



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA**

TRABAJO DE TESIS:

**CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE PAVIMENTO  
RÍGIDO Y/O FLEXIBLE EN LA REHABILITACIÓN DE LA  
AUTOPISTA DE CUOTA CHAMAPA – LA VENTA.**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

**JOSÉ GUADALUPE SILVA TORRES**

DIRECTOR DE TESIS

**M. I. GABRIEL MORENO PECERO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA NOVIEMBRE DE 2006**



## **AGRADECIMIENTOS:**

◆ **M. I. GABRIEL MORENO PECERO POR SU APOYO,  
TIEMPO Y DEDICACIÓN EN LA ELABORACIÓN Y  
REVISIÓN DE ESTE TRABAJO DE TESIS**

◆ **A LOS SINODALES QUE ME APOYARON  
CON SUS OBSERVACIONES CORRECTAS Y  
OPORTUNAS**

◆ **A MI GLORIOSA FACULTAD DE  
INGENIERÍA**



## ÍNDICE

<b><u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES</u></b> .....	<b>5</b>
I.1.- Situación de la Infraestructura en México.....	6
I.2.- Requerimiento de Infraestructura.....	16
I.3.- Requerimientos de Infraestructura carretera.....	20
I.4.- Autopista Chamapa – La Venta.....	24
<b><u>CAPÍTULO II.- PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES</u></b> ....	<b>38</b>
II.1.- Conceptos Básicos.....	39
II.2.- Generalidades del proceso de diseño.....	148
II.3.- Métodos de Diseño.....	161
II.4.- Métodos de Diseño en la Rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta.....	224
<b><u>CAPÍTULO III.- EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN</u></b> .....	<b>233</b>
III.1.-Proyecto de rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta.....	234
III.2.-Condiciones actuales de la autopista.....	244
III.3.-Alternativas de Pavimentación.....	257
III.4.-Análisis comparativo de las alternativas de pavimentación.....	266
III.5.-Elección de pavimento para el caso de la autopista.	295
<b><u>CAPÍTULOIV.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b> .	<b>320</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>333</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>361</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>365</b>

## **TRABAJO DE TESIS**

# **CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO Y/O FLEXIBLE EL LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

## **ÍNDICE**

<b><u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES</u></b> .....	<b>5</b>
I.1.- Situación de la Infraestructura en México.....	6
I.2.- Requerimiento de Infraestructura.....	16
I.3.- Requerimientos de Infraestructura carretera.....	20
I.4.- Autopista Chamapa – La Venta.....	24
<b><u>CAPÍTULO II.- PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES</u></b> ....	<b>38</b>
II.1.- Conceptos Básicos.....	39
II.2.- Generalidades del proceso de diseño.....	148
II.3.- Métodos de Diseño.....	161
II.4.- Métodos de Diseño en la Rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta.....	224
<b><u>CAPÍTULO III.- EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN</u></b> .....	<b>233</b>
III.1.- Proyecto de rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta.....	234
III.2.- Condiciones actuales de la autopista.....	244
III.3.- Alternativas de Pavimentación.....	257
III.4.- Análisis comparativo de las alternativas de pavimentación.....	266
III.5.- Elección de pavimento para el caso de la autopista.	295
<b><u>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b> .	<b>320</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>333</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>361</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>365</b>

# INTRODUCCIÓN GENERAL

## **INTRODUCCIÓN GENERAL.**

El presente trabajo es mi primer acercamiento al conocimiento de los pavimentos y como tal requerirá mejoras y/o correcciones, y deberá adicionársele información relativa a los avances tecnológicos en todos los aspectos que se contemplan para la generación de vías terrestres. Básicamente es el primer intento por constituir una guía que sirva de orientación al profesional en los conceptos de pavimentos de concreto asfáltico y concreto hidráulico y su aplicación en el campo de las vías terrestres dentro del vasto campo de la ingeniería civil.

Así pues, el presente documento nace del interés por los pavimentos y la necesidad de comprender los conceptos generales de los mismos, que en corto plazo me sirvieron para familiarizarme con la obra de rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta y a largo plazo me servirá de referencia en futuras obras. De esta manera, tuve la oportunidad de aplicar los conceptos aprendidos de pavimentos en un análisis comparativo que identifica las ventajas y beneficios de cada tipo de pavimento; dicho análisis servirá de referencia para justificar la aplicación de la mejor alternativa en base de criterios de Seguridad, Economía y Funcionalidad.

En general se presentan las descripciones de cada tipo de pavimento, su estructuración, las características de los materiales que los constituyen y sus aplicaciones típicas.

Este trabajo se basa en la evaluación estructural del pavimento de la autopista Chamapa – La Venta; dicha evaluación propuso 3 alternativas de rehabilitación. La primera y la segunda alternativas emplean una capa de rodadura de concreto asfáltico y la tercera alternativa constituye una aplicación típica del denominado whitetopping.

En la comparación de las alternativas y la selección de la más adecuada se recurrió a conocer su objetivo, funcionalidad y seguridad, durabilidad y economía, en base de los conceptos básicos de cada tipo de pavimento, identificando los criterios que determinen la conveniencia de aplicar una u otra opción. Así pues, se manifiestan los beneficios de cada tipo de pavimento, especialmente en lo que se refiere al costo de construcción y el mantenimiento que suponen.

En general la primera alternativa consiste en un corte de carpeta asfáltica deteriorada en aproximadamente 10 cm. y la posterior reposición 12 cm de espesor con concreto asfáltico normal y una sobrecarpeta de 3cm de espesor con alta adherencia y resistencia al desgaste.

La segunda alternativa se trata de un corte de 10cm de espesor de la carpeta deteriorada y dicho material se desperdicia. Luego se realiza un corte del espesor de carpeta asfáltica faltante y hasta llegar a nivel de base y subbase; los materiales de este segundo corte se recuperan y se estabilizan con cemento para conformar una nueva base del pavimento. Finalmente se procede con la colocación de una carpeta asfáltica nueva de 12cm de espesor de concreto asfáltico normal, cubierta por una

sobrecarpeta de alto rendimiento de 3cm de espesor como en el caso de la primera alternativa.

La tercer alternativa consiste en la aplicación típica del whitetopping (Capa de rodamiento elaborada con concreto hidráulico), previa reparación de los agrietamientos y baches más severos.

Es importante observar que tanto el pavimento rígido como las alternativas de pavimento flexible ofrecen diferente grado de seguridad, distintos requerimiento de tecnología y procesos constructivos, y sobre todo distintos resultados económicos.

Por último, este trabajo trata generalidades de los métodos de diseño de pavimentos que más se emplean actualmente (AASHTO, PCA y Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM) y las consideraciones de cada uno de ellos; presenta los beneficios del uso de modelos mecanístico-empíricos, así como también el proceso que se debe seguir para efectuar un diseño de pavimentos, plantea las características de los materiales empleados actualmente en la labor de pavimentación y hace énfasis en la importancia de los pavimentos en la infraestructura nacional actual en un sistema en desarrollo, que demanda cada vez más y mejores recursos humanos con capacidad para el diseño, la construcción y operación de las nuevas obras viales

sobrecarpeta de alto rendimiento de 3cm de espesor como en el caso de la primera alternativa.

La tercer alternativa consiste en la aplicación típica del whitetopping (Capa de rodamiento elaborada con concreto hidráulico), previa reparación de los agrietamientos y baches más severos.

Es importante observar que tanto el pavimento rígido como las alternativas de pavimento flexible ofrecen diferente grado de seguridad, distintos requerimiento de tecnología y procesos constructivos, y sobre todo distintos resultados económicos.

Por último, este trabajo trata generalidades de los métodos de diseño de pavimentos que más se emplean actualmente (AASHTO, PCA y Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM) y las consideraciones de cada uno de ellos; presenta los beneficios del uso de modelos mecanístico-empíricos, así como también el proceso que se debe seguir para efectuar un diseño de pavimentos, plantea las características de los materiales empleados actualmente en la labor de pavimentación y hace énfasis en la importancia de los pavimentos en la infraestructura nacional actual en un sistema en desarrollo, que demanda cada vez más y mejores recursos humanos con capacidad para el diseño, la construcción y operación de las nuevas obras viales



# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

I.1.-  
Situación de la  
Infraestructura en  
México

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se reflexiona sobre la situación que el país vive en lo correspondiente al transporte y a la necesidad de éste para el movimiento de materiales para el sector productivo.

Además se hace una breve descripción del papel de cada tipo de transporte (aéreo, naval, ferroviario y carretero) en un sistema que tiende a ser integral y globalizado.

Se hace énfasis en la necesidad de generar inversiones de capital para crear un sistema de transporte que sea rápido, seguro y con menores costos de operación, buscando las ventajas de cada uno de los tipos de transporte y adecuándolas a las necesidades de la industria, del campo, de los centros urbanos y turísticos de México.

Por último se desarrolla información sobre el sector carretero, las redes existentes y sus necesidades de modernización y ampliación que actualmente se atienden con inversiones mixtas de capital privado y público mediante diversos esquemas de concesión.

### I.1.- SITUACIÓN ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA EN MÉXICO

#### I.1.1.- SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE.

La evolución económica del país plantea nuevos retos de modernización en los diferentes sectores comerciales; así pues, **la integración de México a la economía globalizada requiere de transformaciones internas que involucran la modernización de la infraestructura.**

**Todas las actividades que inciden en el desarrollo de los países y en la rapidez con que se produce el bienestar en los mismos, dependen de varios aspectos, entre ellos en forma implícita el transporte.**

El transporte es una de las actividades prioritarias para la industria nacional por lo que su participación en mercados nacionales y extranjeros es cada vez mayor, lo que obliga a mejorar permanentemente su servicio para obtener la preferencia de un consumidor.

**Actualmente la infraestructura del transporte en México, se ubica en un proceso de desarrollo que involucra la participación de la inversión privada en combinación con recursos federales.** De hecho, las empresas más dinámicas están dando prioridad a alianzas estratégicas para reducir costos, y evitan entraparse en competencias tarifarias en el transporte.

