda guía debe estar emplazada considerando este espacio, se dispone de un sensor de elevación por oruga (para cuatro orugas – cuatro sensores), para el dato del espesor de la losa.
19. Para el alineamiento se dispone solamente de dos sensores los que se colocan en las dos orugas de un solo lado.
20. En la construcción carril por carril, cuando se ejecuta el segundo montando las orugas sobre el primero, se dispone de este tipo de sensores para proporcionar el nivel de la losa hacia el borde en construcción.
21. Con el colocado manual de barras pasajuntas sobre canastillo, la labor se efectúa por adelantado y procurando que no se interrumpa el movimiento de la pavimentadora.
22. En climas de alta temperatura este método tiene el inconveniente de que se deja mucho tiempo el concreto expuesto a los efectos del sol.
23. Generalmente cuando la mezcla de concreto tiene la consistencia adecuada y la velocidad y vibración son las debidas, no es necesaria la utilización de frotachos manuales.
24. Si su uso se vuelve en algún caso necesario, deberá tener un peso tal que al desplazarse no deforme la superficie terminada del pavimento, un brazo suficiente para poderlo trasladar según su ancho y un largo en la hoja de alisado de por lo menos 2.00 m.
25. Seguramente se logrará sellar la superficie pero con detrimento de la suavidad de conducción, las irregularidades inducidas afectarán la rugosidad del pavimento.
26. Los frotachos deben ser metálicos (de aluminio o magnesio) y no de madera porque estos últimos tienen la tendencia a torcerse por el uso.

TEXTURIZADO Y CURADO.

1. El texturizado de la superficie de la losa se realiza con fines de proporcionar seguridad de conducción a la superficie de rodadura del pavimento.
2. Luego de colocado, consolidado y texturizado el concreto, la losa queda expuesta a los efectos medioambientales.
3. La losa al tener una superficie plana de grandes dimensiones debe ser protegida mediante un curado adecuado, se recomienda colocar una membrana de curado para evitar la evaporación del agua necesaria para la ganancia de resistencia y para que el gel de cemento reaccione con ésta.
4. El texturizado se debe aplicar en el momento en el que el agua superficial ha desaparecido (brillo de la superficie de la losa).
5. Si se aplica antes las hendiduras pueden llegar a ser más profundas de lo permitido, éstas deben estar en 0.5 y 1 mm, no más.
6. El proceso de texturizado debe ser continuo y de manera tal que no se formen “rebarbas” superficiales.
7. El cepillo debe limpiarse de restos de concreto luego de cada pasada.
8. Inmediatamente después se aplica la membrana de curado cubriendo toda la superficie de la losa incluido los bordes laterales.
9. Los puentes de servicio son muy útiles para facilitar el trabajo puesto que permiten que el trabajo se realice con mayor uniformidad.
10. Se reitera que la penetración de las cerdas metálicas en el concreto fresco debe estar comprendido entre 0.5 y 1 mm.
11. Las hendiduras facilitan la salida del agua en el caso de lluvia y mejoran la interacción rueda-pavimento.
12. De la misma manera son favorables para evitar el hidropneumático de los vehículos durante la lluvia sobre el pavimento.
13. La tasa para el tipo de material de curado (en este caso de base parafínica) debe estar comprendida entre 0.2 y 0.30 lt/m².
14. En sectores en curva deben tomarse precauciones para evitar que se superpongan las hendiduras realizadas en el concreto.
15. Para una determinada tasa de membrana de curado debe programarse la velocidad de avance del equipo y la magnitud de apertura de las salidas del material colocado.
16. Una alternativa al cepillo texturizador de cerdas metálicas lo constituye el cepillo de cerdas plásticas.
17. Esta es una alternativa a considerarse en los proyectos de carreteras y vías urbanas con la principal ventaja de que las hendiduras no llegan a ser tan profundas como las que puede llegarse a materializar con la anterior alternativa.
18. En zonas descubiertas donde la temperatura es alta y el viento y la humedad tienen un efecto de desecar muy rápidamente el agua superficial de la losa, es necesario colocar carpas para aminorar este efecto.
19. A los pocos minutos de aplicada la membrana de curado se arrastran las carpas hacia la parte recién vaciada levantándolas por sectores. Se acopian en primera instancia unas sobre otras para luego levantarlas entre 8 y diez personas hacia el lugar deseado,

se ha comprobado que esta faena colabora en la no disecación violenta del agua superficial aminorando la presencia de fisuras por retracción y secado.

20. El tiempo en el que las carpas permanecen sobre la losa llega como máximo a seis horas, siendo lo común cuatro. Se debe cuidar de no dañar la textura.
21. En zonas como las del altiplano donde la temperatura del ambiente durante la noche puede llegar a los -10°C es necesario la colocación de una manta de curado.
22. La manta (similar a una frazada) se va acopiando sobre un sector ya vaciado para luego ser colocada sobre el concreto una vez que esta haya empezado a fraguar y tenga suficiente resistencia de tal modo que no se deforme por el peso.
23. Para evitar que se pegue el material de la manta a la losa todavía fresca, se coloca un plástico en la parte inferior.
24. Las mantas deben tener un ancho similar al espaciamiento de las juntas transversales más un traslape para evitar que el frío penetre en la unión con las vecinas.
25. Este ancho permitirá realizar los cortes destapando la mínima superficie posible.

CONSTRUCCIÓN DE SOBREANCHOS.

1. En la construcción de pavimentos rígidos en carreteras la materialización de los sobreanchos en curvas se dificulta debido a que estos equipos no disponen de dispositivos para realizar ancho variable de losa.
2. En la construcción carril por carril después de materializado el primero, se puede correr la pavimentadora hacia el extremo opuesto y simultáneamente al paso del equipo, se realiza el rellenado con concreto del sector faltante, de tal manera de que con la ayuda de una vibradora se obtiene un hormigón homogéneo al vaciado.
3. Luego se corrigen las irregularidades con frotachos metálicos y herramientas menores, las que logran que en la superficie no se note ninguna diferencia entre los dos momentos del vaciado.
4. Este sistema funciona para sobreanchos de hasta 1.20 m.
5. Para valores de sobreanchos mayores a los 1.20 m se recomienda materializar el sobreancho hacia la parte central del pavimento en coincidencia con la junta longitudinal (en realidad con su materialización se crean dos juntas longitudinales).
6. Para relaciones de losas mayores a 2 (largo/ancho) debe colocarse malla electrosoldada para reforzar la losa.

BORDILLO LATERAL.

1. Muy útil en sectores urbanos donde el límite del pavimento se constituirá a lo largo en el nacimiento de la acera de propiedades vecinas.
2. Este sistema trabaja muy bien para la conducción de agua por los laterales del pavimento sin que la infiltración cause problemas en el material de soporte de la losa.

CÁMARA DE INSPECCIÓN.

1. Forma de materialización de las tapas de las cámaras para alcantarillado pluvial y sanitario.
2. Es recomendable colocar alrededor a modo de collarín armadura para reforzar el anillo contiguo a la tapa.

3. Una vez vaciado el concreto se retira el encofrado metálico para luego materializar la tapa de la cámara de inspección.

MEDICIÓN DE ANCHO DE FISURAS.

1. Es recomendable disponer de un medidor de fisuras para poder comparar entre juntas transversales los valores que se van presentando.
2. Éste debe tener un rango de medición entre 0.20 y 2 mm.

ACERO – BARRA PASAJUNTAS.

1. Las barras pasajuntas pueden ser colocadas en la junta transversal por medio de canastillos o insertadas dentro de la losa por medio de insertadotes provistos en la pavimentadora deslizante.
2. Para proyectos grandes se recomienda disponer de equipos para el cortado de éstas de las barras originales de 12 m en piezas de 45 cm o en su caso pedir que el proveedor las entregue cortadas.
3. Una vez cortadas las barras pasajuntas se disponen en estos estantes para su posterior pintado.
4. Se debe colocar dos capas de pintura anticorrosiva epóxica.
5. Cuando se utiliza el insertador automático de barras (DBI) es necesario la colocación de una mano de pintura parafínica para evitar la adherencia entre la barra pasajunta y el concreto.
6. En este último caso ya no puede usarse aceite sucio o grasa.
7. Cuando éstas van dispuestas sobre canastillos el antiadherente puede ser aceite sucio o una película fina de grasa.

CORTADO DE JUNTAS – TIEMPO DE CORTE.

1. Para un vaciado realizado durante el día, dependiendo del rendimiento, generalmente se precisa realizar el cortado de juntas por las noches.
2. El tiempo para el cortado de juntas desde el momento de colocado el concreto varía entre 4 a 7 horas.
3. Esto depende del tipo de cemento, la temperatura ambiente y la propia humedad del lugar de construcción.
4. En climas fríos la baja temperatura tiende a retardar el fraguado del concreto por lo que el corte se puede realizar en mayor tiempo
5. Lo contrario sucede en climas calurosos donde el calor acelera el fraguado del concreto y por lo tanto el cortado se debe realizar más rápido.

SELLADO DE JUNTAS – BAKER ROD (TIRA DE RESPALDO).

1. Colocación de la tira de respaldo (baker rod) en junta longitudinal.
2. La profundidad de ubicación de la tira de respaldo debe estar de acuerdo al tipo de sellante.
3. Mayores profundidades para sellos de asfalto y menores para silicona o poliuretano.

SELLADO DE JUNTAS – CON SELLO ASFALTICO.

1. En el colocado del sellante se recomienda colocar arena a los lados de la junta para que el asfalto sobrante no manche a la superficie de la losa.
2. El ancho de junta para este caso es de 10 mm.
3. La profundidad del sello es de 20 mm.
4. La tira de respaldo (el eje de ésta) ha sido colocado a 30 mm de profundidad.
5. Es preferible usar sellos con materiales especialmente formulados para este fin, como por ejemplo asfaltos con polímeros.

CONTROL DE CALIDAD – CILINDROS Y VIGAS.

1. Obtención de muestras para ensayos a la compresión (cilindros) y tracción por flexión (vigas).
2. Cada 40 o 50 m³ vaciados se instruye obtener cuatro cilindros y cuatro vigas.
3. Se recomienda ensayar por parejas a los 7 y 28 días.
4. Para un adecuado control de calidad de las muestras obtenidas se debe etiquetar cada uno de los elementos con los datos de progresiva, fecha y numeración.
5. Las muestras deben ser curadas en obra durante el primer o segundo día, luego transportadas a laboratorio para continuar el curado según lo indicado en ASTM C-31

CONTROL DE CALIDAD – ASENTAMIENTO.

1. Por cada volumen de concreto que llega a obra (según el medio de transporte utilizado), debe controlarse la consistencia del concreto por medio del ensayo de asentamiento en el cono de Abrams.
2. El asentamiento al pie de la pavimentadora deslizante debe estar comprendido entre los 3 +/- 1 cm.
3. Para la pavimentación con moldes fijos este asentamiento debe estar entre los 4 +/- 1 cm.
4. Se debe realizar este mismo control a la salida del concreto de la planta de producción, o sea antes de que se realice el transporte.
5. El asentamiento en este caso debe ser tal que luego del transporte se entregue en obra los valores antes indicados.

CONTROL DE CALIDAD – PRENSA ENSAYO.

1. De acuerdo a norma ASTM C78 la velocidad de aplicación de la carga para flexión debe ser aplicada rápidamente hasta alcanzar el 50% de la carga de rotura, luego se aplica la carga a una tasa entre 0.86 y 1.20 MPa/min, lo que equivale que el ensayo a 28 días se debe hacer en 3 minutos aproximadamente.
2. De acuerdo a norma ASTM C39 la velocidad de aplicación de la carga para compresión debe estar entre 0.14 y 0.34 Mpa/s lo que equivale que el ensayo a 28 días se debe hacer en 2.5 minutos aproximadamente.

CONTROL DE CALIDAD – MEDICIÓN HUMEDAD LOSA.

1. Se ocupa un instrumento que registra la humedad del concreto, éste es muy útil en lugares lluviosos para conocer la humedad de la losa antes de la aplicación del sellante.
2. Humedades mayores al 4% perjudican en la adherencia del sellante y las paredes laterales de la junta.

Recomendaciones Constructivas para Pavimentos Flexibles.

1. Durante la construcción, se debe lograr mezclas homogénea para obtener la humedad de compactación requerido, lo mismo cuando se trata de mezclar dos materiales en seco, uno granular y el otro cementante, que es el caso de las cunetas y bordillos de una carretera.
2. Se deberá llevar un estricto control de calidad de los materiales a utilizar, así como el control de compactación al momento de su colocación.
3. Realizar las pruebas de suelo necesarias para sustentar el diseño de espesor de pavimento.
4. Cumplir con las especificaciones técnicas de construcción presentadas en el NIC 2000.
5. Debe tenerse especial cuidado en la selección del sub.-contratista que debe reunir condiciones de capacidad y responsabilidad en el trabajo.
6. Se debe asignar un Ingeniero Supervisor para el trabajo topográfico y éste debe conocer todo el alineamiento del diseño planteado, en esta forma se evitan diversos problemas, que son muy comunes tales como cuando se toman puntos erróneos que no corresponden al alineamiento, desconocimiento de puntos de referencia.
7. Llevar a cabo un estudio de impacto ambiental más profundo incluyendo la identificación, cuantificación y mitigación del impacto ambiental, contratando un especialista con conocimientos y experiencia a nivel de especialización comprobada en ciencias relacionadas al impacto ambiental de proyectos de pavimentación de carreteras.
8. Se recomienda trabajar en tramos muy cortos de pavimento o por secciones para la obtención de una mejor calidad en lo que respecta a materiales y ejecución. Ya que cuando los proyectos diseñados son mayores la posibilidad de presentar fallas descende su nivel final en el diseño.

9. Se debe de tener en cuenta el drenaje de la carretera aprovechando las vaguadas o secciones más bajas del terreno, así como la colocación de alcantarillas para evitar la acumulación de agua en la capa superior del pavimento que origina la socavación por capas del terreno.

Recomendaciones en el Diseño de los pavimentos.

- Se debe de tener en cuenta el diseño de las juntas, ya que estos son el talón de Aquiles de los pavimentos de concreto, su construcción controla los cambios de volumen, inevitables, que se producen en ellos por cambios temperatura. Los pavimentos de refuerzo continuo y los pres forzados, se diseñan y construyen sin juntas transversales de contracción y expansión excepto al llegar a un cruce o a una estructura fija. Sólo se construyen juntas de construcción. Estos pavimentos son muy y de tecnología muy avanzada.
- Técnicamente, los pavimentos de concreto deben diseñarse y controlarse para una resistencia a la flexión del concreto usado. Se han obtenido en nuestro país algunas correlaciones entre las resistencias a la compresión y la resistencia a la flexión.
- Como se puede apreciar, comparar ambas alternativas únicamente a costo de inversión inicial no es lo más apropiado, motivo por el cual, en los términos de referencia a la licitación, se debió haber considerado para efectos de calificación una ponderación entre asfalto y concreto por razones de durabilidad, o bien, el costo de la sobre carpeta que requeriría el pavimento flexible.
- Se debe de prevenir el agrietamiento prematuro, protegiendo la capa asfáltica por medio de un sello asfáltico incorporado durante la construcción o por medio de las actividades de mantenimiento oportuno de la capa asfáltica.
- Conviene analizar las experiencias de otros países, en cuanto a desempeño en servicio y costos adicionales de construir capas asfáltica utilizando asfaltos modificados, que sean menos susceptibles a los esfuerzos inducidos por los gradientes temperatura que sufren los pavimentos.
- Las carreteras se diseñan dependiendo de la carga a la que estarán sometidas, cuántos vehículos pasarán, la frecuencia y el crecimiento así como la capacidad del suelo. Dependiendo de eso se hace el espesor del pavimento y su calidad.
- Se debe de tener cuidado con el mantenimiento que se les da a los pavimentos para evitar costos innecesarios de los mismos que no afecten a la inversión total del proyecto.

- Para el diseño de los pavimentos se deben de tener en cuenta los estudios previos que se les realiza como son el CBR, la clasificación de los suelos, la capacidad soporte de los suelos, la precipitaciones y estratigrafía de los suelos comunes en Nicaragua, como la zona Norte que pudiese ser el pavimento flexible o la zona Atlántica que puede ser de pavimento rígido.
- El drenaje debe de poseer una mano de obra calificada para poder ofrecer un mejor escurrimiento de las aguas y el abatimiento del nivel freático.
- La implementación de los pavimentos rígidos están en base a la carga vehicular , considerándose esta de nivel medio y alto, ejemplo de ello es su uso en autopistas, aeropuertos, etc., a diferencia del pavimento flexible que es usado para un nivel medio como vías principales, centros industriales, etc.
- Se recomienda el uso mínimo de los equipos para evitar el consumo excesivo del combustible, y así dañar el medio ambiente.
- La afectación de la tasa de inflación en este tipo de estudios aún no ha sido analizado en el medio, por lo que se considera una probable ampliación de este tema el incorporar esta variable para determinar cómo puede estar afectado el país bajo este flagelo.
- El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) debe de profundizar los estudios referidos a la evaluación del IRI en las carreteras de concreto para distribuir en un futuro cercano a la determinación de un modelo de deterioro propio para este tipo de pavimento.
- En futuros proyectos, debe realizarse el debido estudio en los costos de conservación y de operación de transporte. Esto puede arrojar resultados para una buena toma de decisiones. En cada caso, debe realizarse un análisis particular que permita tomar en cuenta la disponibilidad del material, así como el precio del petróleo. Para cada caso, puede resultar más conveniente uno u otro.

Bibliografía.

- AASHTO, Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, 1,993, pág. 30-60.
- American Concrete Institute a Selection of Historic American Papers on Concrete, 1,976, pág. 45-70.
- Bolzan Pablo: "Pavimentos Perpetuos, Conceptos y Aplicaciones", Argentina.
- Bonifica: "Informe sobre diseño del pavimento", Carretera Santa Rosa – Muhan. Nicaragua, 2000, pág. 30-50.
- Cisconco Ingenieros Consultores: “Informe Final de Diseño”, Carretera Nejapa - Izapa, Nicaragua, 1989, pág. 60-70.
- Coronado Iturbide, Jorge, Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA Dictamen Regional, 2,001 pág. 140-248.
- ICPC: " Construcción de Pavimentos de Adoquines de Concreto", Colombia, 1999.
- Instituto del Asfalto, Guía para el diseño de Espesores, (MS-1), 1,991.
- Instituto Mexicano del Transporte: "Algunos Aspectos Comparativos entre Pavimentos Flexibles y Rígidos", México, 1998.
- Londoño, Cipriano “Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de concreto”, 2,001, pág. 40-60.
- Louis Berger: " Informe Final de Diseño", Carretera Santa Rita – Izapa, Nicaragua, 2001, pág. 4-62.
- Ministerio de la Construcción "Red Vial Pavimentada de Nicaragua" Nicaragua, 1979, pág. 15.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura: " Plan Nacional de Transporte, Nicaragua, 2000, pág. 20-30.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura: "Ofertas Económicas para la Construcción de la Carretera Chinandega – Guasaule. Alternativas de Pavimento Flexible y Rígido. Nicaragua, 2003.

Comparación Técnico – Económica entre Pavimentos Rígidos y Flexibles en Nicaragua, tomando como muestra el tramo de carretera Santa Rita – Izapa.

- MYS Internacional, S.A.: " Actualización del Diseño de Pavimento: " Proyecto Nejapa – Apopa – Troncal Norte. El Salvador, 2002.
- Rico. P. Alfonso: " La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", México, 1982.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, 2,001, pág. 70-100.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, 2,001, pág. 10-15.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2,001, pág. 35-50.
- SIECA: " Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos", Guatemala, 2002, pág. 80-120.
- Urbaz P. Ernesto: " Diseño de Pavimentos II", Venezuela.

ANEXOS I (Capítulo II)

Tabla 2.1

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips) ^a	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.58	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Tabla 2.2

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.336	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Tabla 2.3

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.685	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Tabla 2.4

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.368	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	38.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	48.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.	102	79.	60.	53.	55.

Tabla 2.5

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2,5

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.070	0.057	0.047	0.043
18	0.070	0.097	0.109	0.092	0.077	0.070
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.110
22	0.160	0.198	0.229	0.207	0.180	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.260	0.242
26	0.327	0.370	0.420	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.899	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.06
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.8	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	26.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.8	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

Tabla 2.6

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt = 2,5

Carga por eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.010	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.010
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.060	0.048	0.040	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.080	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.170	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.220	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.668	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.08	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

Tabla 2.7

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 3,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0008	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.008	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.030	0.028	0.018	0.012	0.010
8	0.035	0.070	0.080	0.055	0.040	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.296	0.260	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.695	0.693	0.651	0.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.60	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.89	2.39	2.60	2.98
26	5.29	4.72	3.85	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5.00
30	10.2	8.9	6.5	5.0	5.1	6.3
32	13.8	12.0	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14.0	9.7	9.1	11.0
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11.0	13.0
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34.0	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110.	94.	61.	37.	30.	32.

Tabla 2.8

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.006	0.011	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.020	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.066	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.090	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.260	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.360
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.870	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.10	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.70
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.50
44	3.39	3.15	2.70	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.50
48	5.04	4.58	3.70	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.70
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.10
56	10.2	9.0	6.7	5.4	5.7	6.9
58	12.0	10.6	7.7	6.1	6.4	7.7
60	14.1	12.3	8.9	6.8	7.1	9.8
62	16.3	14.2	10.2	7.7	7.8	9.5
64	18.9	16.4	11.6	8.6	8.6	10.5
66	21.8	18.9	13.2	9.6	9.5	11.6
68	25.1	21.7	15.0	10.7	10.5	12.7
70	28.7	24.7	17.0	12.0	11.5	13.9
72	32.7	28.1	19.2	13.3	12.6	15.2
74	37.2	31.9	21.6	14.8	13.8	16.5
76	42.1	36.0	24.3	16.4	15.1	17.9
78	47.5	40.6	27.3	18.2	16.5	19.4
80	53.4	45.7	30.5	20.1	18.0	21.0
82	60.0	51.2	34.0	22.2	19.6	22.7
84	67.1	57.2	37.9	24.6	21.3	24.5
86	74.9	63.8	42.1	27.1	23.2	26.4
88	83.4	71.0	46.7	29.8	25.2	28.4
90	92.7	78.8	51.7	32.7	27.4	30.5

Tabla 2.9

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt = 3,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.010	0.008	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.008
16	0.016	0.035	0.030	0.018	0.013	0.010
18	0.022	0.050	0.047	0.029	0.020	0.017
20	0.031	0.069	0.069	0.044	0.031	0.028
22	0.043	0.090	0.097	0.065	0.048	0.039
24	0.059	0.118	0.132	0.092	0.068	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.128	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.285	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.350	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.310
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.550	0.643	0.775	0.740	0.649	0.593
44	0.673	0.760	0.889	0.865	0.777	0.720
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.920	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.080	1.030
50	1.18	1.23	1.30	1.31	1.26	1.22
52	1.40	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.20
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.50
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.25	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.60	4.00
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.40
76	7.78	6.98	5.47	4.70	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11.0	9.8	7.4	6.0	6.4	7.7
84	12.3	10.9	8.1	6.5	6.9	8.3
86	13.7	12.1	8.9	7.0	7.4	9.0
88	15.3	13.4	9.8	7.6	8.0	9.6
90	16.9	14.8	10.7	8.2	8.5	10.4

Tabla 2.10

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.56	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.46	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.86	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Tabla 2.11

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0008	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.210	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.319	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.449	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439	0.439
26	0.629	0.626	0.622	0.620	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
28	0.852	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849	0.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131	134.	137.	141.

Tabla 2.12

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,0$

Carga ejeje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.270	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.261
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.600	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.76	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

Tabla 2.13

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
16	0.634	0.623	0.610	0.604	0.601	0.599	0.599	0.599	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
34	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
36	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
38	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

Tabla 2.14

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt = 2,5

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.031	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.057	0.052	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
18	0.155	0.143	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.234	0.220	0.211	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.340	0.325	0.313	0.308	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303
24	0.475	0.462	0.450	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439
26	0.644	0.637	0.627	0.622	0.620	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.855	0.854	0.852	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.80	2.91	3.03	3.12	3.16	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96
44	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01	6.06	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.38	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.86	8.92
50	9.11	8.50	8.55	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.6	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.5	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.8	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.8	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.6	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	58.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.6	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	69.0	72.3
80	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
82	82.0	73.9	70.2	69.6	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
84	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	93.0	98.1
86	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
88	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	119.
90	125.	112.	106.	105.	106.	110.	115.	123.	130.

Tabla 2.15

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.020	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.053	0.048	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.080	0.073	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.116	0.107	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.163	0.151	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138
26	0.222	0.209	0.200	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192
28	0.295	0.281	0.271	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262
30	0.384	0.371	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349
32	0.490	0.480	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458
34	0.616	0.609	0.601	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592
36	0.765	0.762	0.759	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.939	0.941	0.946	0.948	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.38	1.38	1.41	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.65	1.65	1.70	1.74	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
46	1.97	1.98	2.03	2.09	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16
48	2.34	2.31	2.40	2.49	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60
50	2.76	2.71	2.81	2.94	3.02	3.07	3.09	3.10	3.11
52	3.24	3.15	3.27	3.44	3.56	3.62	3.66	3.68	3.68
54	3.79	3.66	3.79	4.00	4.16	4.26	4.30	4.33	4.34
56	4.41	4.23	4.37	4.63	4.84	4.97	5.03	5.07	5.09
58	5.12	4.87	5.00	5.32	5.59	5.76	5.85	5.90	5.93
60	5.91	5.59	5.71	6.08	6.42	6.64	6.77	6.84	6.87
62	6.80	6.39	6.50	6.91	7.33	7.62	7.79	7.88	7.93
64	7.79	7.29	7.37	7.82	8.33	8.70	8.92	9.04	9.11
66	8.90	8.28	8.33	8.83	9.42	9.88	10.17	10.33	10.42
68	10.1	9.4	9.4	9.9	10.6	11.2	11.5	11.7	11.9
70	11.5	10.6	10.6	11.1	11.9	12.6	13.0	13.3	13.5
72	13.0	12.0	11.8	12.4	13.3	14.1	14.7	15.0	15.2
74	14.6	13.5	13.2	13.8	14.8	15.8	16.5	16.9	17.1
76	16.5	15.1	14.8	15.4	16.5	17.6	18.4	18.9	19.2
78	18.5	16.9	16.5	17.1	18.2	19.5	20.5	21.1	21.5
80	20.6	18.8	18.3	18.9	20.2	21.6	22.7	23.5	24.0
82	23.0	21.0	20.3	20.9	22.2	23.8	25.2	26.1	26.7
84	25.6	23.3	22.5	23.1	24.5	26.2	27.8	28.9	29.6
86	28.4	25.8	24.9	25.4	26.9	28.8	30.5	31.9	32.8
88	31.5	28.6	27.5	27.9	29.4	31.5	33.5	35.1	36.1
90	34.8	31.5	30.7	30.7	32.2	34.4	36.7	38.5	39.8

Tabla 2.16

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.045	0.038	0.034	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
12	0.228	0.202	0.186	0.179	0.176	0.174	0.174	0.174	0.173
14	0.408	0.378	0.355	0.344	0.340	0.337	0.337	0.337	0.337
16	0.680	0.640	0.619	0.608	0.603	0.600	0.599	0.599	0.599
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.46	1.47	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
22	2.07	2.06	2.18	2.29	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41
24	2.90	2.81	3.00	3.23	3.38	3.47	3.51	2.53	3.54
26	4.00	3.77	4.01	4.40	4.70	4.87	4.96	5.01	5.04
28	5.43	4.99	5.23	5.80	6.31	6.65	6.83	6.93	6.98
30	7.27	6.53	6.72	7.46	8.25	8.83	9.17	9.36	9.46
32	9.59	8.47	8.53	9.42	10.54	11.44	12.03	12.37	12.56
34	12.5	10.9	10.7	11.7	13.2	14.5	15.5	16.0	16.4
36	16.0	13.8	13.4	14.4	16.2	18.1	19.5	20.4	21.0
38	20.4	17.4	16.7	17.7	19.8	22.2	24.2	25.6	26.4
40	25.6	21.8	20.6	21.5	23.8	26.8	29.5	31.5	32.9
42	31.8	26.9	25.3	26.0	28.5	32.0	35.5	38.4	40.3
44	39.2	33.1	30.8	31.3	33.9	37.9	42.3	46.1	48.8
46	47.8	40.3	37.2	37.5	40.1	44.5	49.8	54.7	58.5
48	57.9	48.6	44.8	44.7	47.3	52.1	48.2	64.3	69.4
50	69.6	58.4	53.6	53.1	55.6	60.6	67.6	75.0	81.4

Tabla 2.17

Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0007	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
10	0.018	0.015	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.036	0.030	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.066	0.056	0.050	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.081	0.081	0.080
18	0.174	0.153	0.140	0.135	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.260	0.234	0.217	0.209	0.205	0.204	0.203	0.203	0.203
22	0.368	0.341	0.321	0.311	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303
24	0.502	0.479	0.458	0.447	0.443	0.440	0.440	0.439	0.439
26	0.664	0.651	0.634	0.625	0.621	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.859	0.857	0.853	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849
30	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.38	1.38	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51
34	1.72	1.71	1.80	1.88	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97
36	2.13	2.10	2.23	2.36	2.45	2.49	2.51	2.52	2.52
38	2.62	2.54	2.71	2.92	3.06	3.13	3.17	3.19	3.20
40	3.21	3.05	3.26	3.55	3.76	3.89	3.95	3.98	4.00
42	3.90	3.65	3.87	4.26	4.58	4.77	4.87	4.92	4.95
44	4.72	4.35	4.57	5.06	5.50	5.78	5.94	6.02	6.06
46	5.68	5.16	5.36	5.95	6.54	6.94	7.17	7.29	7.36
48	6.80	6.10	6.25	6.93	7.69	8.24	8.57	8.76	8.86
50	8.09	7.17	7.26	8.03	8.96	9.70	10.17	10.43	10.58
52	9.57	8.41	8.40	9.24	10.36	11.32	11.96	12.33	12.54
54	11.3	9.8	9.7	10.6	11.9	13.1	14.0	14.5	14.8
56	13.2	11.4	11.2	12.1	13.6	15.1	16.2	16.9	17.3
58	15.4	13.2	12.8	13.7	15.4	17.2	18.6	19.5	20.1
60	17.9	15.3	14.7	15.6	17.4	19.5	21.3	22.5	23.2
62	20.8	17.6	16.8	17.6	19.6	22.0	24.1	25.7	26.6
64	23.7	20.2	19.1	19.9	22.0	24.7	27.3	29.2	30.4
66	27.2	23.1	21.7	22.4	24.6	27.6	30.6	33.0	34.6
68	31.1	26.3	24.6	25.2	27.4	30.8	34.3	37.1	39.2
70	35.4	29.8	27.8	28.2	30.6	34.2	38.2	41.6	44.1
72	40.1	33.8	31.3	31.6	34.0	37.9	42.3	46.4	49.4
74	45.3	38.1	35.2	35.4	37.7	41.8	46.8	51.5	55.2
76	51.1	42.9	39.5	39.5	41.8	46.1	51.5	56.9	61.3
78	57.4	48.2	44.3	44.0	46.3	50.7	56.5	62.7	67.9
80	64.3	53.9	49.4	48.9	51.1	55.8	62.1	68.9	74.9
82	71.8	60.2	55.1	54.3	56.5	61.2	67.9	75.5	82.4
84	80.0	67.0	61.2	60.2	62.2	67.0	74.2	82.4	90.3
86	89.0	74.5	67.9	66.5	68.5	73.4	80.8	89.8	98.7
88	98.7	82.5	75.2	73.5	75.3	80.2	88.0	97.7	107.5
90	109.	91.	83.	81.	83.	88.	96.	106.	117.

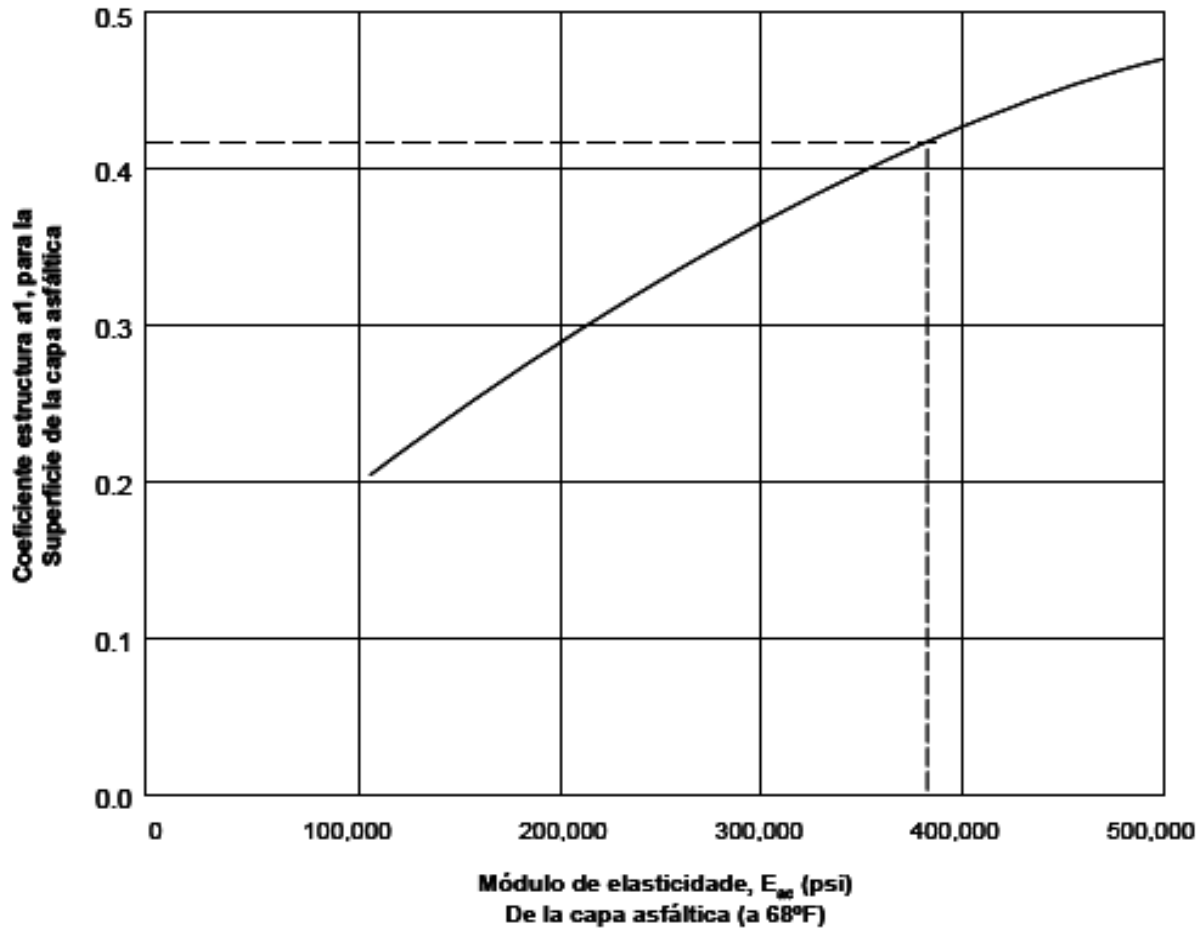
Tabla 2.18
Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.013	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.023	0.02	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.039	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.061	0.052	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043
20	0.091	0.078	0.071	0.068	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.132	0.114	0.104	0.100	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.183	0.161	0.148	0.143	0.140	0.139	0.139	0.138	0.138
26	0.246	0.221	0.205	0.198	0.195	0.193	0.193	0.192	0.192
28	0.322	0.296	0.277	0.268	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262
30	0.411	0.387	0.367	0.357	0.353	0.351	0.350	0.349	0.349
32	0.515	0.495	0.476	0.466	0.462	0.460	0.459	0.458	0.458
34	0.634	0.622	0.607	0.599	0.595	0.594	0.593	0.592	0.592
36	0.772	0.766	0.762	0.759	0.756	0.756	0.755	0.755	0.755
38	0.930	0.934	0.942	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951
40	1.11	1.12	1.15	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.32	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46
44	1.56	1.56	1.64	1.71	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78
46	1.84	1.83	1.94	2.04	2.10	2.14	2.15	2.16	2.16
48	2.16	2.12	2.26	2.41	2.51	2.56	2.58	2.59	2.60
50	2.53	2.45	2.61	2.82	2.96	3.03	3.07	3.09	3.10
52	2.95	2.82	3.01	3.27	3.47	3.58	3.63	3.66	3.68
54	3.43	3.23	3.43	3.77	4.03	4.18	4.27	4.31	4.33
56	3.98	3.70	3.90	4.31	4.65	4.86	4.98	5.04	5.07
58	4.59	4.22	4.42	4.90	5.34	5.62	5.78	5.86	5.90
60	5.28	4.80	4.99	5.54	6.08	6.45	6.66	6.78	6.84
62	6.06	5.45	5.61	6.23	6.89	7.36	7.64	7.80	7.88
64	6.92	6.18	6.29	6.98	7.76	8.36	8.72	8.93	9.04
66	7.89	6.96	7.05	7.78	8.70	9.44	9.91	10.18	10.33
68	8.96	7.86	7.87	8.66	9.71	10.61	11.20	11.55	11.75
70	10.2	8.9	8.8	9.6	10.8	11.9	12.6	13.1	13.3
72	11.5	10.0	9.8	10.8	12.0	13.2	14.1	14.7	15.0
74	12.9	11.2	10.9	11.7	13.2	14.7	15.8	16.5	16.9
76	14.5	12.5	12.1	12.9	14.5	16.2	17.5	18.4	18.9
78	16.2	13.9	13.4	14.2	15.9	17.8	19.4	20.5	21.1
80	18.2	15.5	14.8	15.6	17.4	19.6	21.4	22.7	23.5
82	20.2	17.2	16.4	17.2	19.1	21.4	23.5	25.1	26.1
84	22.5	19.1	18.1	18.8	20.8	23.4	25.8	27.6	28.8
86	25.0	21.2	19.9	20.6	22.6	25.5	28.2	30.4	31.8
88	27.6	23.4	21.9	22.5	24.6	27.7	30.7	33.2	35.0
90	30.5	25.6	24.1	24.6	26.8	30.0	33.4	36.3	38.3