Con este tipo de inversiones se pretende enlazar en forma rápida, segura, y con menores costos de operación, las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como a los centros urbanos y turísticos más importantes del territorio nacional.

### **I.1.2.- DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE.**

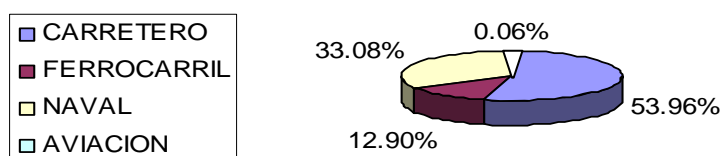
Los transportes (ferrocarril, barco, automóvil y aviación comercial) funcionan como **factores decisivos en la satisfacción de las necesidades del mundo contemporáneo.**

La infraestructura en México tiene **características técnicas como volumen de tránsito, operación, conservación, mantenimiento, etc. que se vuelven insostenibles** respecto a su capacidad y costo.

La coordinación en México de los distintos modos de transporte es deficiente. **La infraestructura y el equipo de transporte tienen características unimodales**, pues existe poca o nula organización en las cadenas de transporte para reducir costos y tiempos de maniobra.

Actualmente en México es necesaria **una modernización integral y con miras a complementar el transporte existente**, con las respectivas interrelaciones proyectadas a **largo plazo**. Los requerimientos de modernización y crecimiento económico del transporte demandan el incremento de la **capacidad, eficiencia y competitividad de la infraestructura.**

#### **DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE**



Gráfica 1. Distribución actual del transporte según datos del INEGI. (2004)

### **I.1.3.- EL SISTEMA FERROVIARIO**

Este sistema cuenta actualmente con **tres líneas troncales principales** y da su servicio mediante una **extensión de 26 613 kilómetros. Cubre todos los estados del país, con excepción de Baja California Sur y Quintana Roo.**

Las líneas troncales o **principales son la Noroeste, la Pacífico Norte y la Sureste.** Actualmente el ferrocarril recupera la carga que por sus características debe ser transportada por este medio. **Se moderniza la red ferroviaria, haciéndola más rentable y orientada, principalmente, hacia el mercado de carga. Dicha modernización es impulsada por la privatización del sector,** la regulación de las relaciones entre concesionarios, entre prestadores de servicio y usuarios.

En términos de toneladas-kilómetro, los nuevos concesionarios movilizan el 98% del tráfico ferroviario y operan el 81% de las vías principales

Según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (**SCT**), **con la inversión privada se ha recuperado ligeramente el volumen de carga que se había perdido en años anteriores.** Se vislumbra la mejora continua y un incremento mayor de volúmenes. En los resúmenes que presenta esta institución, se manifiestan avances en los sistemas de control administrativo, la movilización proporcionalmente mayor de carga que de personas, la disminución de robos de mercancías, el incremento en la inversión para el mejoramiento de la infraestructura y la adquisición de nuevos y mejores equipos; así como el incremento de los ingresos y la reducción de los costos de operación.

Así mismo, con la “Reestructuración del Sistema Ferroviario Mexicano”, **se continúan los estudios para dotar a la Zona Metropolitana del Valle de México de un servicio de transporte ferroviario de pasajeros suburbano confiable, eficiente, moderno y de bajo impacto ambiental.** En este sentido, se han configurado tres corredores principales, Buenavista-Cuautitlán-Huehuetoca, Naucalpan - Ecatepec y Los Reyes-Aragón. Se ha considerado la importancia de utilizar la infraestructura existente en 240 km. de vías férreas y el derecho de vía que existe en estas zonas, manteniendo una coordinación con los gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal.

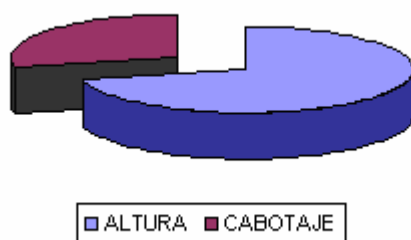


Figura 1. La red ferroviaria en México.

En lo que se refiere a la privatización, de acuerdo con la referencia 9, al mercado del transporte ferroviario no le devolverá los grandes volúmenes que se movilizaban cuando el ferrocarril constituyó su monopolio, sino que debe primeramente superar su deterioro y posteriormente aumentar su capacidad competitiva con en servicio de autotransporte. Así pues se tiene proyectado que con esta intervención se lograra pasar de 15% de participación en movilización de carga nacionalmente al 25% en el año 2025.

#### **I.1.4.- EL TRANSPORTE MARÍTIMO**

**El transporte de mercancías por agua es el segundo modo de movilización en importancia en nuestro país, pues traslada alrededor de 33% del total de la carga (254.8 millones de toneladas anualmente).** Sin embargo, este transporte atraviesa una severa crisis principalmente en cuanto a la distribución de la carga.



Gráfica 2. Distribución del transporte marítimo por tipo de tráfico.

Esta distribución se debe principalmente a la **baja oferta que existe de embarcaciones mexicanas que estén en condiciones de prestar un servicio competitivo** y por las restricciones para la prestación del tráfico de cabotaje.

Actualmente se aplican **programas para el crecimiento de la flota mercante mexicana con estímulos económicos y la reserva de ciertos tráficos estratégicos para la marina nacional.**

Así pues el sector marítimo en México promueve el fortalecimiento de la flota mercante y con ello busca garantizar las condiciones competitivas propias de un mejor costo-país.

Como parte de la infraestructura marítima se ubica la correspondiente a sus puertos, donde se almacena y distribuye la carga de contenedores cada vez de mayor tonelaje. Así entonces, los requerimientos técnicos y económicos de los pavimentos en los puertos se vuelven relevantes por la necesidad creciente de manejar volúmenes considerables de carga.

**En los puertos generalmente se usa el concreto hidráulico por las condiciones implícitas del ambiente de mar, es más resistente al desgaste por agentes climáticos y tolera, con los respectivos aditivos, las agresiones de humedad y calor.**



Figura 2. Puertos más importantes de México.



### **I.1.5.- AEROPUERTOS**

**En cualquier país, la red aeroportuaria tiene gran importancia debido a que este transporte es rápido, seguro, y eficiente para el traslado de personas y mercancías de una parte a otra**

A partir de la II Guerra Mundial este transporte recibió un gran impulso tecnológico con fines militares, el cual actualmente se aplica en la aviación comercial para el manejo de mayores volúmenes de carga y la rapidez de su traslado.

Así pues, hoy en día la Industria Aeronáutica produce aviones tan rápidos como la velocidad del sonido y en la aviación comercial se utilizan grandes naves para pasajeros y carga, condiciones que se muestran como exigencias para los pavimentos de los aeropuertos.

**En general, conforme se da el incremento en la capacidad de carga de los aviones modernos, evoluciona también la necesidad de crear infraestructura de pavimentos adecuada.**

#### **I.1.5.1- RED AEROPORTUARIA MEXICANA**

El transporte aéreo ha tenido un gran crecimiento en los últimos 40 años en Latinoamérica, siendo Argentina, Brasil, Colombia, México y Venezuela los países con mayor número de kilómetros volados en líneas aéreas regulares.

**Desde los años 80 México cambió su política proteccionista a una apertura al capital privado (nacional y extranjero), reduciendo o eliminado los subsidios y ofreciendo los servicios de transporte bajo criterios económicos de rentabilidad privada.** En la década anterior, México se involucró más en el modelo neoliberal y privatizó: primero las aerolíneas (1988) y el autotransporte (1989), siguiendo los puertos (1993), después el ferrocarril (1996), más recientemente los aeropuertos (1998). **REF. \*8**

En el proceso de globalización cada vez son más los productos transportados por el modo aéreo observándose que las aerolíneas internacionales de carga y de pasajeros cada día aumentan su capacidad. Consecuentemente, también junto con la modernización de los aeropuertos avanza la infraestructura de pavimentos para pistas y plataformas.



### I.1.6.- CARRETERAS

**México cuenta con 342, 000 kilómetros de carreteras, básicos para el flujo y la distribución de bienes y servicios. (INEGI 2006)**

En este sistema resaltan 14 corredores principales que entrelazan zonas de producción industrial y agropecuaria y las más importantes ciudades de la República.



Del total de caminos en México, **sólo 32.80% son carreteras pavimentadas, en tanto que 67.2%, son terracerías o caminos revestidos. REF. \*3**

**Según la referencia 3, el 50.8%, de la red libre a cargo de la SCT se encuentra en mal estado,** lo que provoca un sobrecosto de operación a los usuarios de las carreteras por el mayor uso de combustibles, lubricantes, y llantas, entre otros.

**La extensión de las autopistas de cuota es de 6,429 kilómetros (las administradas por CAPUFE, por las concesionarias y por los gobiernos estatales).** Sin embargo su uso se limita por el alto costo del peaje que constituye un problema adicional al transportista, que a veces opta por utilizar caminos donde la seguridad (por accidentes o delitos) no está garantizada.



Corredores del Sistema Carretero Nacional

Situación actual de los Corredores Carreteros

CORREDOR	Longitud	Longitud modernizada		Longitud pendiente por modernizar	
	KM	KM	%	KM	%
México - Nogales con ramal a Tijuana	3,074.5	2,127.5	69.2	947.0	30.8
México - Nuevo Laredo con ramal a Piedras Negras	1,734.9	1,537.0	88.6	197.9	11.4
Querétaro - Ciudad Juárez	1,755.2	1,474.2	84.0	281.0	16.0
Veracruz - Monterrey, con ramal a Matamoros	1,296.8	895.2	69.0	401.6	31.0
Puebla - Progreso	1,327.5	952.5	71.8	375.0	28.2
Mazatlán - Matamoros	1,241.0	983.0	72.0	348.0	28.0
Puebla - Oaxaca - Ciudad Hidalgo	1,007.0	565.0	56.1	442.0	43.9
Manzanillo - Tampico, con ramal a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo	1,856.4	1,057.4	57.0	799.0	43.0
Circuito Transistmico	702.4	293.4	41.8	409.0	58.2
Acapulco - Tuxpan	831.9	688.4	82.8	143.5	17.2
Acapulco - Veracruz	851.0	687.0	80.7	164.0	19.3
Altiplano	602.0	50.0	8.3	552.0	91.7
Transpeninsular de Baja California	1,776.2	158.2	8.9	1,618.0	91.1
Peninsular de Yucatán	1,219.0	413.0	33.9	806.0	66.1

Figura 6. Corredores e información de modernización carretera  
 Publicación Técnica No. 233. Sanfandila, Qro., 2003. SCT

**El desarrollo global de las economías, el futuro de la infraestructura en México apunta a la concesión.** En los ferrocarriles, la aviación, y las carreteras, **la inversión del sector privado** es una oportunidad para que el país logre: incrementar su capacidad de transporte de carga, de bienes y servicios, el mejoramiento de la calidad de servicio y atención a clientes; eliminar los subsidios a la operación y aportaciones del estado para inversiones; alcanzar mayores inversiones en infraestructura y equipo, mejor eficiencia operativa; y el disminuir la frecuencia de accidentes con miras al aumento general de la productividad.

## I.2.- Requerimientos de Infraestructura

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se mencionan los requerimientos de infraestructura en base de un panorama de crecimiento poblacional. Se hace énfasis en la necesidad de adecuar el sistema carretero para lograr mejorar las condiciones generales del transporte nacional, generando una eficaz y eficiente relación con las demás redes de transporte existentes.

### **I.2- REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA**

A partir de la revolución industrial se manifestó que **el desarrollo de infraestructura está íntimamente ligado con el bienestar económico de la población de cualquier país.**

**México para el año 2020 alcanzará los 120 000 000 de personas, que necesitan atención en diversos servicios y demandan, entre éstos, un servicio de calidad en transporte terrestre.**

Actualmente la población en México está distribuida de tal manera que el 80% se localiza en la zona urbana; entre sus necesidades básicas figura la ubicación de espacios para la creación de nuevas industrias, vivienda y en ese sentido **se deberán incorporar 5600 hectáreas anuales por crecimiento demográfico, de las cuales 20 000 000 m<sup>2</sup> serán para vialidades. REF\*1**

En atención a lo anterior, la infraestructura actual necesita **una modernización que complemente y unifique los modos de transporte, atendiendo específicamente las situaciones de cada uno de ellos, sus potencialidades y sus posibles formas de integración en el largo plazo.**

“Esta situación en la Ciudad de México se vuelve mas compleja cuando se prevé que para el año 2020, estará conurbana con Puebla, Pachuca, Toluca, Cuernavaca, San Juan del Río, Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato, Silao, León” **REF\*1**, debemos entonces **planear los requerimientos de infraestructura, dotándonos de los elementos de tecnología moderna, ampliando las redes de transporte y adoptando las innovaciones** como el autobús eléctrico, trenes de alta velocidad, avión supersónico, autopista inteligente, y aquellos que garanticen el flujo de carga y personas para la nueva ciudad.

**Entre otros requerimientos deberán planearse las diversas relaciones entre las redes de transporte existentes, proyectarse adecuadamente otros sistemas de transporte, así como coordinar las relaciones entre los sistemas existentes como el metro, el tren ligero, los ferrocarriles suburbanos y los nuevos sistemas o ampliaciones de los mismos;** todo ello con la finalidad de integrar un esquema de infraestructura que permita la fácil, segura y rápida circulación en la urbe.

Por último se menciona el apremio que existe en construir las nuevas carreteras que complementen el sistema actual con la aplicación de pavimentos rígidos y flexibles en la pavimentación.



Como parte de la red de infraestructura actual, se puede ubicar ahora a la autopista Chamapa - La Venta, que facilita el transporte entre el Distrito Federal y la ciudad de Toluca.

En este trabajo se plantea la necesidad de rehabilitar la autopista de cuota Chamapa - La Venta, haciendo referencia a los estudios de evaluación de las condiciones del pavimento viejo. Y en base a varias alternativas para pavimentar, se decide y da seguimiento al proceso constructivo del tipo de pavimento elegido.

### **I.2.1- LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES COMO PARTE DE LA INFRAESTRUCTURA EN MÉXICO**

**La infraestructura de pavimentos se proyecta ahora con exigencias mayores de resistencia, durabilidad y con soporte en un buen costo de construcción y conservación.** La construcción de infraestructura de pavimentos con asfalto se ha visto favorecida porque México es aún un país productor de petróleo. Esta situación se aprovechó en varias décadas y fue hasta los años 90, cuando adquiere relevancia el uso de los pavimentos de concreto hidráulico.

**Actualmente se tiene una tendencia a adoptar tecnologías favorables al concreto hidráulico, extendiendo el uso de este tipo de pavimento para la construcción y ampliación de carreteras, pues con ello se obtienen, en la mayoría de los casos, menores costos de conservación, ahorros en combustibles para vehículos pesados, el mejoramiento de las superficies de rodamiento y mayor seguridad.**

En México se sigue usando mayormente el pavimento asfáltico, que tiene igual disponibilidad que el concreto hidráulico, pues ambos son materiales abundantes en nuestro país, y a su alrededor se ha desarrollado todo un parque de maquinaria y tecnologías disponibles para seguir aprovechándolos. En estas condiciones, el proyectista y constructor de pavimentos debe beneficiarse de las ventajas de cada tecnología para ampliar la infraestructura carretera del país.

Entonces para que México desarrolle nuevas y mejores carreteras, seguras y más modernas, más resistentes y durables, con mejores superficies de rodamiento y que requieran, por su calidad, menores recursos para su conservación y mantenimiento debe siempre realizarse un análisis comparativo de estos pavimentos y decidir por la mejor opción.

Cabe aclarar que **la finalidad de este trabajo no es promover el uso del concreto hidráulico ni del concreto asfáltico, sino mostrar como evaluar las alternativas de pavimentación en base de parámetros objetivos, económicos y técnicamente definidos. Dicha evaluación se base en criterios de autoridades, proyectistas, constructores, fabricantes de mezcla y de equipo, investigadores, así como especialistas en conservación de carreteras.**



I.3.-  
Requerimientos de  
Infraestructura  
carretera

## **INTRODUCCIÓN**

En esta parte se plantean los procedimientos que se aplican actualmente para satisfacer los requerimientos de infraestructura carretera con inversión mixta y los beneficios que se obtienen tanto para el Estado como para la inversión privada.

### **1.3.1.- EL SECTOR COMUNICACIONES**

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, **(SCT)**, **administra el desarrollo de la red carretera, la regulación del transporte y su ampliación y modernización, y se dedica a la conservación de caminos y autopistas.**

La infraestructura carretera consiste de **caminos, carreteras libres, de cuota y vialidades urbanas primarias y secundarias.** Esta infraestructura en la Ciudad de México se “complementa” con el sistema de transporte colectivo del Metro, las líneas férreas y aeropuertos y recientemente, en la Ciudad de México, con el metrobús.

En general las obras y las acciones del sector carretero se orientan principalmente a la conservación y modernización, la ampliación y mejoramiento del servicio público de transporte; **con dicha finalidad la SCT realiza actividades como atender tareas de investigación, desarrollo tecnológico, asistencia técnica de alto nivel y normalización en materia de planificación, proyecto, construcción y explotación de las redes viales, incluyendo los aspectos de ingeniería de tráfico y seguridad de la circulación.**

### **1.3.2.- LA PRIVATIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA**

México cuenta con una **amplia cobertura carretera con miras a lograr la modernización en los próximos 10 años;** en el impulso a ello se utilizan ahora **recursos federales y privados en combinación.**

**En América Latina, especialmente en Argentina, Chile, México y Perú, se aplica la privatización de la infraestructura, lo cual la convierte en pivote de los programas de reforma económica.**

Desde finales de la década de los ochenta y durante los noventa se ejecutó en México una política activa de privatización y siguiendo la misma tendencia de privatización de varias actividades económicas del país (teléfonos, electricidad, puertos, agua, carreteras), la infraestructura se ha abierto al capital privado. Este sector que por décadas había estado totalmente reservada al Estado, acepta la inversión de capital privado nacional y extranjero, mediante las diversas concesiones que se ofrecen para construir, operar, mantener y conservar cientos de kilómetros carreteros, durante períodos de 20 a 30 años.

El gobierno actual plantea y fomenta los programas de privatización generalizada con políticas y reformas económicas, que han fortalecido la privatización carretera y le han dado credibilidad y viabilidad a esta inversión. Con esta forma de “privatización” el estado se libera de la tarea de conservar o mejorar el nivel de servicio de la red vial existente con el uso exclusivo de recursos federales.

### **1.3.3.- ESQUEMAS DE INVERSIÓN CARRETERA EN MÉXICO.**

Estos esquemas **son cambios estructurales manifestados en la apertura y regulación del capital privado**, que permite la entrada de nuevos prestadores de servicios; la diversificación de éstos y la ampliación de rutas. Con estas formas de inversión **se busca consolidar la infraestructura carretera, haciéndola más segura, eficiente, moderna y rentable, proporcionando un servicio de calidad que coadyuve a la integración regional.**

Estos esquemas se han aplicado en los últimos quince años. **Son diseñados por SCT y BANOBRAS para el desarrollo de infraestructura carretera con participación del sector privado mediante la mezcla de capital de riesgo privado, créditos bancarios y recursos federales y estatales** en proporciones determinadas con base en las características propias de cada proyecto. **Estas inversiones permitirán obtener una tasa de rentabilidad razonable para el capital privado y un uso más eficiente de los recursos públicos.**

#### **Sus principales características son:**

- Las concesiones **se otorgan mediante licitación pública**
- Se adjudican al participante con la propuesta técnica y financiera que cumple los requisitos establecidos en las bases del concurso y solicita el menor monto total de recursos públicos.
- El plazo de concesión es fijo, de 25 a 30 años, conforme a la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.
- Los proyectos ejecutivos y los estudios de impacto ambiental de las obras son entregados por la SCT a todos los licitantes.
- Los derechos de vía liberados son entregados por el gobierno al licitante ganador.
- El gobierno realiza una aportación inicial de recursos públicos a cada proyecto.