Anexos II (Capítulo V)

Figura 5-1

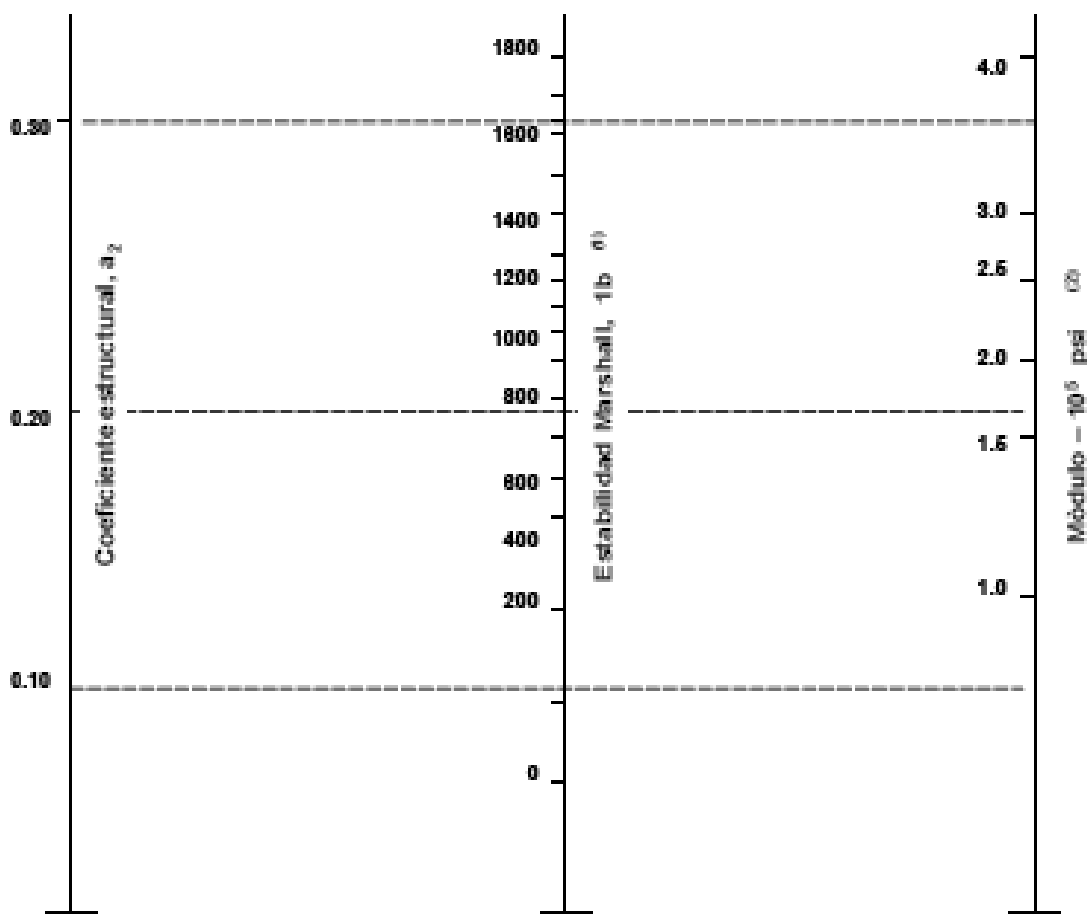
Coefficiente estructural a partir del Módulo elástico del concreto asfáltico



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 5-2

Variación en el coeficiente estructural de la capa de concreto asfáltica

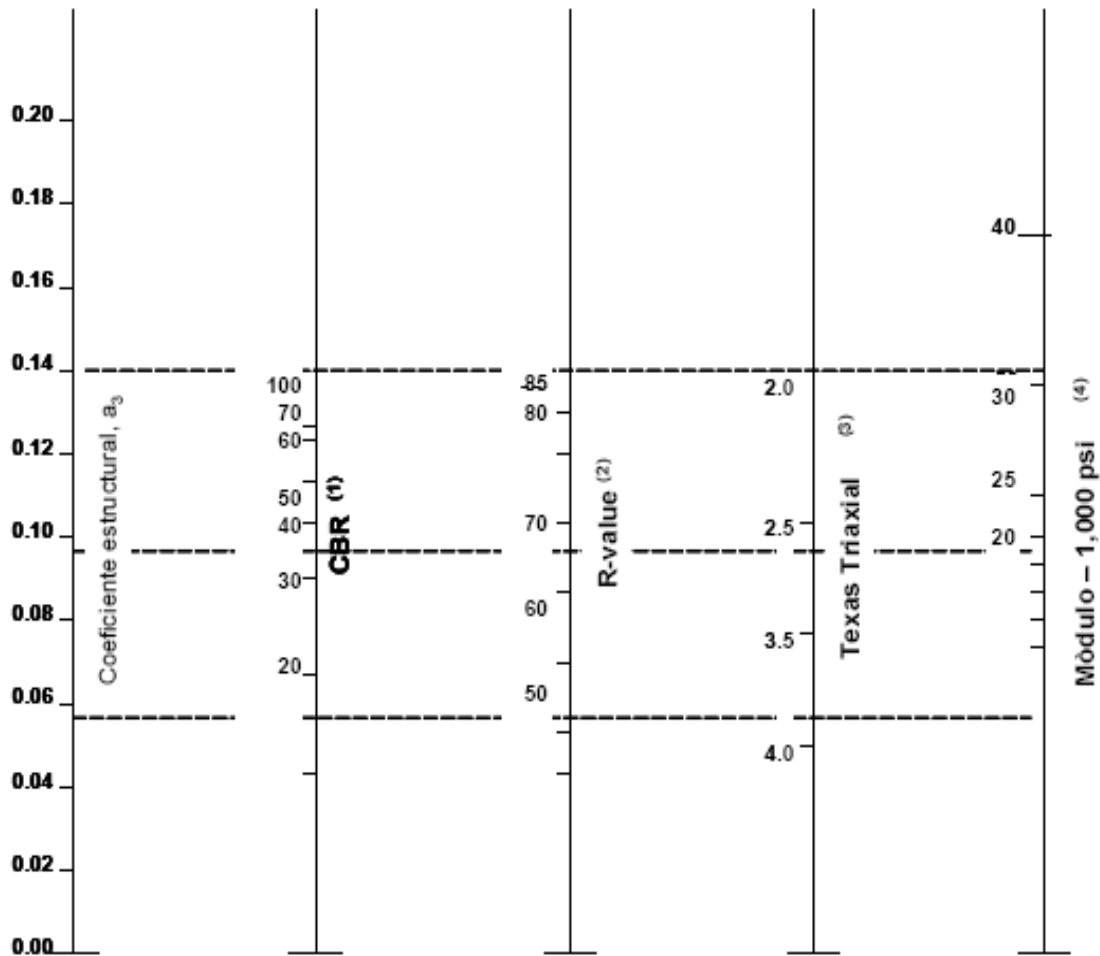


- (1) La escala deriva por correlación obtenida de Illinois
- (2) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 5-3

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base

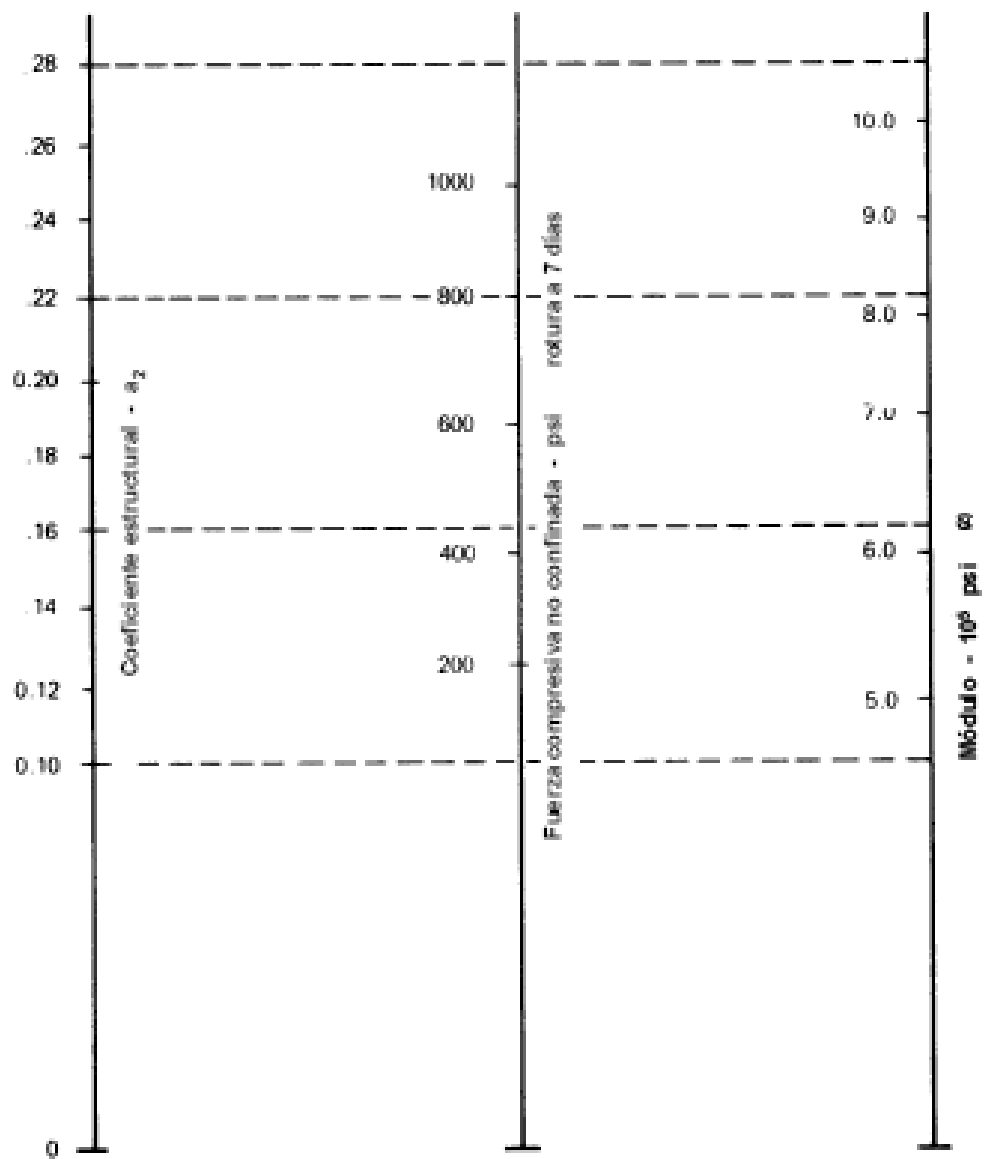


- (1) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de California, New México y Wyoming
- (3) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Texas
- (4) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,983

Figura 5-4

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base estabilizada

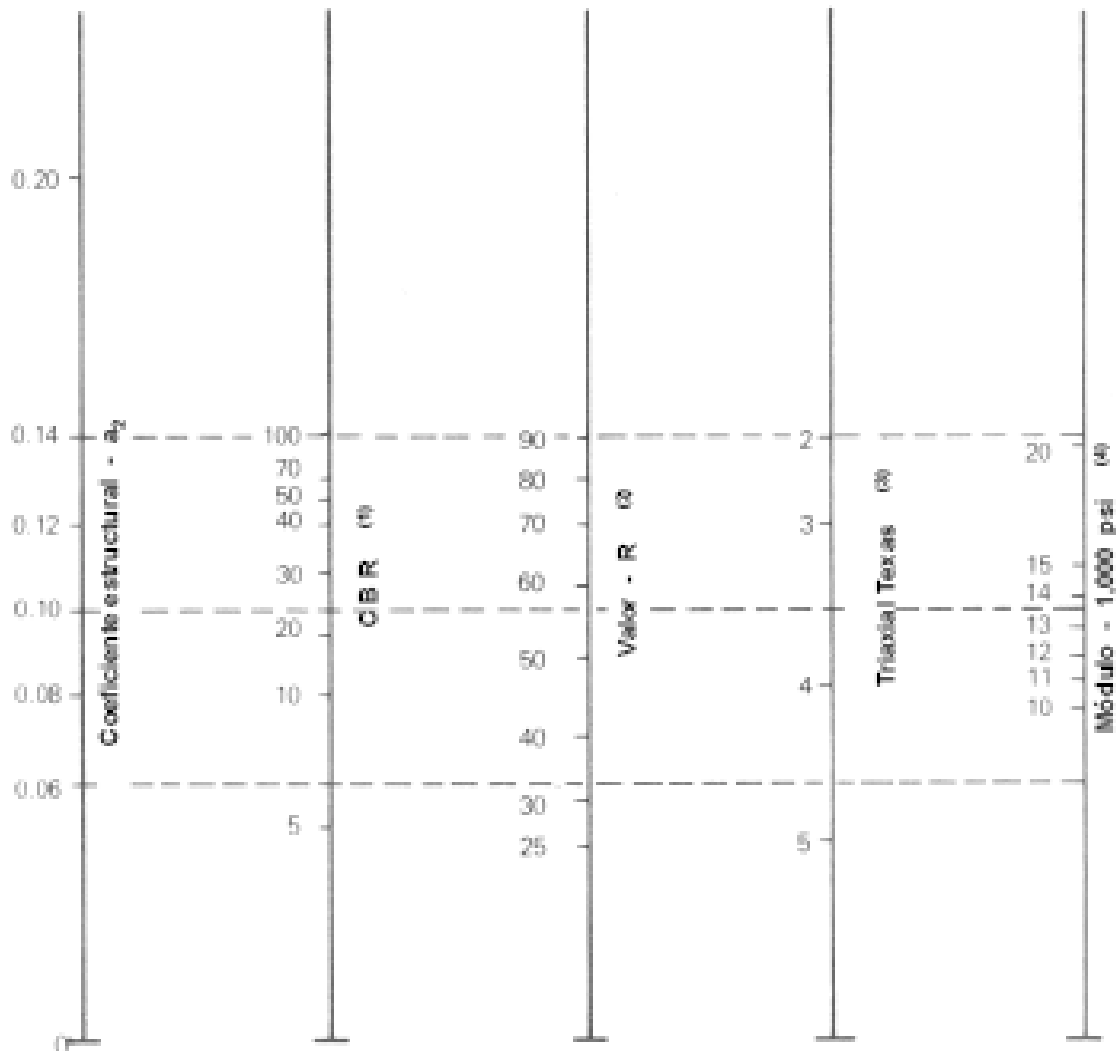


- (1) Escala derivada de los porcentajes obtenidos de las correlaciones de Illinois, Louisiana y Texas
- (2) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO

Figura 5-5

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase



- (1) Escala derivada de las correlaciones de Illinois
- (2) Escala derivada de las correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, New México y Wyoming
- (3) Escala derivada de las correlaciones de Texas
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 5-6

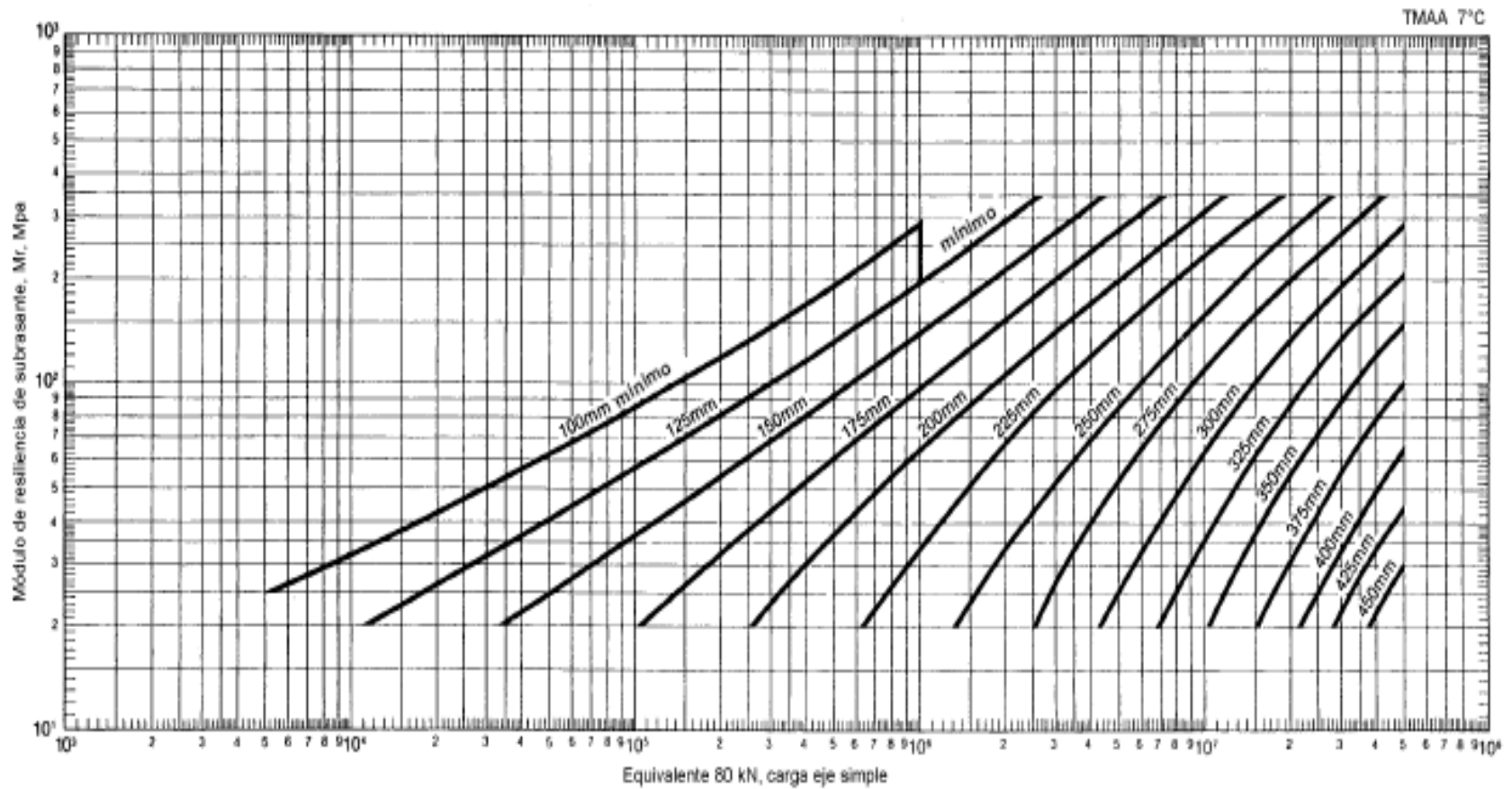


Figura 7-10
Espesor completo de concreto asfáltico

Figura 5-7

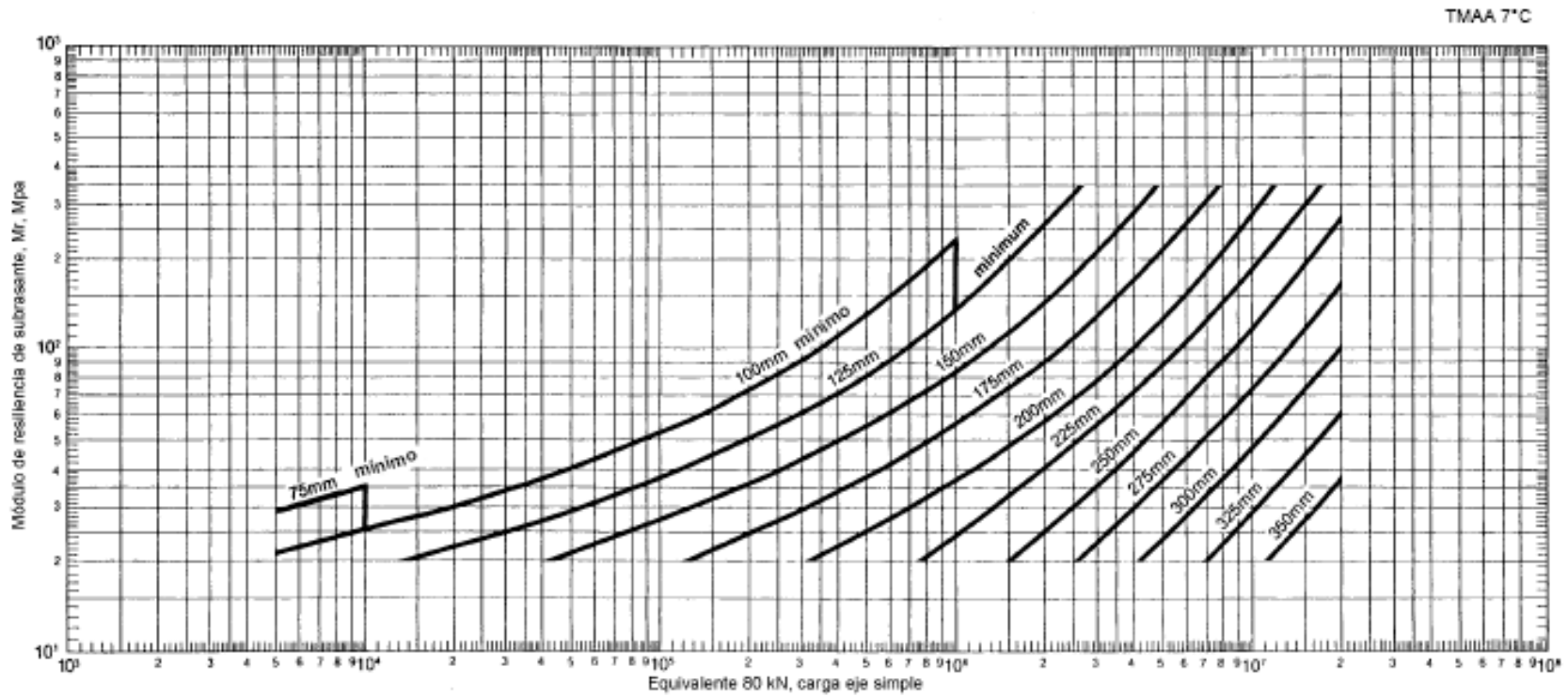


Figura 7-11
Agregado de base de 150 milímetros de espesor

Figura 5-8

TMAA 7°C

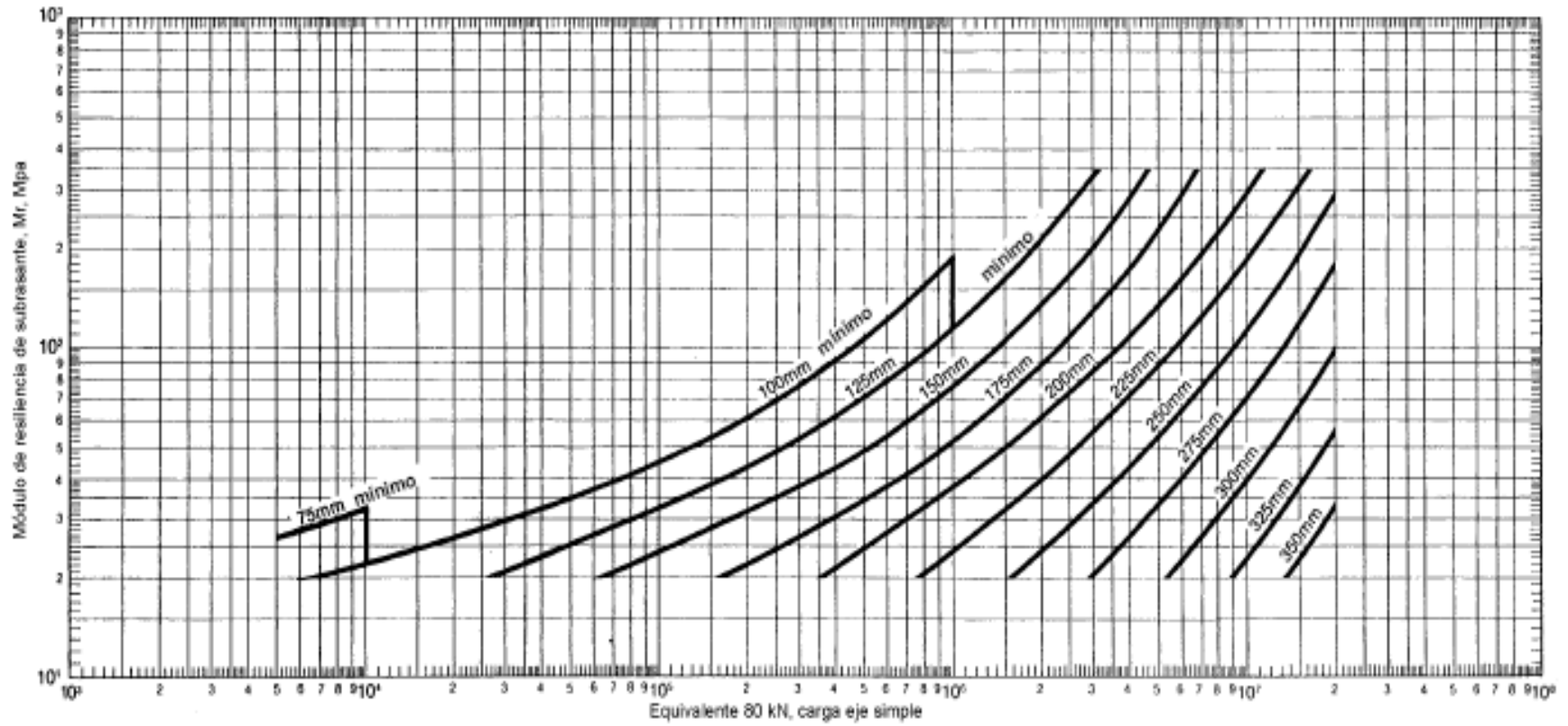