- El gobierno se compromete a efectuar una aportación subordinada, en caso necesario, para asegurar el pago de los créditos usados para la construcción de las obras.
- El gobierno establece las tarifas medias máximas a cobrar en la vía y establece las reglas para su actualización periódica según el comportamiento de la inflación, de manera que resulten acordes con la capacidad de pago de los usuarios
- En caso de que la inversión privada sea recuperada por las concesionarias antes de lo planeado, el excedente se compartirá, conforme a reglas previamente acordadas, entre el concesionario y BANOBRAS, en su calidad de proveedor de recursos públicos al proyecto.

De acuerdo con informes de la SCT alrededor del 90% de las cargas se mueve por las carreteras nacionales, y de ello, junto con las potencialidades de inversión planteadas anteriormente para este sector, se deriva la importancia que tiene para el proyectista de pavimentos, el **conocimiento de los criterios de diseño y construcción de los mismos empleando distintos materiales.**

I.4.-  
Autopista  
Chamapa – La Venta

## **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se introduce al lector en el conocimiento de las características de la autopista Chamapa – La Venta, entre las cuales sobresalen: su topografía, su geología, el clima de la región, su ubicación geográfica, su desarrollo geométrico y los procedimientos empleados en su conservación y mantenimiento. Esta información resulta relevante cuando se definen los parámetros de diseño empleados en la rehabilitación y para dotar de cierto peso a los criterios de elección del tipo de pavimento.

### **I.4.- AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

La administración de la autopista Chamapa - La Venta en el estado de México corre a cargo de la “Concesionaria de Vías Troncales”

Con fecha del 21 de agosto de 1992, el gobierno del Estado de México, por conducto de la SCT, otorgó a favor de PACSA un título de concesión por 15 años para la operación, explotación, administración y conservación de su ramal Interlomas.

En noviembre de 1998 el gobierno modificó a solicitud de PACSA el plazo de la concesión de 15 a 25 años, con lo cual la concesión concluye en 2017.

Con fecha de 11 de mayo de 2000, se celebró convenio de cesión onerosa de derechos y obligaciones entre **PACSA\*1** y concesionaria Chamapa – La Venta S.A. de C. V., entonces PROMOTORA INBURSA S.A. de C. V. para la cesión de todos los derechos y obligaciones derivados de la concesión.

Actualmente, la administración cambia de razón social y se denomina: Promotora para Infraestructura para el Desarrollo de América Latina, PROMOTORA IDEAL, y queda a cargo de la Subdirección de Inversión en Autopistas y tiene bajo su responsabilidad la autopista Chamapa – La Venta.

**\*1.-** PACSA (Promotora y Administradora de Carreteras, S. A. de C. V.)

### 1.4.1.- DATOS GENERALES

#### TOPOGRAFÍA

La autopista se desarrolla en **lomerío fuerte y montaña** lo cual determina secciones de corte y terraplén.



Fotografía No. 1  
La autopista atraviesa zonas con lomerío fuerte



Fotografía No. 2  
Secciones de corte y terraplén.

## **GEOLOGÍA**

La autopista Chamapa – La Venta se localiza en la **Provincia Fisiográfica del Altiplano Mexicano con formaciones del Terciario, constituidas por rocas ígneas extrusivas**, además con formaciones de **suelos del Cuaternario, principalmente constituidos por depósitos de limos, arenas y arcillas. (Zona de bancos de explotación de arenas)**



Fotografía No. 3  
Minas de las que se extrae tepetate, grava y arena



Fotografía No. 4  
Zonas ya explotadas de las minas  
se convierten en rellenos



## CLIMA

Predomina el clima **templado subhúmedo C(w<sub>2</sub>)(w) con lluvias en verano** y con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, según la clasificación de Köppen modificada por E. García. La temperatura media anual oscila en los 14 °C (frío) y la precipitación total anual es de 700 mm.



Fotografía No. 5  
La lluvia constituyó un factor adverso durante el tendido de asfalto



Fotografía No. 6  
Es una zona que presenta lluvias intensas en época de precipitaciones

## **DRENAJE**

Cuenta con **obras de drenaje que se consideran suficientes** porque las obras **atraviesan el cuerpo principal de la autopista y desalojan los escurrimientos de un drenaje de tipo paralelo;** superficialmente los escurrimientos de la corona son encauzados por **bordillos, lavaderos y cunetas.**



Fotografía No. 7

Obsérvese la pendiente, la cuneta y el bordillo como medidas de drenaje superficial



Fotografía No. 8  
Caja de captación



Fotografía No. 9  
Esgurrimiento y cuneta

## 1.4.2.-DESCRIPCIÓN DEL TRAMO

### UBICACIÓN

El tramo se localiza al **poniente de la Ciudad de México**; es **parte de la autopista Lechería – La Venta**, que constituye un anillo periférico de la zona conurbada de la ciudad de México, localizada al poniente de la misma.

**Se conecta directamente en el lado sur con la autopista México-Toluca y al norte con la autopista de México-Querétaro.**

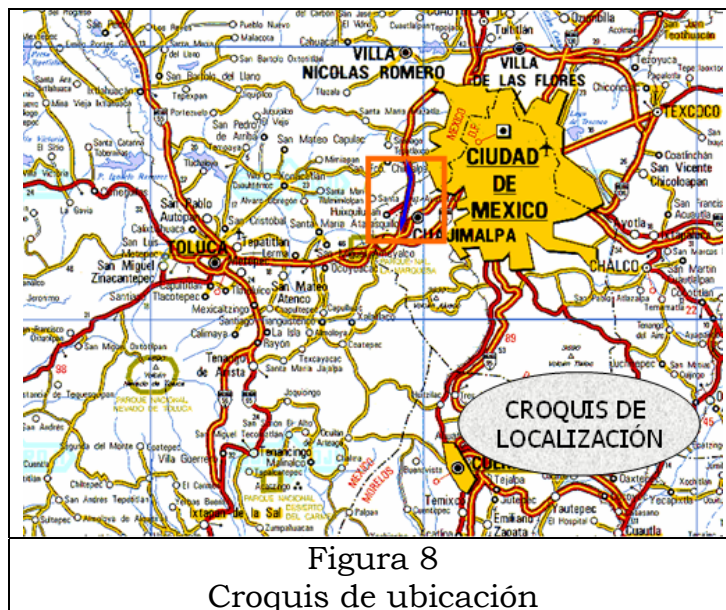


Figura 8  
Croquis de ubicación

### 1.4.3.- ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de la autopista se **concluyó en 1992**. Su construcción **permite un menor recorrido norte – sur por el lado poniente de la ciudad de México, en un tiempo menor al que se empleaba antes de que existiera esta obra.**

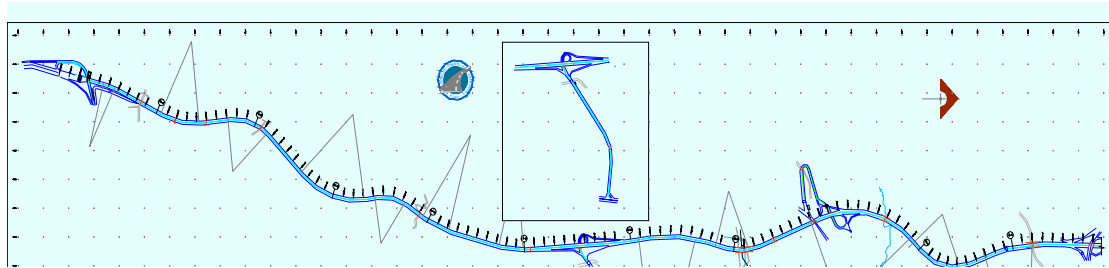


Figura 9  
Planta de la autopista

Como ya se mencionó, la topografía es de lomeríos y debido a ello la autopista presenta cortes y terraplenes altos; además cuenta con varios **puentes de gran importancia.**



Fotografía No. 10  
Existen zonas con cortes de hasta 25m.

Tiene varios Entronques: El de Naucalpan, el de Huixquilucan y el de Interlomas



Fotografía No. 11  
Caseta de Chamapa (Km. 27+200)  
Ubicada en el entronque con Naucalpan



Fotografía No. 12  
Caseta de Huixquilucan (km. 30+000)  
Ubicada en el entronque con Huixquilucan





Fotografía No. 13  
Caseta de Interlomas (km. 35+000)  
Ubicada en el entronque con Interlomas



Fotografía No. 14  
Caseta de La Venta (Km 37+000)

La siguiente fotografía se obtuvo con un programa denominado Google Earth, y en ella se observa la ubicación de la autopista, sus entronques, sus casetas, la topografía y la urbanización en donde se desarrolla.

**Fotografía No. 14.** Fuente: Google Earth

## PUENTES DE IMPORTANCIA



Fotografía No. 15  
Puente del Ahorcado. Km. 30+100



Fotografía No. 16  
Puente del. Km. 31+200



#### 1.4.4.- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

- La autopista es del **tipo A4 (de altas especificaciones y cuatro carriles)**
- Construida con **pavimento flexible**
- Tiene **dos cuerpos** cuya separación al centro es con una barrera de concreto hidráulico (triblock)
- Tiene **dos carriles de circulación y acotamientos por sentido de circulación**
- **Anchos de carril 3.5 m**
- **Acotamiento exterior 2.5m**
- Fue diseñada para una **velocidad de proyecto de 110 km/h**
- Geométricamente está limitada por un derecho de vía escaso

#### 1.4.5.- ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

- **Carpeta asfáltica de 22 cm.**
- **Base hidráulica de 18 cm.**
- **Sub-base hidráulica de 13 cm.**
- **Subrasante de espesor variable, con secciones en corte y terraplén de altura variable.**

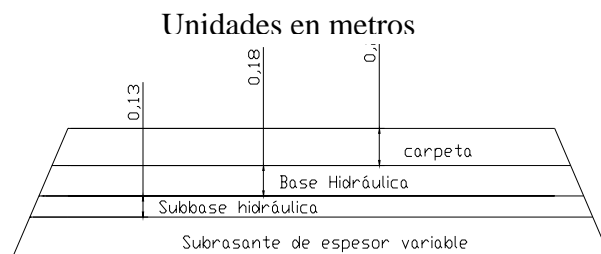


Figura 10. Estructura del pavimento.

#### **1.4.6.- TRABAJOS DE CONSERVACIÓN**

Básicamente han consistido en:

- Reparación de baches superficiales y profundos.
- Renivelaciones en la entrada y salida de puentes y en terraplenes inestables.
- Aplicación de riegos de sello.
- Aplicación de open graded.
- Colocación de sobrecarpeta asfáltica en algunos subtramos.
- Labores de mantenimiento normal (Barrido, pinturas, sustitución de señalamiento, traficonos, etc.).
- Remoción de material de deslaves de cortes.
- Limpieza de obras menores.
- Reposición de algunos elementos.

En esta ecuación la incógnita es el espesor de la losa del pavimento y las variables consideradas en el diseño son:

$W_{18}$	86, 615, 989 ejes equivalentes
$Z_R$	Valor correspondiente a la confiabilidad del 90%
$S_0$	0.39
$p_o$	4.5
$p_t$	2.5
$S_c$	682.71 psi (1psi = 63.27 x 10 <sup>-3</sup> Kg/cm <sup>2</sup> )
$J$	2.7
$Cd$	1.1
$E_c$	4, 000, 000 psi
$k$	700 pci

**Para efectuar los cálculos y obtener el espesor de la losa, se utilizó un programa de cómputo editado por Cementos Mexicanos (SISTEMA PAVIMENTOS DE CONCRETO)**

**Resultados del programa:**

<b>Capa</b>	<b>Espesor (cm.)</b>
Losa de concreto hidráulico	28cm
Sub-base estabilizada con cemento	15cm

Una vez revisado el diseño de la alternativa del pavimento rígido y del flexible, resulta conveniente analizar su proceso constructivo implícito para comprender mejor su comportamiento para el periodo de diseño correspondiente, lo cual se hace en el siguiente capítulo.

# CAPÍTULO III.- EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN

III.1.-  
Proyecto de  
rehabilitación de la  
Autopista Chamapa – La  
Venta.

### **III.1.- PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

**El proyecto de rehabilitación al que se refiere el presenta trabajo de tesis se planeó para ambos cuerpos que integran la obra vial en toda su longitud.** Esta rehabilitación se fundamenta en una evaluación de las condiciones que guardaba la estructura del pavimento en el cuerpo derecho de la Autopista Chamapa – La Venta; en dicha evaluación se plantearon varias alternativas de rehabilitación del pavimento, **con el objetivo de mejorar sus condiciones de servicio, dado que se trata de una autopista de cuota.**

**El proyecto propuso rehabilitar los tramos del Km. 27+200 al Km. 29+300, del lado derecho y Km. 32+500 a 38+000 del lado izquierdo; sin embargo, dado que las condiciones de deterioro son menos severas en el cuerpo izquierdo y no ameritan aún dicha inversión, se optó por rehabilitar sólo el cuerpo derecho, pues presentó un estado de deterioro más severo.** A continuación se remiten los aspectos más importantes del proyecto de rehabilitación para poder evaluar las alternativas de solución al deterioro del mencionado cuerpo de la autopista Chamapa – La Venta.

#### **III.1.1.- ANTECEDENTES**

**La autopista citada** se encuentra al poniente de la Ciudad de México, en las cercanías de la Sierra de las Cruces y se desarrolla en **topografía de lomerío fuerte y montaña, y por ello presenta cortes de hasta 30 m de altura y terraplenes de magnitud importante,** así como puentes y diversos entronques que ya fueron señalados en el 1. Esta autopista **fue construida hace 10 años y consta de dos sentidos de circulación, con separador central constituido por de piezas precoladas.**

**Respecto a la geología se puede anotar que los materiales locales son de origen volcánico,** tales como tobas con diferentes grados de alteración y cementación, así como piroclásticos y depósitos de aluvión y arena pumítica.

**El clima de la zona se clasifica como de tipo templado subhúmedo,** con lluvias en verano C ( $w_2$ ), temperatura media anual de 14°C y precipitación media anual de 700 mm.

**Es importante señalar que la autopista ha sido mantenida con colocaciones de sobrecarpetas y tratamientos superficiales como los riegos de sello; sin embargo el comportamiento del pavimento se consideró poco satisfactorio, requiriéndose la evaluación para determinar los trabajos de rehabilitación que se requieran para adecuar el pavimento para un horizonte de servicio de ocho años.**

### III.1.2.- ESTUDIOS EFECTUADOS PARA RESPALDAR LA REHABILITACIÓN

La **evaluación del pavimento** se realizó en los tramos antes mencionados y consistió en los siguientes conceptos:

- **Levantamiento topográfico de los dos carriles** considerados en el sentido de circulación establecido.
- **Levantamiento visual de daños** superficiales del pavimento.
- **Medición de deflexiones** con un deflectómetro de caída libre, producidas por el efecto de un impacto, utilizando el dispositivo (FWD) Dynatest 8081, mediante los cuales es posible determinar los módulos elásticos de los materiales.

**Sobre los resultados obtenidos de dichos estudios se puede resumir que las mediciones de deflexiones en el pavimento se efectuaron utilizando una carga equivalente a (8.17ton), simulando el efecto del paso de un vehículo cargado.** Con el dispositivo (FWD) se pudieron determinar las **dimensiones y forma de la cuenca de deflexiones**; conocidas éstas y empleando un programa de computación especial, **se determinaron los módulos elásticos de las diferentes capas del pavimento**, incluyendo la capa subrasante; **se logró también identificar la capa débil, efectuar el pronóstico de vida remanente y finalmente definir el espesor de una sobrecarpeta de concreto asfáltico como refuerzo del pavimento para el horizonte analizado.**

Las deflexiones medidas se muestran en la figura siguiente.

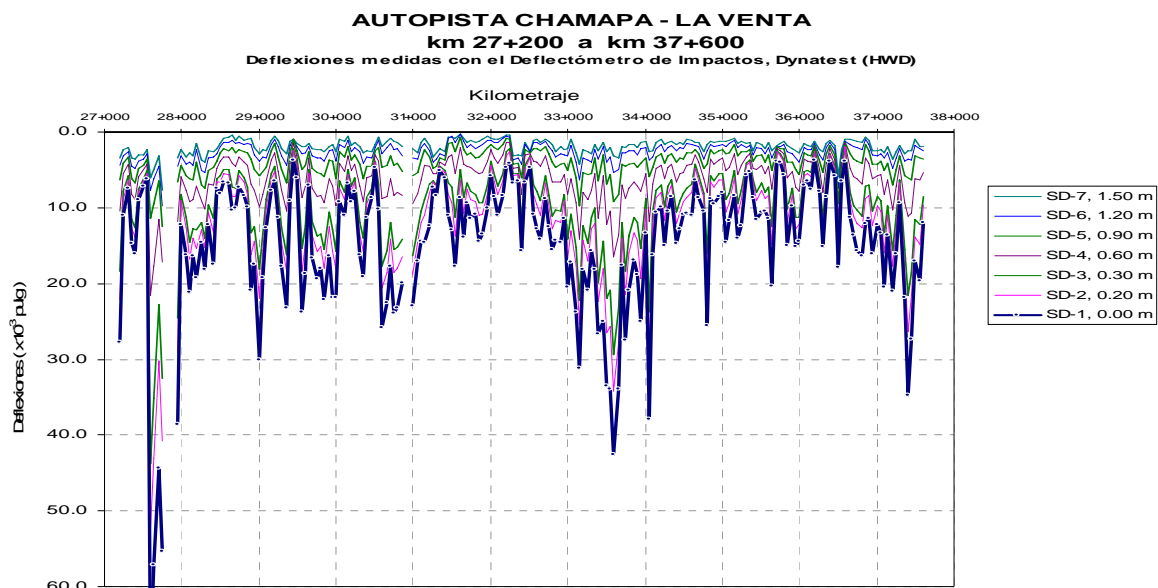


Figura 50. Registro de deflexiones

### **III.1.3.- CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN DETERIORO Y PROPUESTA DE REFUERZO**

El estudio de evaluación del pavimento presenta un análisis del tránsito actual y futuro y un análisis de información de la estructura del pavimento y del tipo de materiales del mismo.

Respecto a las consideraciones del tránsito que se hicieron en dicha evaluación, se indica que el **TDPA actual (2005) presenta una tasa de crecimiento anual del 5%**, referida al incremento de vehículos pesados, por ser los que afectan severamente al pavimento. En dicho análisis se **obtuvo un total de 12514 vehículos por día para el año 2005**, de los cuales el **88.97% son automóviles y el 11.03% son vehículos pesados. Así pues, para un horizonte de 8 años, el tránsito en ambos cuerpos es de  $8.150 \times 10^6$  ejes acumulados equivalentes de 82 kN (8.17ton).**

En lo referente a la estructura y tipo de los pavimentos, **se efectuaron seis calas para medir los espesores y se tomaron muestras de los materiales para ser sometidos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades índice.** Dichas calas mostraron que **la carpeta de concreto asfáltico tiene un espesor medio de 22.0 cm. La base hidráulica tiene un espesor medio de 17 cm**, con variaciones entre 11 y 20 cm y está **constituida por gravas limosas GM, y arcillosas GC, con un contenido de finos del orden de 15% y equivalente de arena de 27% en promedio, con límite líquido de 29% e índice plástico de 9.1%, en promedio**, valores que indican que estos materiales no cumplen con los requerimientos establecidos para este tipo de pavimento. **La sub-base de 21 cm. está constituida por gravas y arenas arcillosas, GC y SC, cuyo contenido de finos es del orden de 20% y el equivalente de arena de 24%**, como valores promedio; estos materiales son poco apropiados para el tipo de pavimento de que se trata. De las observaciones anteriores se define que el pavimento tiene un espesor medio de 51 cm.