Figura 7-12
Agregado de base de 300 milímetros de espesor

Figura 5-9

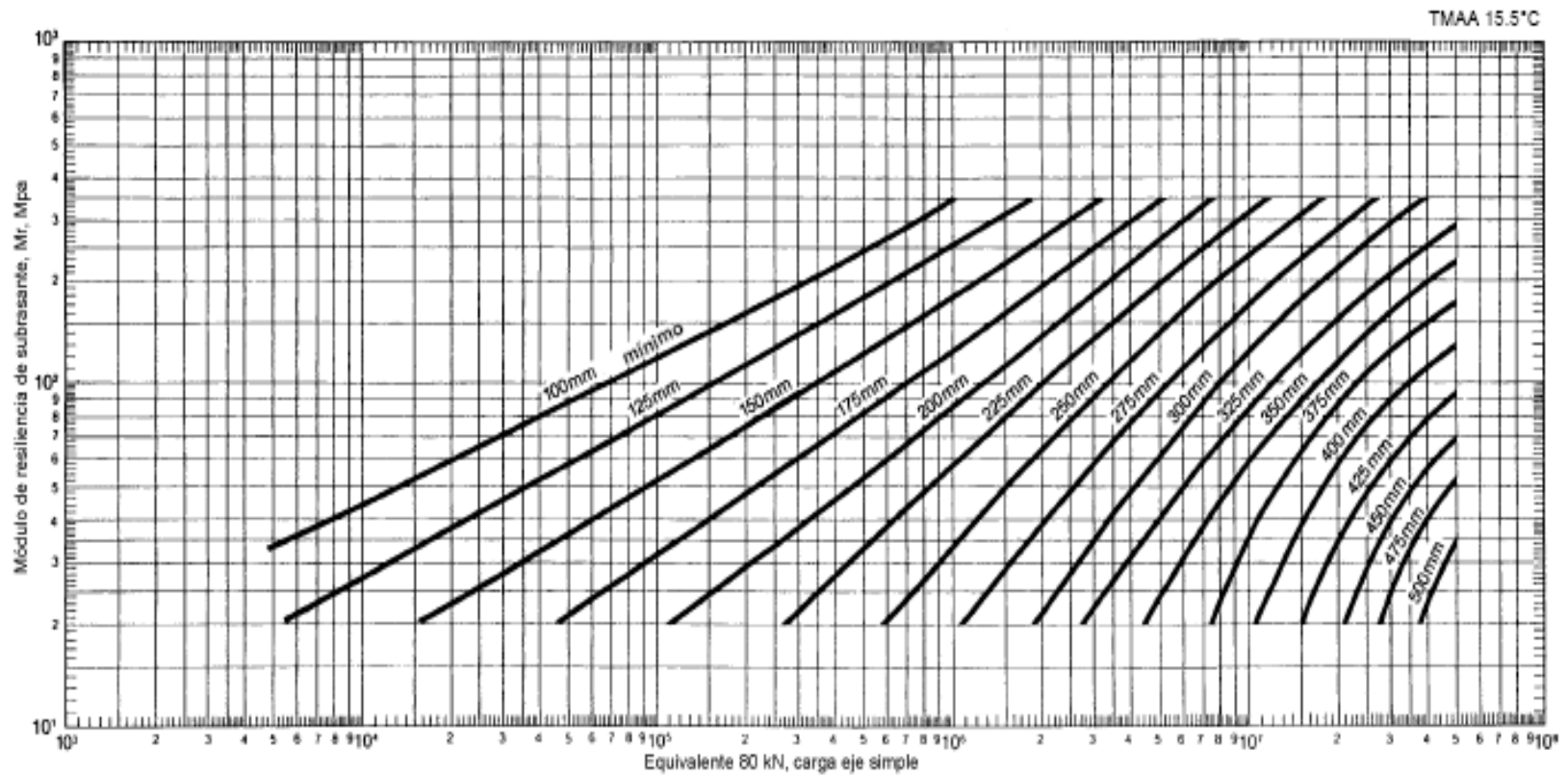


Figura 7-13
Espesor completo de concreto asfáltico

Figura 5-10

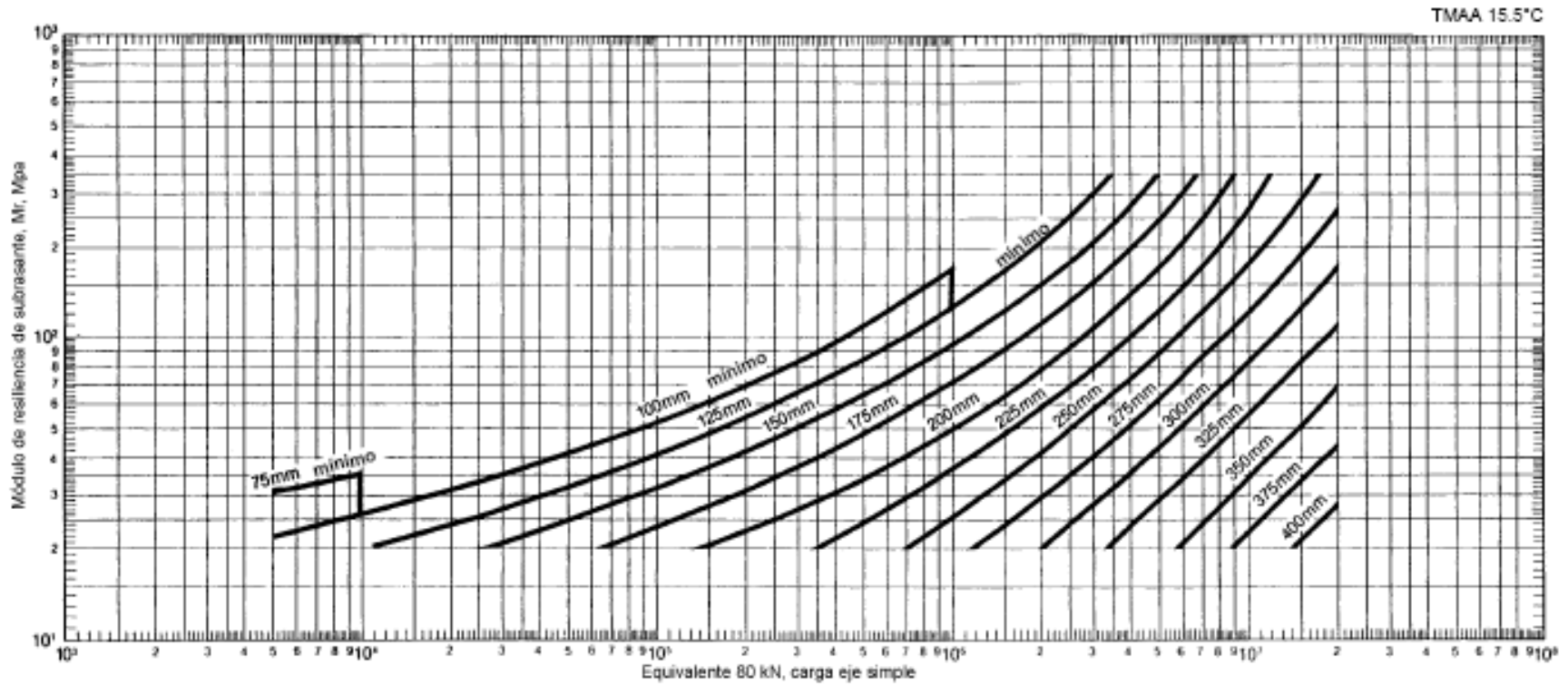


Figura 7-14
Agregado de base de 150 milímetros de espesor

Figura 5-11

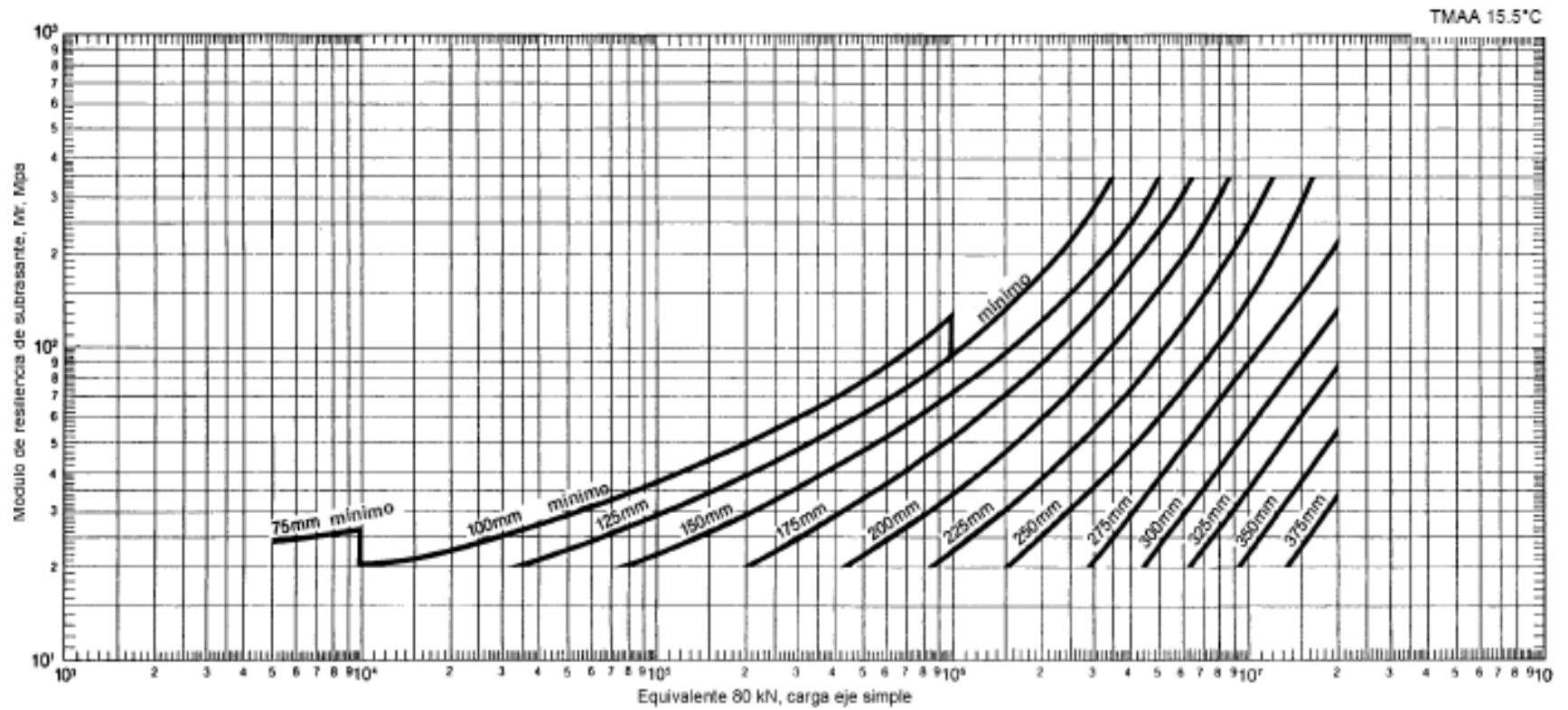


Figura 7-15
Agregado de base de 300 milímetros de espesor

Figura 5-12

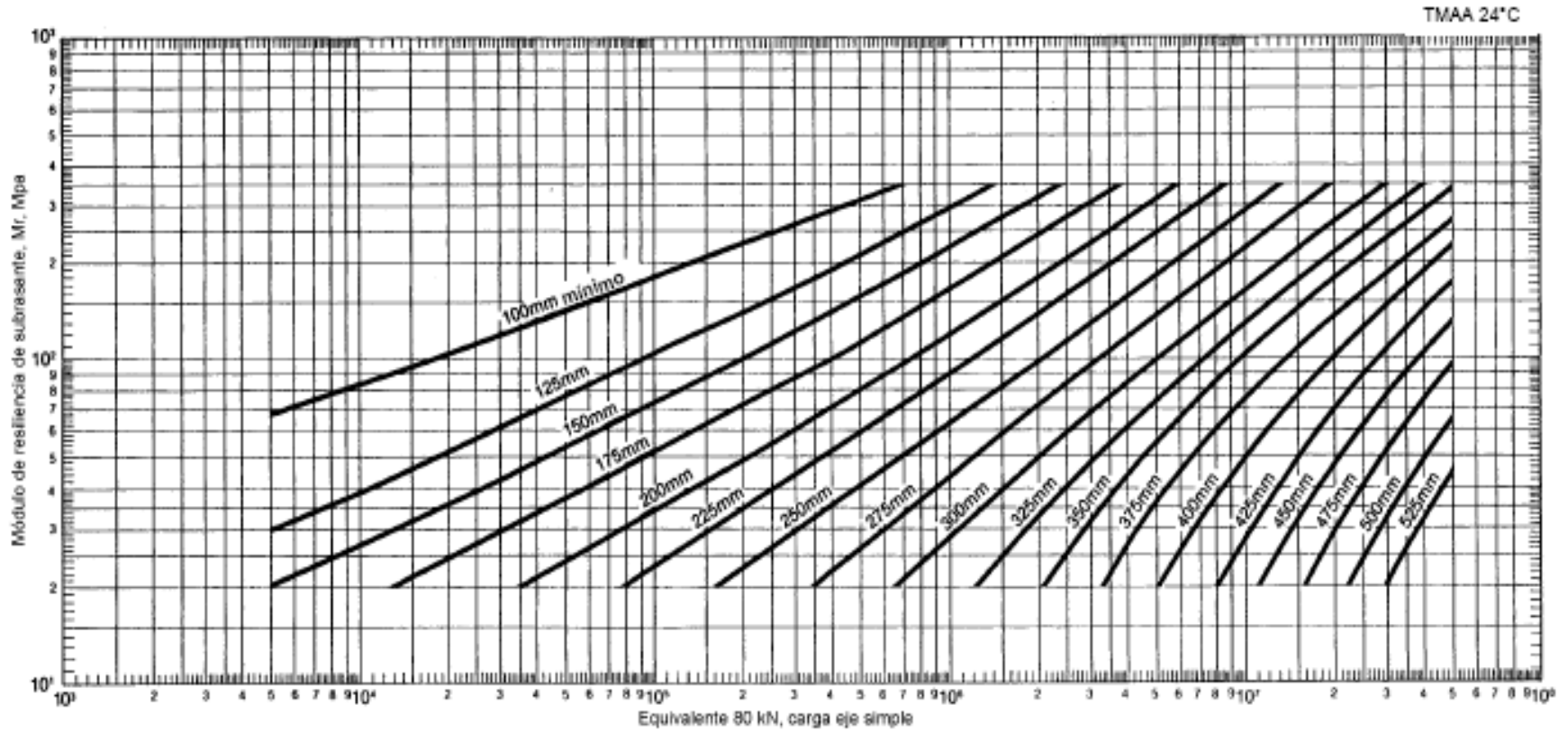


Figura 7-16
Espesor completo de concreto asfáltico

Figura 5-13

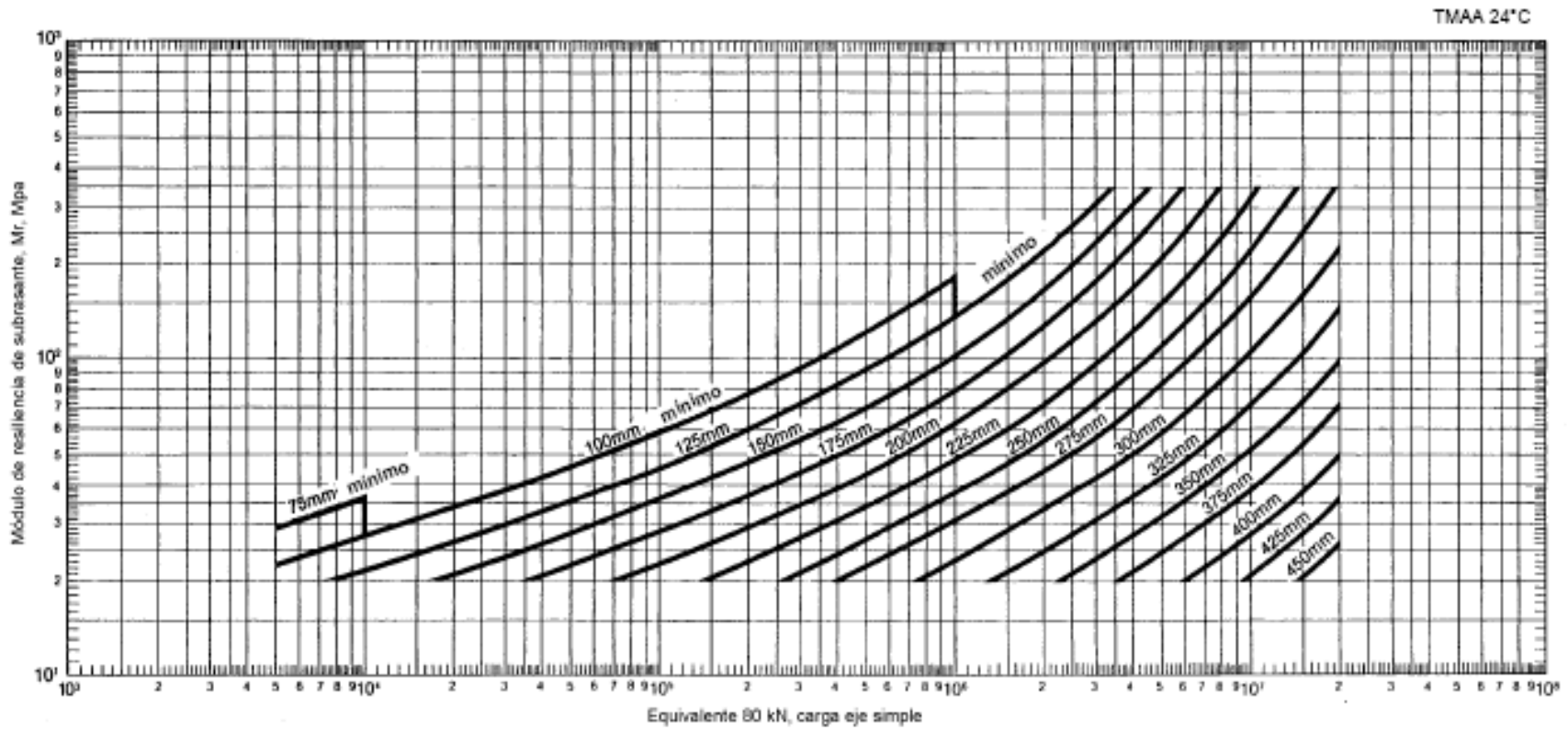


Figura 7-17