La capa subrasante está elaborada con arenas y gravas arcillosas, SC y GC. Su equivalente de arena es de 21%, el límite líquido de 30% e índice plástico de 10%, en promedio, lo cual lo identifica como un material razonablemente aceptable para este tipo de pavimento

En la figura 51 se presenta un corte promedio de la estructura del pavimento antes de ser rehabilitado y en la figura 52 se presenta el perfil de dicha estructura a lo largo del tramo en estudio.



En la figura siguiente se presenta la estructura del pavimento detectada.

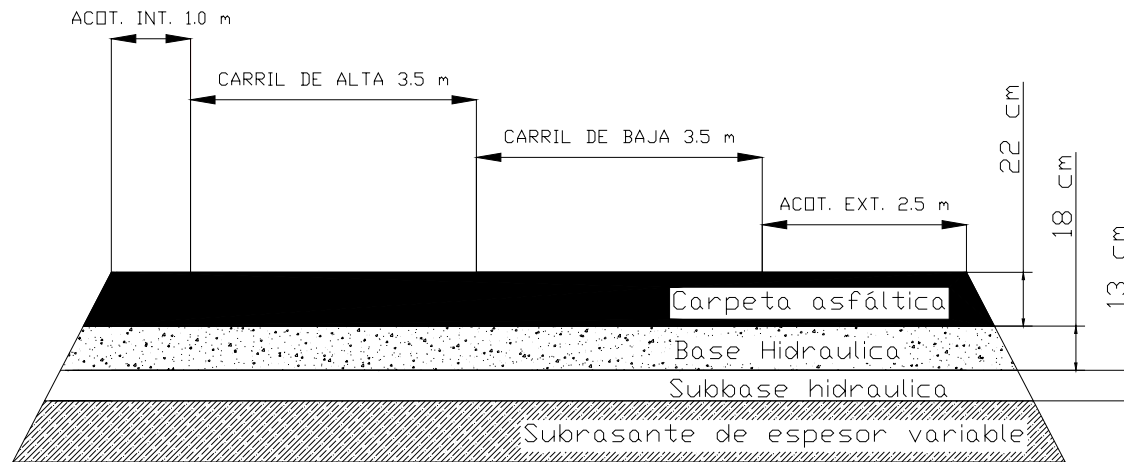
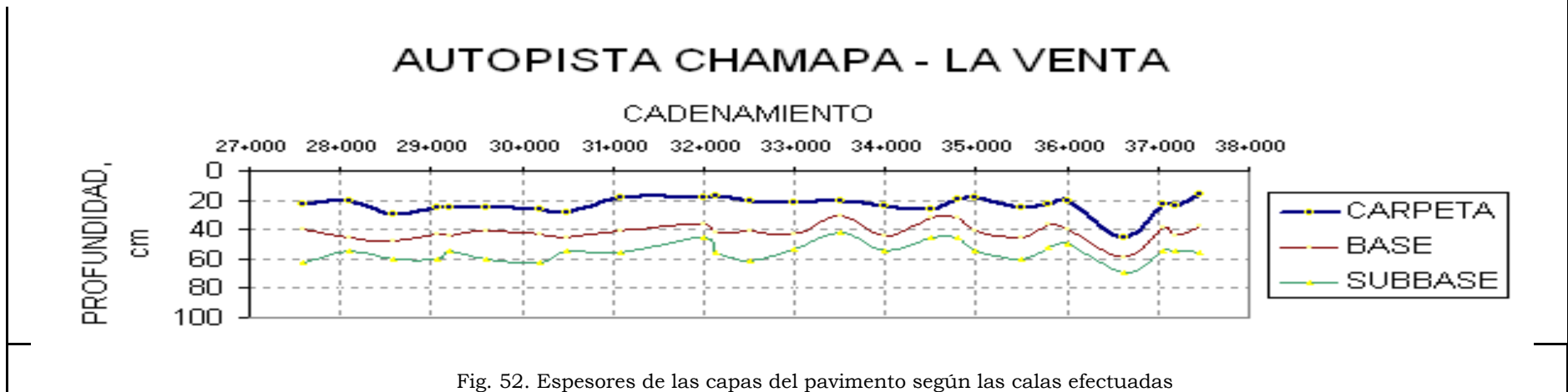


Figura 51. Estructura del pavimento detectada en su evaluación.

### Esesores de las capas del pavimento según el estudio de evaluación

CALA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13												
<b>KM</b>	27+580	28+097	28+600	29+070	29+200	29+600	30+200	30+500	31+080	32+000	32+140	32+500	33+000	33+500	34+000	34+500	34+800	35+000	35+500	35+800	36+000	36+620	37+050	37+200	37+450
<b>CARPETA</b>	23	20	30	25	25	25	26	28	18	18	17	21	22	20	24	26	19	18	25	23	21	46	23	24	16
<b>BASE</b>	40	46	48	43	44	41	43	46	41	36	42	41	43	31	44	32	32	41	45	36	40	59	39	44	38
<b>SUBBASE</b>	62	55	60	60	54	60	62	55	56	46	56	61	53	42	54	46	45	54	60	52	50	69	54	55	56



### III.1.4.- ANÁLISIS DEL PAVIMENTO

El estudio de evaluación del pavimento comprende las actividades que se anotan a continuación, algunas de las cuales ya se han referido anteriormente y serán tratadas en sus aspectos más relevantes conforme sea necesario emplearlos en este trabajo de tesis:

- Levantamiento topográfico del cuerpo derecho de la autopista, abarcando los carriles de circulación y el acotamiento, ligando además la rasante que define la orilla adyacente del cuerpo izquierdo.
- Levantamiento visual de los daños superficiales del pavimento.
- Exploración directa, para obtener muestras de materiales de las capas que integran la estructura del pavimento.
- Determinación en el laboratorio de las características físicas de los materiales extraídos de la exploración.
- Medición de deflexiones con el deflectómetro de impactos Dynatest, para medir la capacidad de respuesta estructural del pavimento.
- Información de los materiales y respuesta del pavimento, que son datos necesarios para proponer opciones de rehabilitación del pavimento
- Proyecto ejecutivo para la rehabilitación del pavimento

De los datos más relevante de esta evaluación se deben citar las características del pavimento antes de la rehabilitación para identificar los deterioros que se presentan y determinar las condiciones de servicio.

Así pues, para comprender el grado de deterioro del cuerpo rehabilitado, se puede ver en la figura 50 el perfil de deflexiones medidas en el pavimento, observándose una gran variabilidad que define varias zonas en donde las condiciones son uniformes en cuanto a requerimientos de un refuerzo a base de una sobrecarpeta. Se observa que hay **zonas en las que las deflexiones son del orden de  $10 \times 10^{-3}$  pulgadas (0.25 mm) y en otras alcanzan valores de  $40$  y  $50 \times 10^{-3}$  pulgadas, (1.01 y 1.27 mm), definiéndose de esta manera un criterio para especificar los espesores de rehabilitación por subtramos homogéneos.**

Estas deflexiones son importantes en el estudio porque con ellas se calcularon los módulos elásticos de los materiales que constituyen el pavimento y posteriormente se determinó la vida remanente de la estructura para las condiciones de tránsito a futuro ya mencionadas. En general, con este proceso se define la vida remanente del pavimento y con ello la necesidad de cada subtramo en términos de una aplicación de una sobrecarpeta de concreto asfáltico.

La Tabla 72 resume las recomendaciones en cuanto al refuerzo requerido para cada subtramo de la autopista.

Tabla 72.  
Espesor de sobrecarpeta requerida para un horizonte de **ocho años**

<b>Cuerpo</b>	<b>Tramo, km a km</b>	<b>Espesor de carpeta, cm</b>
Derecho	27+200 – 28+000	5
	28+000 – 28+900	10
	28+900 – 31+100	10
	31+100 – 33+000	5
	33+000 – 34+100	10
	34+100 – 36+000	5
	36+000 – 37+600	10

**Como se puede apreciar, el espesor de refuerzo varía entre 5 y 10 cm, existiendo además subtramos que por el momento no requerían de dicho refuerzo y los cuales no aparecen en la tabla anterior.**

**Es de apreciar que las capas de refuerzo corresponden propiamente al carril de baja velocidad, el cual presenta la peores condiciones de deterioro por ser el carril por donde circulan los vehículos más pesados; sin embargo, por razones prácticas, geométricas y constructivas, la sobrecarpeta debe extenderse hasta el carril de alta velocidad, e inclusive debe abarcar el espacio bajo la barrera separadora.**

En tales circunstancias se **propuso que en ambos carriles se colocara un concreto asfáltico AC-20, normal con el propósito de hacer racional el proyecto.**

Finalmente, con objeto de proporcionar una textura, aspecto y protección uniforme a los dos tramos, se propuso una carpeta delgada de 2.5 cm de espesor, con granulometría abierta, elaborada con cemento asfáltico mezclado con hule molido, para proporcionarle mejores características y durabilidad.

### **III.1.5.- PROPUESTA DE BANCOS DE MATERIALES PARA LA REHABILITACIÓN**

**Como parte del estudio se investigaron los bancos de materiales para surtir los agregados requeridos para elaborar el concreto asfáltico. Los bancos investigados fueron los siguientes:**

\* Banco Ejido San Francisco Chimalpa. Autopista Chamapa – La Venta, km 27+300, 200 m derecha. Este banco produce material cribado de un yacimiento de aluvión, que no es apto para carpeta asfáltica, pues en la prueba de Desgaste los Ángeles da un valor de 50% y una absorción mayor que 10%. No cuenta con planta de asfalto.