Agregado de base de 150 milímetros de espesor

Figura 5-14

TMAA 24°C

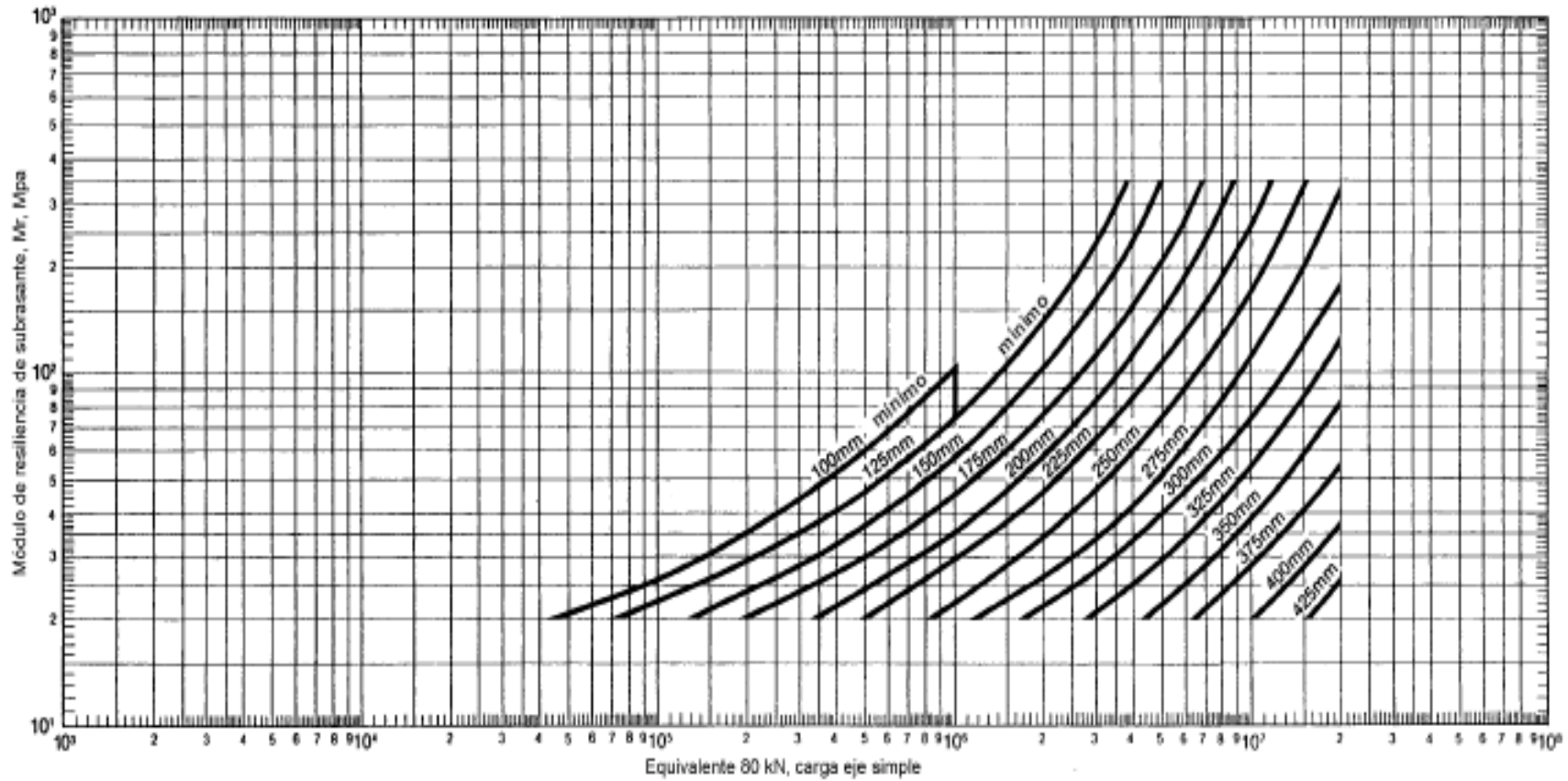


Figura 7-18
Agregado de base de 300 milímetros de espesor

Figura 5-15

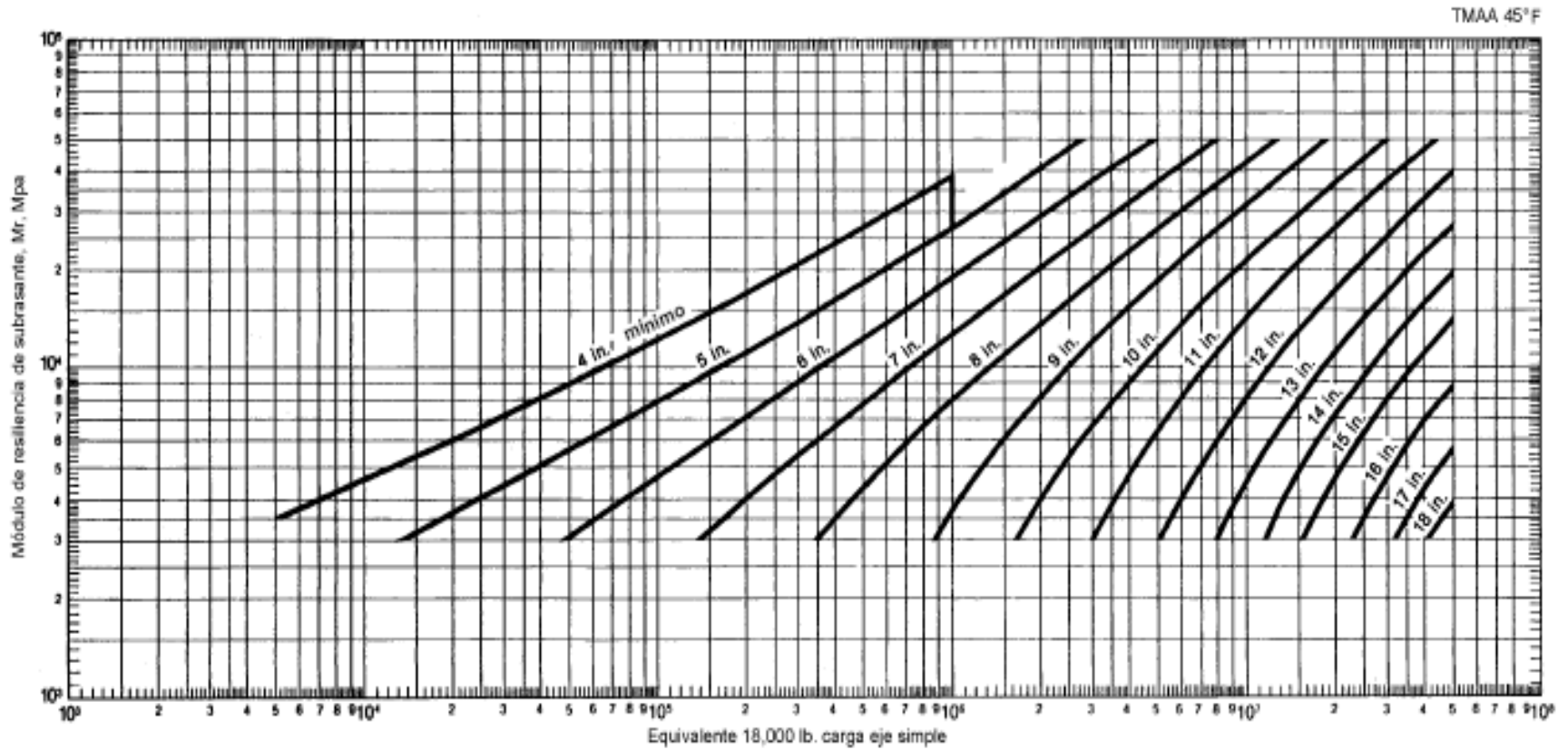


Figura 7-19
Espesor completo del concreto asfáltico

Figura 5-16

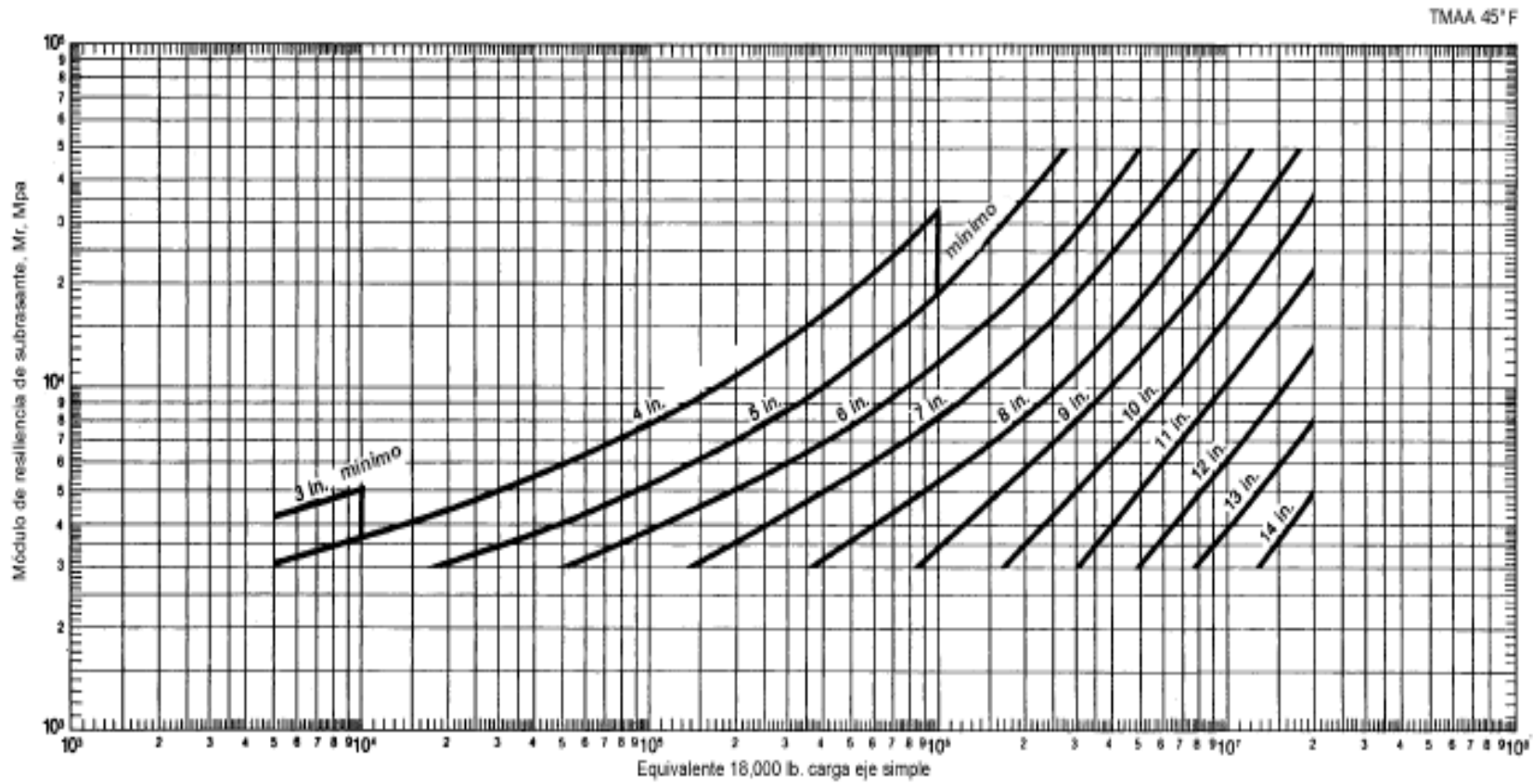


Figura 7-20
Agregado de base de 6 pulgadas de espesor

Figura 5-17

TMAA 45°F

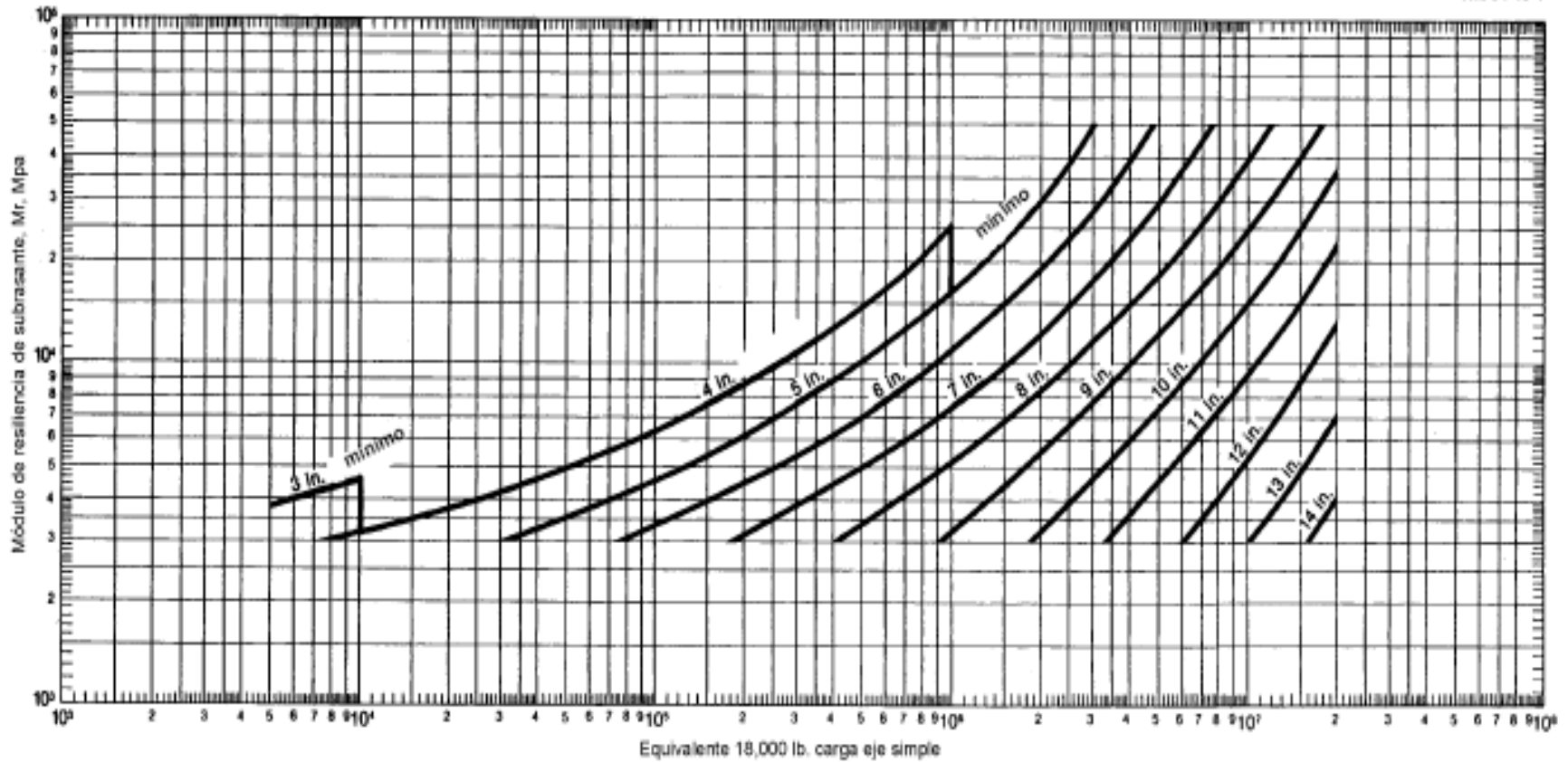


Figura 7-21
Agregado de base de 12 pulgadas de espesor

Figura 5-18

TMAA 60°F

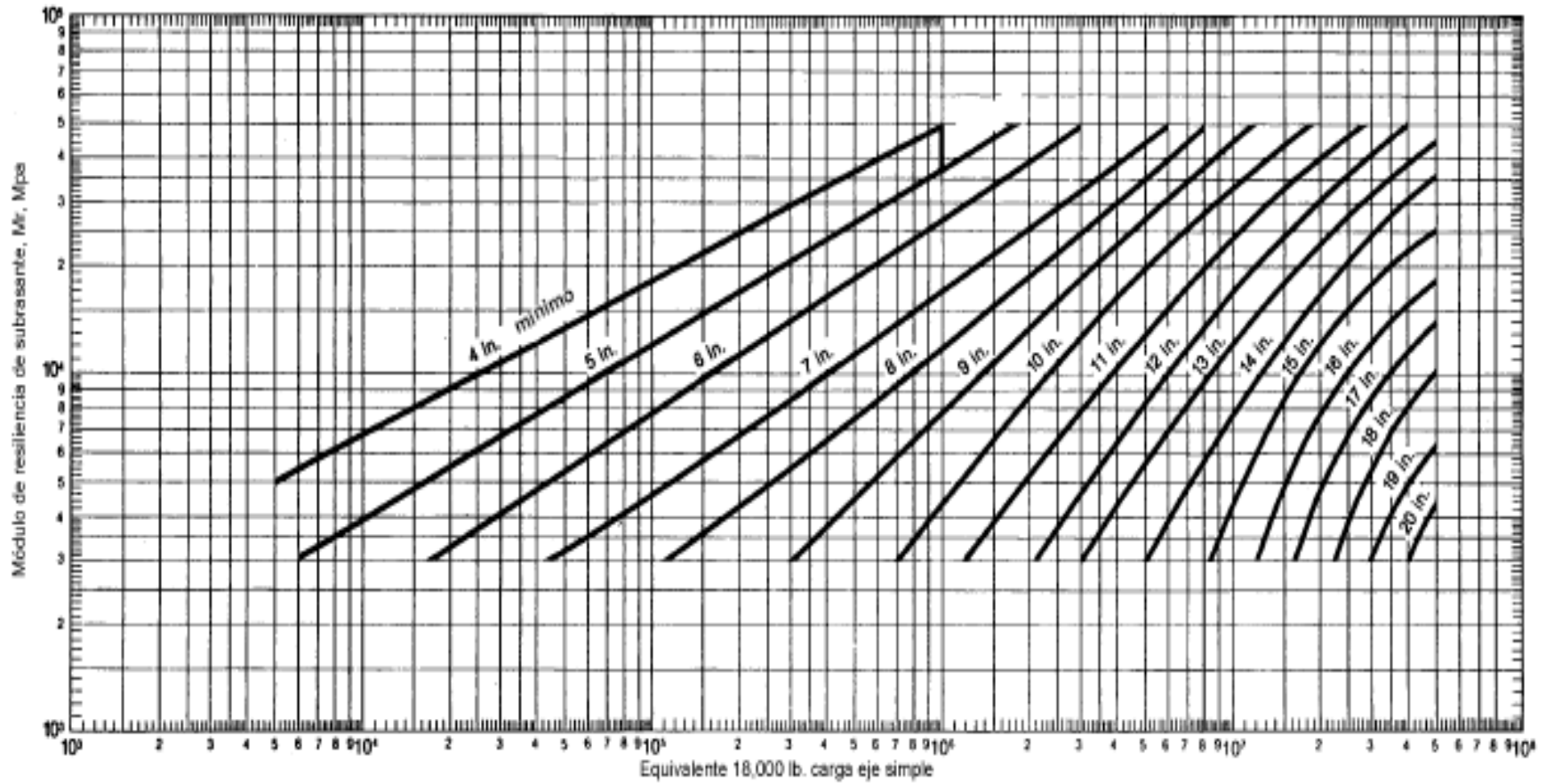


Figura 7-22
Espesor completo del concreto asfáltico