\* Banco San Juan y Planta de Asfalto “Concretos Asfálticos Pirámide, S. A.” Autopista Chamapa – La Venta, Km. 9+800, 400 m derecha. Este banco explota un yacimiento de roca volcánica, procesada mediante trituración total y cribado. Contando además con planta para producir concreto asfáltico. El material tiene buenas características, como desgaste Los Ángeles de 14% y equivalente de arena de 40 a 50%.

En el estudio de evaluación del pavimento se opta por elegir el último banco para proveer los materiales necesarios para la obra.

### **III.1.4.4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO**

De lo expuesto en la evaluación del pavimento se puede obtener la siguiente información relevante para el presente trabajo de tesis.

a) **El pavimento en los tramos estudiados mostró zonas con deficiencias de tipo estructural principalmente, manifestada por agrietamientos de tipo piel de cocodrilo en zonas aisladas y pequeñas deformaciones permanentes en forma de roderas, sin embargo se consideró la posibilidad de que algunos deterioros superficiales se encuentren ocultos por tratamientos en dicha superficie más o menos recientes.**

b) **La evaluación estructural efectuada en base de los resultados del deflectómetro FWD Dynatest, indicó que los espesores de refuerzo requeridos se compensan con sobrecarpetas de concreto asfáltico de 5 a 10 cm de espesor, en el carril de baja velocidad, existiendo subtramos que se puede no requerir de refuerzo para el horizonte de 8 años, como se indica en la tabla 84.**

- c) **Por razones geométricas y constructivas no es posible reforzar únicamente el carril de baja velocidad, que es el más ocupado por el tránsito pesado, debiendo extenderse la sobrecarpeta sobre el carril de alta velocidad. Por otra parte considerando precisamente que el carril de baja velocidad es el más solicitado, se propuso que la sobrecarpeta correspondiente se construya con cemento asfáltico modificado con un polímero del tipo SBS-411, en el carril de alta se utilizará este mismo material, por razones constructivas y económicas.**
- d) **Se dispuso como medida de seguridad que las sobrecarpetas construidas tuvieran rampas de inicio y fin de 10 y 20 m, respectivamente para las sobrecarpetas de 5 y 10 cm.**
- e) **En esta rehabilitación se propuso también construir, en toda la longitud y ancho de los carriles de los tramos afectados, una sobrecarpeta delgada con granulometría abierta, de 2.5 cm de espesor, que proporcionará la textura adecuada para el rodamiento de los vehículos, protegiendo las carpetas asfálticas existentes y proporcionara uniformidad visual y de rodamiento al tramo rehabilitado.**
- f) **El estudio recomendó efectuar evaluaciones del pavimento unas dos veces al año, con objeto de efectuar un seguimiento de su comportamiento, detectar problemas con anticipación, constituir la experiencia de la Operadora y mantener al pavimento dentro del nivel de calidad establecido.**

III.2.-  
Condiciones Actuales de  
la Autopista Chamapa-  
La Venta (2005)

## **INTRODUCCIÓN**

**El presente debe considerarse como una extensión del anterior, pues con él se pretende recalcar las condiciones de deterioro en que se encontraba la autopista antes de la rehabilitación.** Con los antecedentes del proyecto planteados en el anterior, ahora se presentan y revisan los resultados obtenidos del estudio de evaluación del pavimento.

La información que presenta este pone de manifiesto la incidencia de irregularidades en la superficie de la carpeta asfáltica tales como asentamientos, ondulaciones, roderas, grietas diversas, baches, llorado de asfalto, desgranamiento de carpeta, reparaciones defectuosas, etc. La consideración del grado y del tipo de estos deterioros permite diferenciar los tramos con semejantes condiciones y con ello se determinan las medidas de rehabilitación a implementar para cada uno de ellos.

También se dan a conocer los resultados de las pruebas de laboratorio que se aplicaron a los materiales del pavimento, por subtramos y capas, y el resultado de su comparación con los criterios mínimos de pavimentación que la SCT exige.

Por último este presenta una revisión de los datos empleados para el diseño del pavimento para la rehabilitación y las propuestas de espesores para restaurar su capacidad estructural.



### **III.2.1.- CONDICIONES ACTUALES DE LA AUTOPISTA (ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO)**

**Para verificar el estado superficial del pavimento se realizó una inspección visual a lo largo de los 10.4 km.** que corresponden a la longitud del tramo por rehabilitar, con el objeto de calificar los daños más notables observados en cada carril del cuerpo derecho, pues este lado es el que presentaba mayor incidencia de deterioros; dicha inspección se realizó con la metodología de CAPUFE (Caminos y Puentes Federales), la cual se menciona en el "MANUAL PARA CALIFICAR LAS CONDICIONES DE SERVICIO EN CAMINOS DE CUOTA" y cuya escala **para evaluar el daño o deterioro va de (NED) no existe deterioro, (L) leve, (M) medio y (S) deterioro severo.**

De acuerdo con el porcentaje de incidencia del deterioro en un área, este puede definirse como un sólo tipo de daño o una combinación de ellos. Al final del proceso de recopilación de deterioros **se hace una ponderación de calificaciones, dando como resultado una escala de calificación del elemento que va de (0) pésimo a (5) excelente y con los siguientes niveles intermedios:**

**Tabla 74. Evaluación del estado del pavimento según CAPUFE**

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>ESTADO DEL ELEMENTO</b>
0	PESIMO
0.1 - 1.0	MUY MALO
1.1 - 2.0	MALO
2.1 - 3.0	REGULAR
3.1 - 4.0	BUENO
4.1 - 5.0	MUY BUENO
5.0	EXCELENTE

En el caso en estudio, se anotaron los resultados en la tabla 75; en ella se presenta la calificación **del deterioro superficial observada en el tramo;** se hace notar mediante colores la calificación; **de 1 a 2 se presenta el deterioro en mal estado con color rojo, de 2 a 3 con amarillo en el caso de regular estado y para el buen estado superficial, la calificación de 3 a 5, en blanco**

\*1 condiciones de deterioro previo a la rehabilitación, de acuerdo al estudio de evaluación del pavimento.

**En general el carril de baja velocidad del cuerpo derecho presento la mayor cantidad de deterioros respecto al carril de alta, donde fue menos frecuente la incidencia de daños superficiales.**

**TABLA 75. DETERIOROS**

CARRIL	CONCEPTO	KILOMETRAJE										
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
ALTA	ASENTAMIENTOS											
	ONDULACIONES											
	RODERAS	REGULAR										
	GRIETAS		REGULAR	REGULAR						REGULAR	REGULAR	
	PIEL DE COCODRILO	REGULAR									REGULAR	
	MAPEO											
	CALAVERAS Y BACHES											
	LLORADO											
	DESGRANAMIENTO DE CARPETA		REGULAR	REGULAR								
	REPARACIONES											
	RIEGO DE SELLO											
	BAJA	ASENTAMIENTOS										
ONDULACIONES												
RODERAS		REGULAR	REGULAR					REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	
GRIETAS		REGULAR	REGULAR							REGULAR	REGULAR	
PIEL DE COCODRILO												
MAPEO												
CALAVERAS Y BACHES		REGULAR										
LLORADO												
DESGRANAMIENTO DE CARPETA												
REPARACIONES												
RIEGO DE SELLO										REGULAR		
ACOT. EXT	ANCHO											
	HOMBROS CAIDOS		REGULAR	REGULAR	REGULAR							
	LLORADO											
	DESGRANAMIENTO DE CARPETA								REGULAR	REGULAR		
	RIEGO DE SELLO	MALO		MALO								

	BUENO
REGULAR	REGULAR
MALO	MALO

En gran parte del tramo estudiado se destaca en primer lugar **de incidencia la formación de roderas en el carril de baja velocidad, con magnitudes que van de 0.2 a 1.1 cm. en promedio, y valores máximos que llegan hasta los 2.0 cm. En el subtramo del Km. 32 al Km. 35 de dicho cuerpo las roderas son más frecuentes**; en la **tabla 76** se presenta un listado de la magnitud de las roderas medidas y en las fotografías que le suceden se observan algunos ejemplos de este deterioro. A continuación se remite la tabla 76 que da informe de las roderas del tramo estudiado y de su magnitud.

**Tabla 76. RODERAS**

ESTACIÓN	CARRIL	RODERA	DEFORMACIÓN cm	DEFORMACIÓN cm / km	
				PROMEDIO	MÀXIMA
27+200	BAJA	RODERA	1.0	0.49	1.6
28+000	BAJA	RODERA	0.0		
28+100	BAJA	RODERA	0.0	0.45	0.9
29+000	BAJA	RODERA	0.8		
29+100	BAJA	RODERA	0.1	0.20	0.5
30+000	BAJA	RODERA	0.1		
30+100	BAJA	RODERA	0.0	0.17	0.8
31+000	BAJA	RODERA	0.0		
31+100	BAJA	RODERA	0.0	0.63	1.1
32+000	BAJA	RODERA	1.1		
33+100	BAJA	RODERA	0.6	1.00	2.0
34+000	BAJA	RODERA	0.5		
34+100	BAJA	RODERA	1.2	1.06	1.9
35+000	BAJA	RODERA	1.3		
35+100	BAJA	RODERA	1.3	0.93	1.6
36+000	BAJA	RODERA	0.7		
36+100	BAJA	RODERA	0.9	0.96	1.3
37+000	BAJA	RODERA	1.0		
37+100	BAJA	RODERA	0.9	0.65	1.6
37+600	BAJA	RODERA	0.1		

**En segundo lugar en importancia, se presenta el agrietamiento tipo piel de cocodrilo, que igualmente es más visible entre el Km. 27+200 al 28+000, del Km. 32+000 al Km. 34+000 y a lo largo del Km. 36+000; así en estos subtramos también son visibles algunos agrietamientos longitudinales con un daño que puede considerarse de intensidad media.**

Siguiendo en orden de importancia, los **defectos en el riego de sello** ocupan la siguiente posición, ya que se observa desprendimiento del agregado o formando bloques y en algunos sitios presenta superficies lisas o desgranamiento.