Figura 5-19

TMAA 60°F

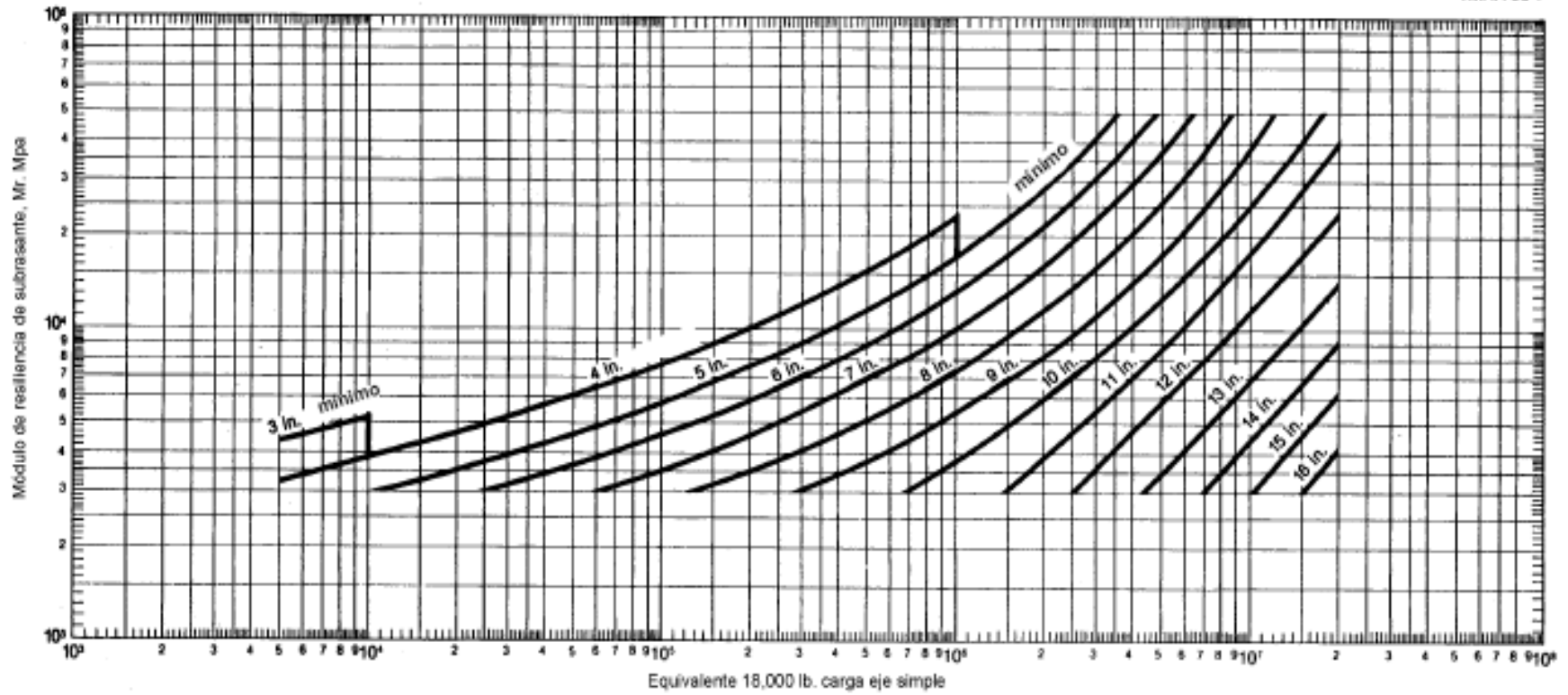


Figura 7-23
Agregado de base de 6 pulgadas de espesor

Figura 5-20

TMAA 60°F

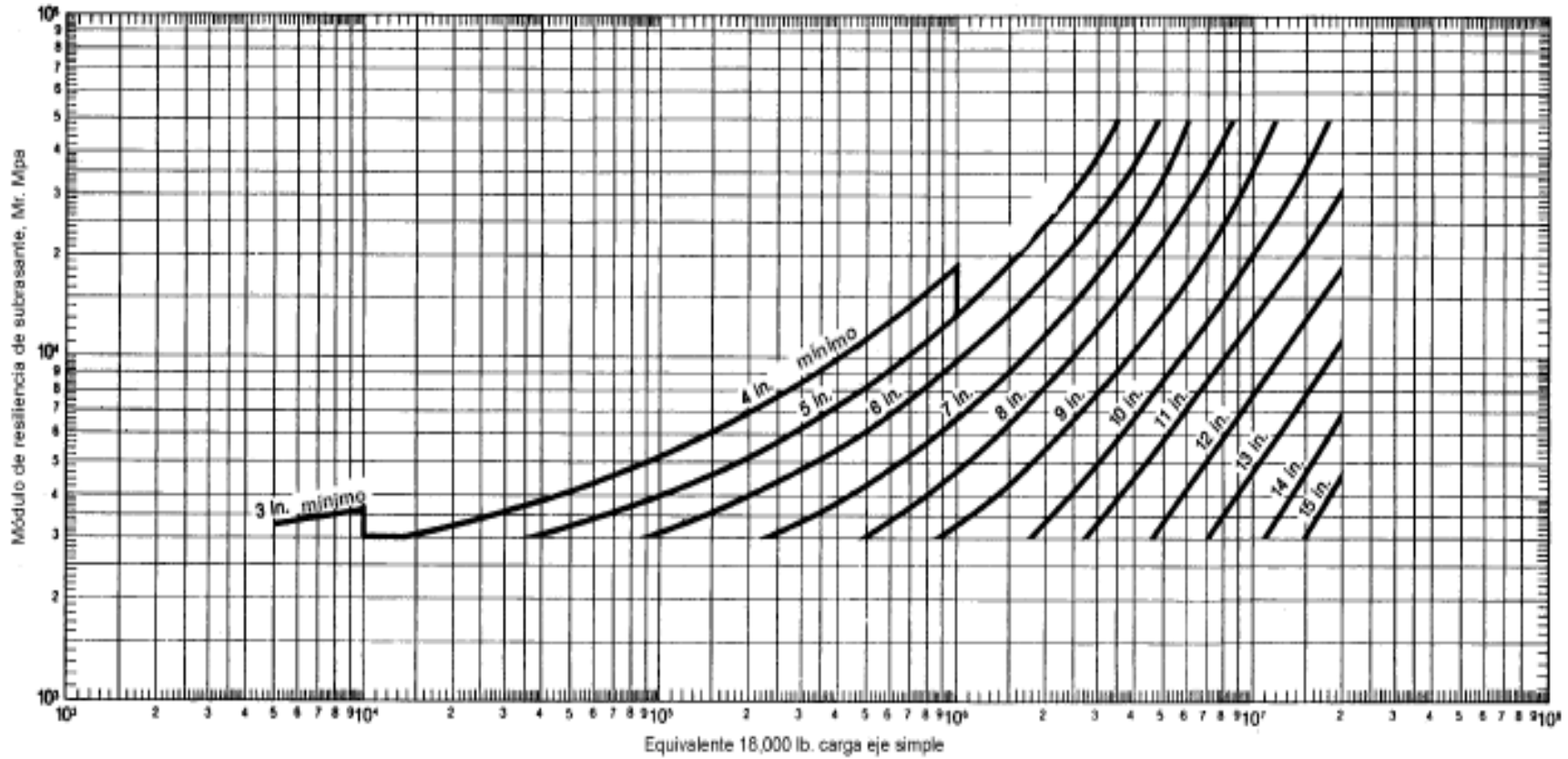


Figura 7-24
Agregado de base de 12 pulgadas de espesor

Figura 5-21

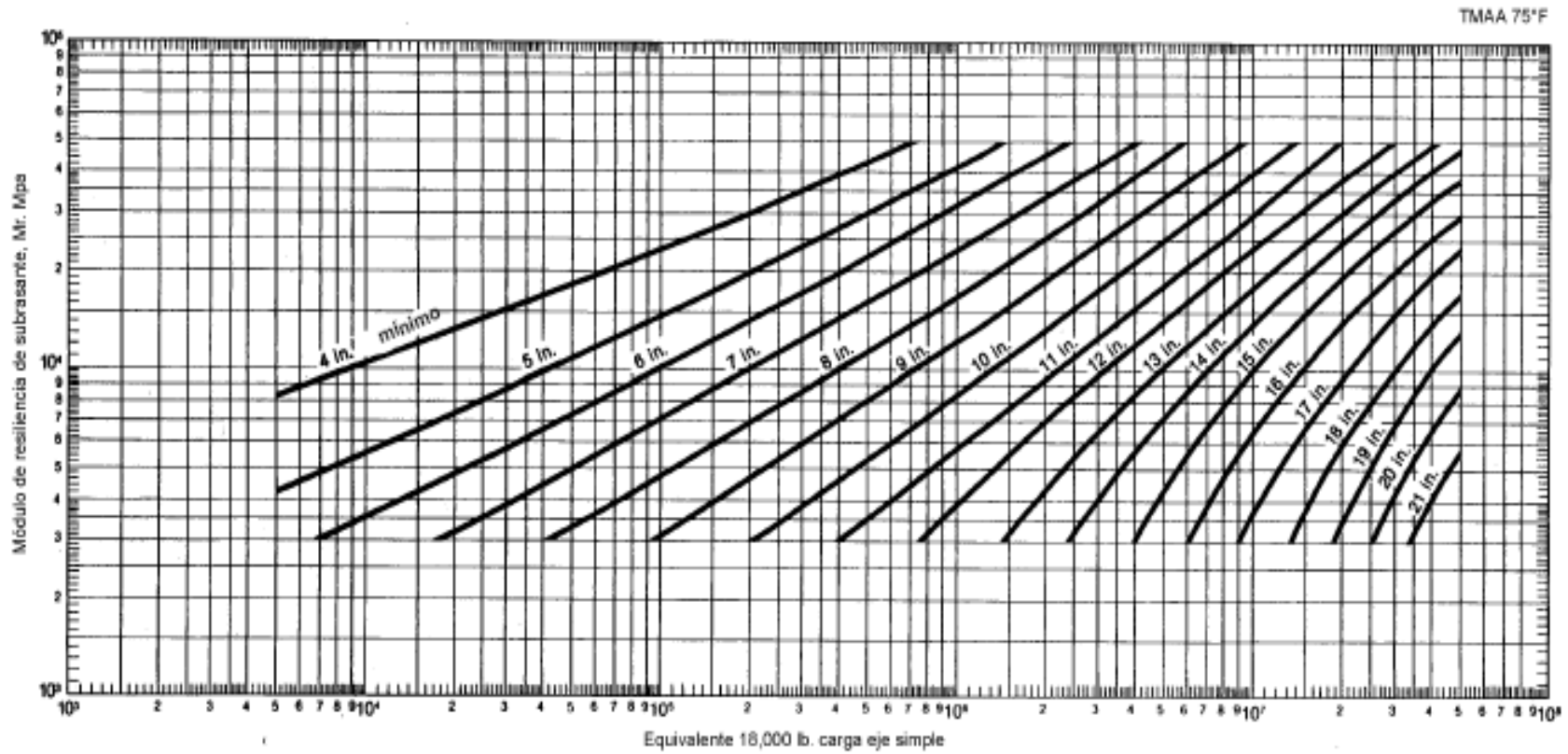


Figura 7-25
Espesor completo de concreto asfáltico

Figura 5-22

TMAA 75°F

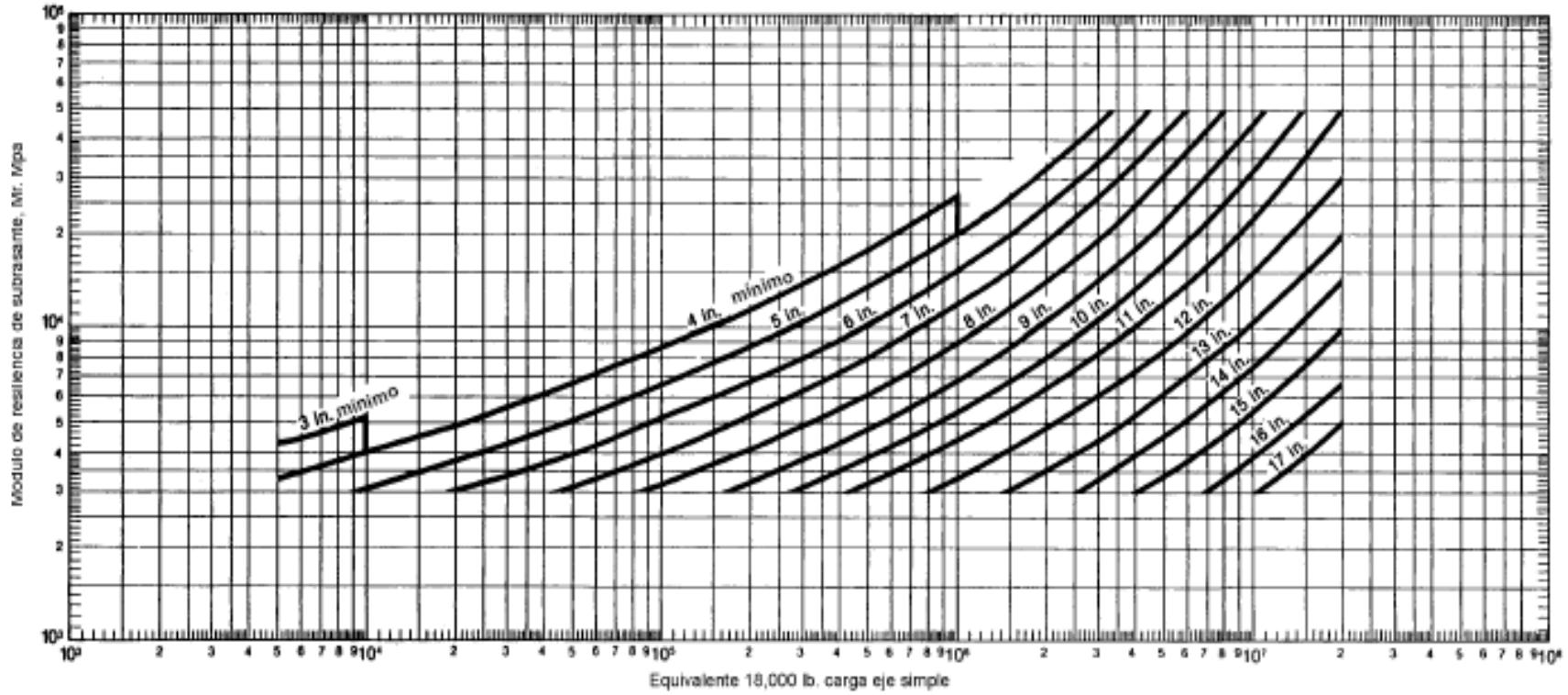


Figura 7-26
Agregado de base de 6 pulgadas de espesor

Figura 5-23

TMAA 75°F

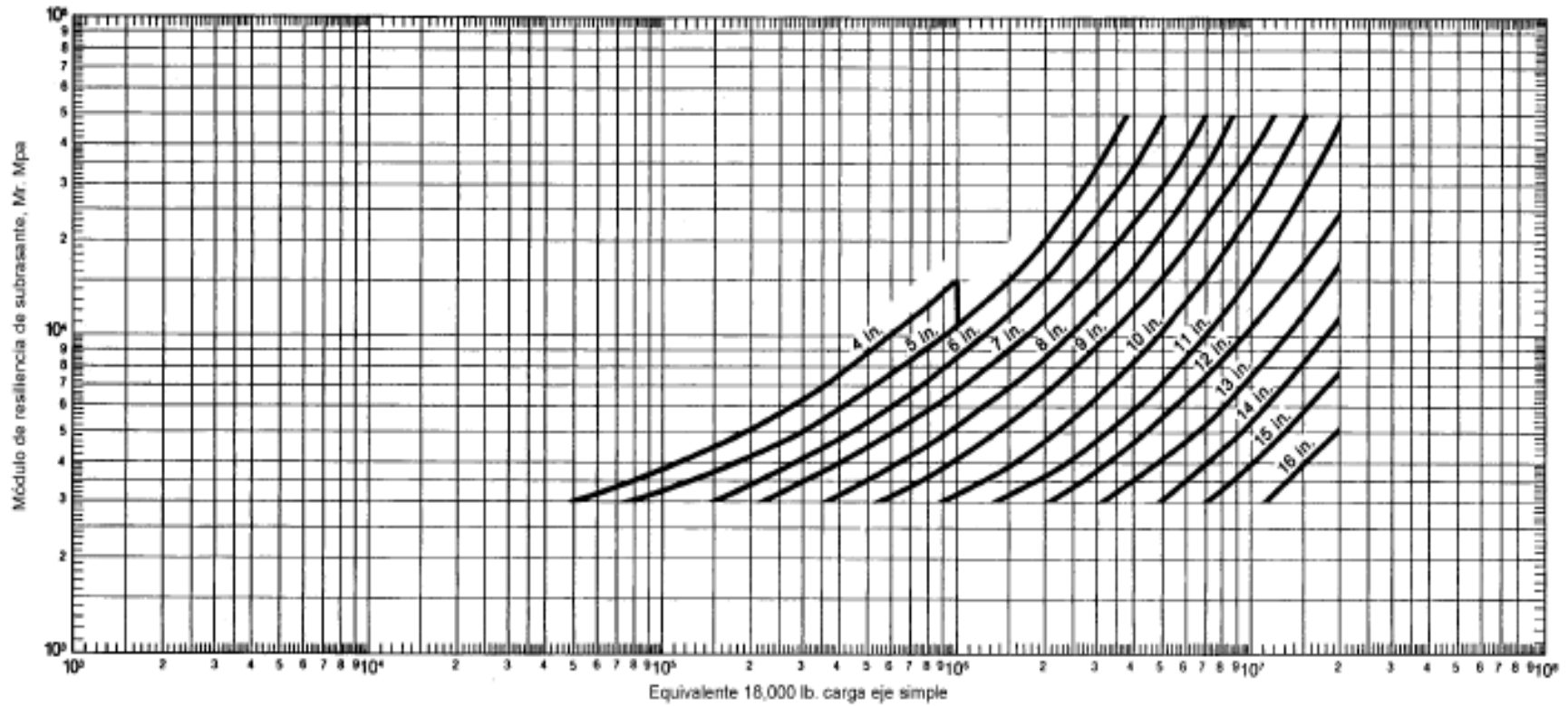
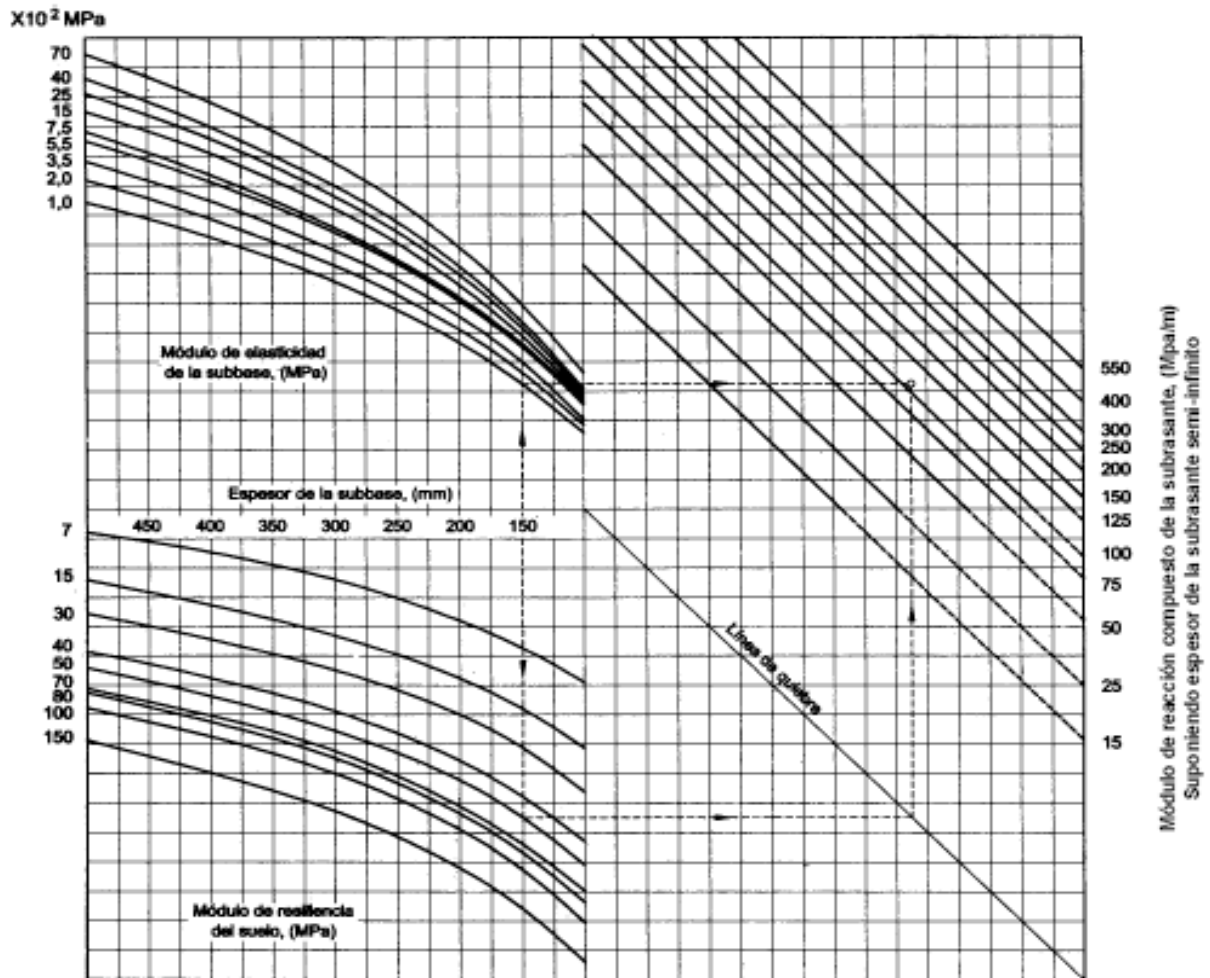


Figura 7-27
Agregado de base de 12 pulgadas de espesor

ANEXO II (CAPÍTULO V)

Figura5-24

Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita



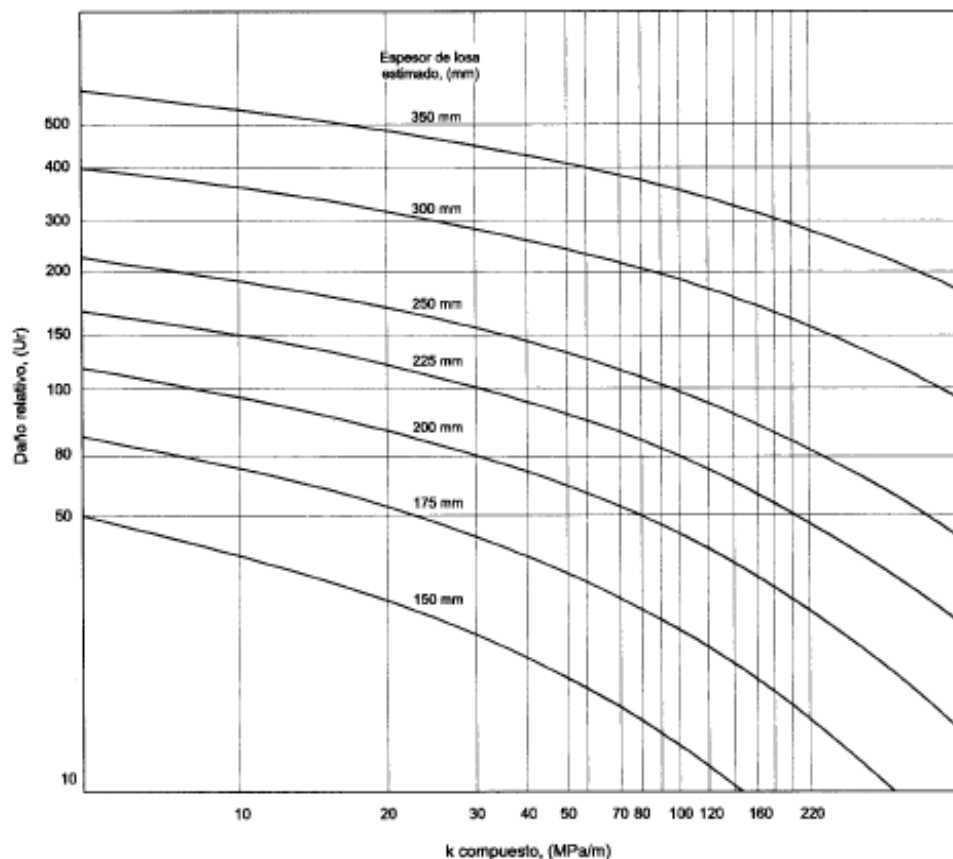
**ANEXO III
(CAPÍTULO VII)**

**Figura 7-1
Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (m_x)**

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

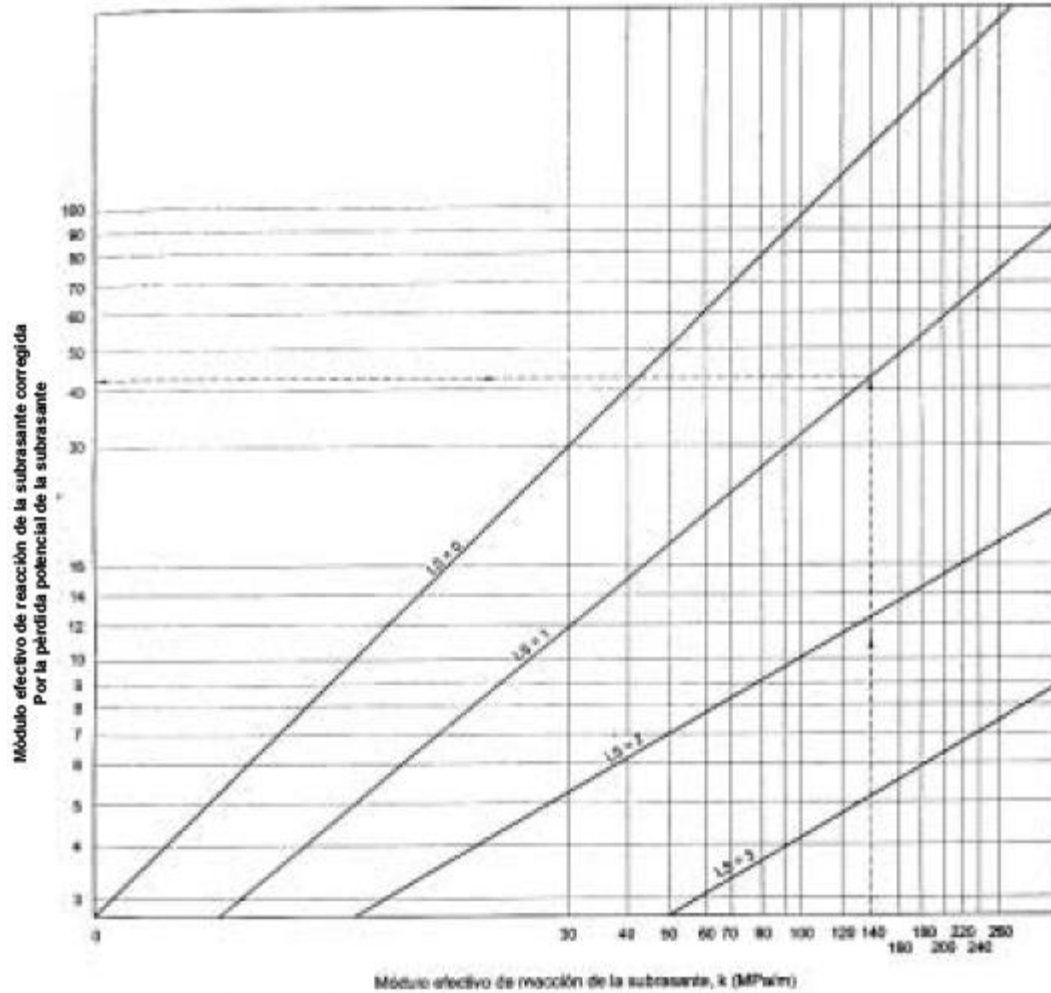
**Figura 7-2
Nomograma para determinar el deterioro relativo, U_r**



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 7-3

Nomograma para corregir el Módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Figura 7-4
Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto

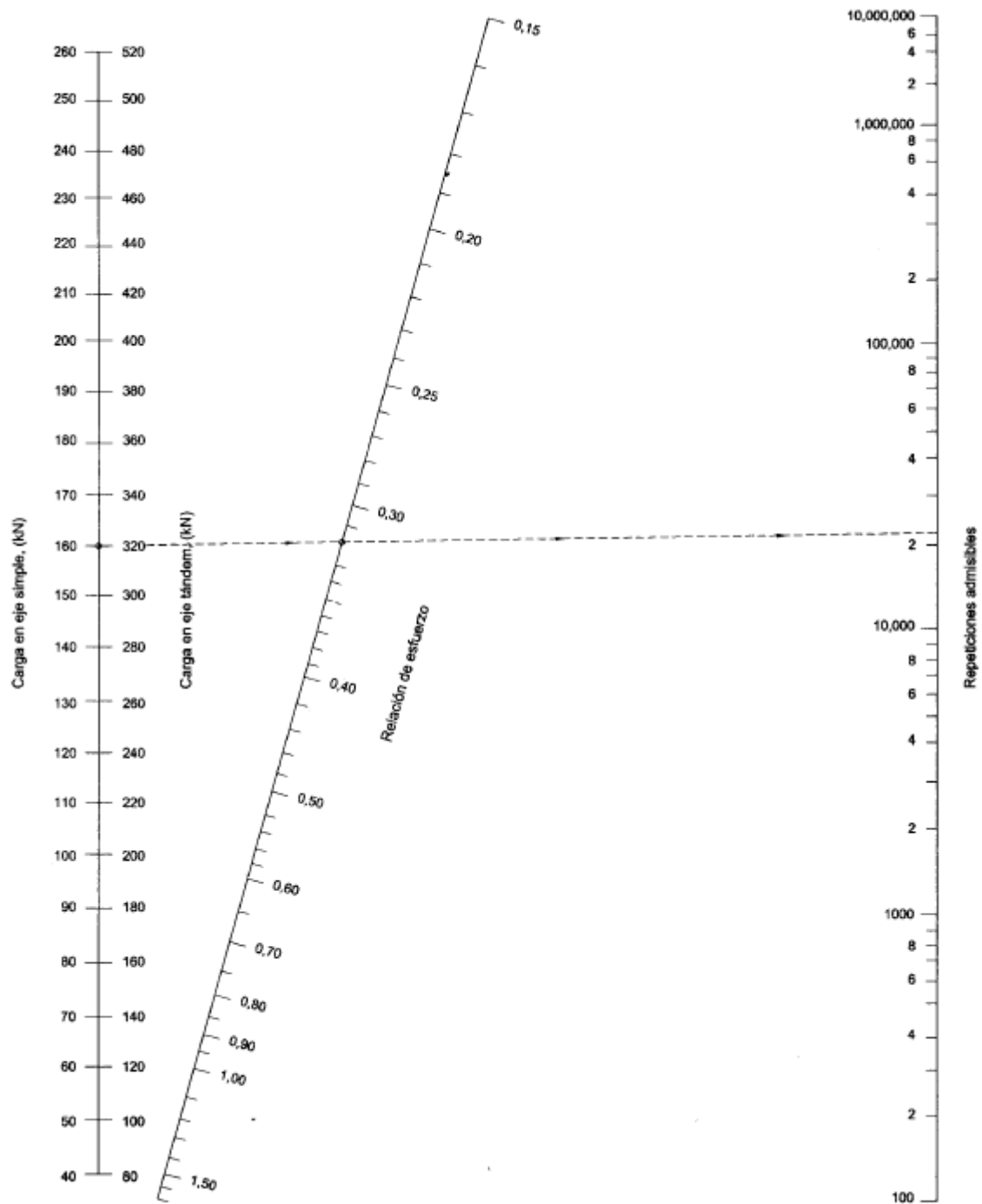


Figura 7-5

Esfuerzo equivalente pavimento sin hombros de concreto hidráulico (eje sencillo)

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42	4.75	4.38	4.13	3.68	3.45
110	4.74	4.16	3.85	3.63	3.23	3.06
120	4.19	3.69	3.41	3.23	2.88	2.73
130	3.75	3.30	3.06	2.89	2.59	2.46
140	3.37	2.97	2.76	2.61	2.34	2.23
150	3.06	2.70	2.51	2.37	2.13	2.03
160	2.79	2.47	2.29	2.17	1.95	1.86
170	2.56	2.26	2.10	1.99	1.80	1.71
180	2.37	2.09	1.94	1.84	1.68	1.58
190	2.19	1.94	1.80	1.71	1.54	1.47
200	2.04	1.80	1.67	1.59	1.43	1.37
210	1.91	1.68	1.56	1.48	1.34	1.28
220	1.79	1.57	1.46	1.39	1.26	1.20
230	1.68	1.48	1.38	1.31	1.18	1.13
240	1.58	1.39	1.30	1.23	1.11	1.03
250	1.49	1.32	1.22	1.16	1.05	1.00
260	1.41	1.25	1.16	1.10	0.99	0.95
270	1.34	1.18	1.10	1.04	0.94	0.90
280	1.28	1.12	1.04	0.99	0.89	0.86
290	1.22	1.07	0.99	0.94	0.85	0.81
300	1.16	1.02	0.95	0.90	0.81	0.78
310	1.11	0.97	0.90	0.86	0.77	0.74
320	1.06	0.93	0.86	0.82	0.74	0.71
330	1.02	0.89	0.83	0.78	0.71	0.68
340	0.98	0.85	0.79	0.75	0.68	0.65
350	0.94	0.82	0.76	0.72	0.65	0.62

Figura 7-6

Esfuerzo equivalente pavimento sin hombros de concreto hidráulicos (eje tándem)

Eje Tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.39	3.83	3.59	3.44	3.22	3.15
110	3.88	3.35	3.12	2.97	2.76	2.68
120	3.47	2.98	2.75	2.62	2.40	2.33
130	3.14	2.68	2.46	2.33	2.13	2.05
140	2.87	2.43	2.23	2.10	1.90	1.83
150	2.64	2.23	2.04	1.92	1.72	1.65
160	2.45	2.03	1.87	1.76	1.57	1.50
170	2.28	1.91	1.74	1.63	1.45	1.38
180	2.14	1.79	1.62	1.51	1.34	1.27
190	2.01	1.67	1.51	1.41	1.25	1.18
200	1.90	1.58	1.42	1.33	1.17	1.11
210	1.79	1.49	1.34	1.25	1.10	1.04
220	1.70	1.41	1.27	1.18	1.03	0.98
230	1.62	1.34	1.21	1.12	0.98	0.92
240	1.55	1.28	1.15	1.06	0.93	0.87
250	1.48	1.22	1.09	1.01	0.88	0.83
260	1.41	1.17	1.05	0.97	0.84	0.79
270	1.36	1.12	1.00	0.93	0.80	0.75
280	1.30	1.07	0.96	0.89	0.77	0.72
290	1.25	1.03	0.92	0.85	0.74	0.69
300	1.21	0.99	0.89	0.82	0.71	0.66
310	1.16	0.96	0.86	0.79	0.68	0.64
320	1.12	0.92	0.83	0.76	0.66	0.62
330	1.09	0.89	0.80	0.74	0.63	0.59
340	1.05	0.86	0.77	0.71	0.61	0.57
350	1.02	0.84	0.75	0.69	0.59	0.55

Figura 7-7

Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico
(eje sencillo)

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.18	3.65	3.37	3.19	2.85	2.72
110	3.88	3.23	2.99	2.83	2.55	2.43
120	3.28	2.88	2.67	2.54	2.29	2.19
130	2.95	2.60	2.41	2.29	2.07	1.99
140	2.68	2.36	2.19	2.08	1.89	1.81
150	2.44	2.15	2.00	1.90	1.73	1.66
160	2.24	1.97	1.84	1.75	1.59	1.53
170	2.06	1.82	1.70	1.62	1.48	1.42
180	1.91	1.69	1.57	1.50	1.37	1.32
190	1.77	1.57	1.46	1.40	1.28	1.23
200	1.65	1.46	1.37	1.30	1.19	1.15
210	1.55	1.37	1.28	1.22	1.12	1.08
220	1.45	1.29	1.20	1.15	1.05	1.01
230	1.37	1.21	1.13	1.08	0.99	0.96
240	1.29	1.15	1.07	1.02	0.94	0.90
250	1.22	1.08	1.01	0.97	0.89	0.86
260	1.16	1.03	0.96	0.92	0.84	0.81
270	1.10	0.98	0.91	0.87	0.80	0.77
280	1.05	0.93	0.87	0.83	0.76	0.74
290	1.00	0.89	0.83	0.79	0.73	0.70
300	0.95	0.85	0.79	0.76	0.70	0.67
310	0.91	0.81	0.76	0.72	0.67	0.64
320	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62
330	0.84	0.74	0.70	0.67	0.61	0.59
340	0.80	0.71	0.67	0.64	0.59	0.57
350	0.77	0.69	0.64	0.61	0.57	0.55

Figura7-8

Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico
(eje tándem)

Espesor de losa (mm)	Eje tándem					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.48	3.10	2.94	2.85	2.74	2.72
110	3.07	2.71	2.56	2.47	2.35	2.32
120	2.75	2.41	2.26	2.17	2.05	2.02
130	2.49	2.17	2.02	1.94	1.82	1.78
140	2.27	1.97	1.83	1.75	1.63	1.59
150	2.08	1.80	1.67	1.59	1.48	1.44
160	1.93	1.66	1.53	1.46	1.35	1.31
170	1.79	1.54	1.42	1.35	1.24	1.20
180	1.67	1.43	1.32	1.25	1.15	1.11
190	1.57	1.34	1.23	1.17	1.07	1.03
200	1.48	1.26	1.16	1.10	1.00	0.96
210	1.40	1.19	1.09	1.03	0.93	0.90
220	1.32	1.12	1.03	0.97	0.88	0.85
230	1.26	1.07	0.98	0.92	0.83	0.80
240	1.20	1.01	0.93	0.87	0.79	0.76
250	1.14	0.97	0.88	0.83	0.75	0.72
260	1.09	0.92	0.84	0.79	0.71	0.68
270	1.04	0.88	0.81	0.76	0.68	0.65
280	1.00	0.85	0.77	0.73	0.65	0.62
290	0.96	0.81	0.74	0.70	0.62	0.60
300	0.93	0.78	0.71	0.67	0.60	0.57
310	0.89	0.75	0.69	0.64	0.58	0.55
320	0.86	0.73	0.66	0.62	0.55	0.53
330	0.83	0.70	0.64	0.60	0.53	0.51
340	0.80	0.68	0.62	0.58	0.52	0.49
350	0.78	0.66	0.60	0.56	0.50	0.47