Las evidencias de **reparaciones efectuadas en tramos aislados, renivelaciones y baches**, se localizan entre el Km. 27 a 28, así como del Km. 32 a 34 y en todo el Km. 36, se pueden considerar estos **subtramos con daño leve**. A continuación se remiten algunas fotografías de los deterioros antes descritos.

<p>Grietas longitudinales en Km. 28+600, en carril de baja circulación del cuerpo derecho</p>	<p>Riego de sello defectuoso y grietas longitudinales en Km. 29+000, en carril de baja circulación del cuerpo derecho</p>
<p>Grietas longitudinales en Km. 28+800 en carril de alta circulación del cuerpo derecho</p>	
<p>Bacheo y grietas tipo piel de cocodrilo en Km. 27+700, en la incorporación a la Autopista Chamapa - La Venta</p>	

**En el caso de los acotamientos, el deterioro que se presentó con mayor frecuencia fue el de hombros caídos;** menos frecuente fueron los **defectos en el riego de sello** por su falta de agregado y la presencia de superficies lisas. El defecto que ocupó el segundo lugar fue la **presencia del desgranamiento de la carpeta asfáltica y el llorado del asfalto**, lo cual no representan un defecto mayor.

Es importante hacer notar que esta inspección del estado aparente de la superficie de rodamiento no por sí sola es suficiente para determinar las medidas a aplicar en un trabajo de rehabilitación, por lo cual los estudios de este tipo se apoyan en mediciones de deflexiones con la viga Benkelman y otros equipos modernos, y en resultado de pruebas de laboratorio para verificar la capacidad estructural del pavimento y sus requerimientos en términos de sobrecarpeta. A continuación anotan los mencionados resultados.

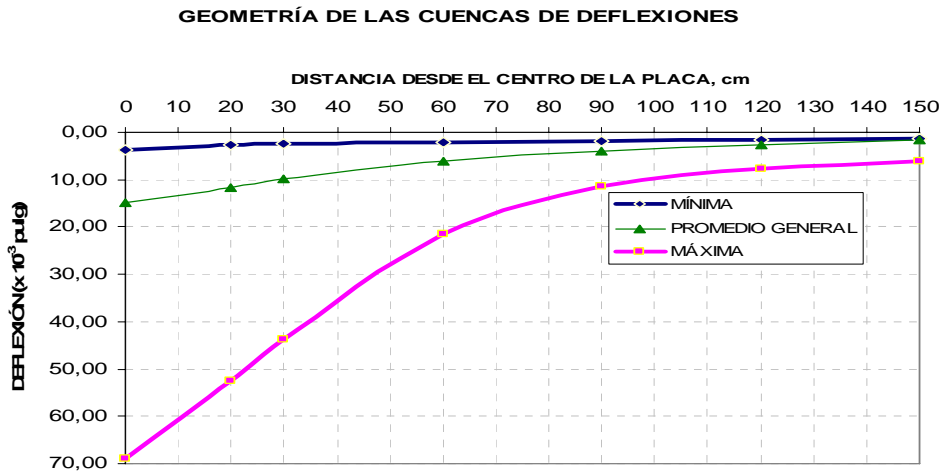
### **III.2.2- MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.**

La medición de deflexiones en el pavimento se hizo utilizando el Deflectómetro de Impactos Dynatest HWD, el cual simula el efecto repentino del paso de un vehículo sobre el pavimento; con este dispositivo es posible determinar las dimensiones y forma de la cuenca de deflexión (ver fig. 53) producida por una carga equivalente a un eje sencillo (4.1 ton).

Adicionalmente **con el programa de computo ELMOD** (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design) alimentado con los datos de la medición de deflexiones, así como con los datos de tránsito traducidos a número de ejes equivalentes (ESAL), los espesores y el tipo de material que constituyen las capas del pavimento, **es posible determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas. Con dicho programa también se identifica la capa del pavimento que es más débil, de acuerdo a la magnitud del Módulo de elasticidad, y en base de ello hacer el pronóstico de vida remanente del pavimento en conjunto. Con estos resultados se puede también determinar las medidas a tomar para rehabilitar el pavimento con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.**

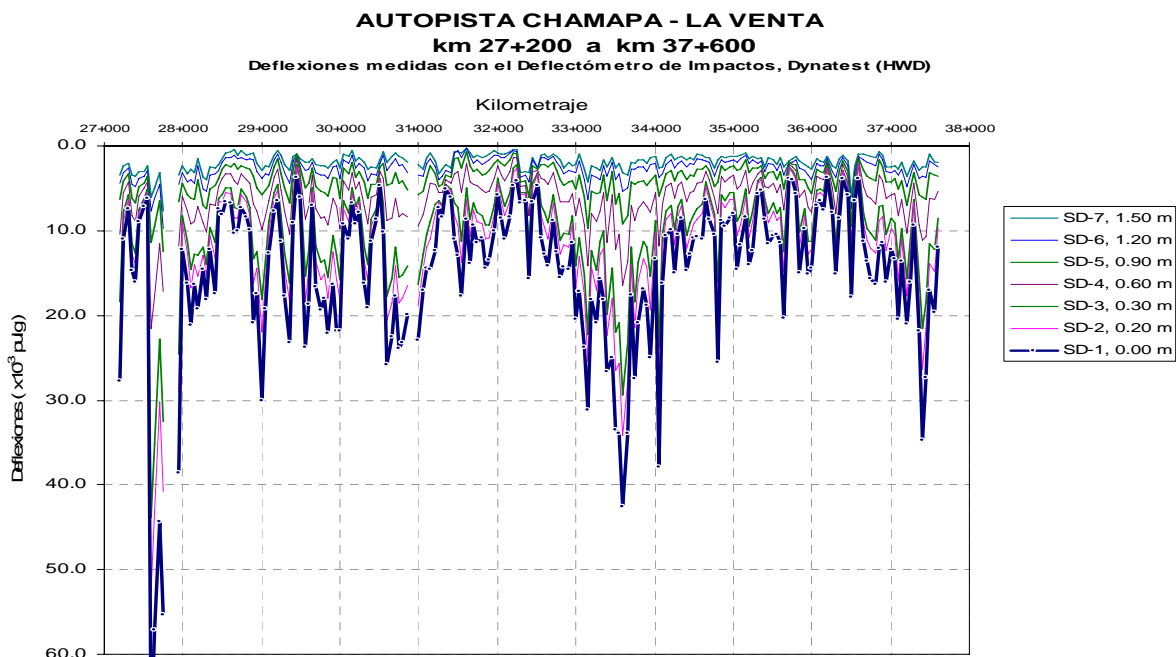
En la figura 53, se puede observar la forma y dimensiones de la cuenca de deflexiones producto de la respuesta del pavimento ante el efecto de una carga; dicha figura representa las cuencas mínima, promedio y máxima registradas a lo largo de los 10.4 km.

**Figura 53**



La medición de deflexiones se realizó a lo largo de los 10.4 Km de la Autopista, en su cuerpo derecho a cada 50 m sobre la rodada externa del carril de baja velocidad. Los resultados de las deflexiones medidas en los siete sensores de deflexiones con que cuenta el equipo (SD1, SD2 ... SD7), se presentan en la tabla 77, indicándose además el cadenamiento y magnitud de la carga impuesta en cada estación; en la fig.54 se tiene el perfil de deflexiones que representa gráficamente la variación de la respuesta del pavimento a lo largo del subtramo.

Figura 50. Perfil de deflexiones



La magnitud de las deflexiones extremas medidas, fueron obtenidas en los carriles de baja velocidad de ambos cuerpos, con valores de 3.76 y 69.02 x 10<sup>-3</sup> pulg., (0,0095504 y 0,1753108 cm.) como mínima y máxima respectivamente, con valores promedio por subtramos homogéneos que van de 10 a 28 x 10<sup>-3</sup> pulg. (0,0254 cm. a 0,07112 cm.). De la revisión de dichos resultados del deflectómetro, se analizaron las sus magnitudes máximas y sus promedio para zonificar y dividir el tramo en subtramos homogéneos para proceder posteriormente a un análisis más detallado.

Tabla 78. Resumen de deflexiones medidas a lo largo de los 10.4 Km. de la Autopista expresadas en x 10<sup>-3</sup> pulg.

<b>CUERPO</b>	<b>CARRIL</b>	<b>KM A KM</b>	<b>MÁXIMA</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>DESV. ESTÁNDAR</b>
<b>DERECHO</b>	<b>BAJA</b>	27+200 a 28+000	69.02	6.24	27.98	22.29
		28+000 a 28+900	21.16	6.61	12.34	4.76
		28+900 a 31+100	30.07	3.76	15.67	6.77
		31+100 a 33+000	17.77	4.15	10.50	3.64
		33+000 a 34+100	42.60	13.27	24.13	8.01
		34+100 a 36+000	25.57	3.91	10.85	4.23
		36+000 a 37+600	34.70	3.76	13.39	7.00

De acuerdo con los niveles de deflexiones medidos en los sitios de prueba, se puede concluir que los niveles de deflexiones alcanzados no son tan altos en general, sin embargo se observan tres zonas: al inicio entre el Km. 27+500 al 28+000, a la mitad del tramo del Km. 33+000 al 34+000 y hacia el final, del Km. 37+000 al 37+600, donde se incrementa notablemente las deflexiones. (Ver figura 54)

### III.2.3- EXPLORACIÓN DIRECTA Y MUESTREO

Continuando con los datos relevantes del estudio de evaluación en cuanto a la condición estructural del pavimento de la autopista, se puede mencionar que la **exploración directa y el muestreo se hicieron mediante trece (13) calas o sondeos**, distribuidos estratégicamente en el cuerpo derecho y carril de baja velocidad, **a fin de conocer el espesor acumulado de capas asfálticas**. Para obtener muestras de la carpeta asfáltica, **se utilizó una extractora de núcleos con broca de diamante de seis pulgadas (15cm) de diámetro**; el resto de la exploración se llevo a cabo con herramienta manual la cual **permitió realizar un muestreo continuo de los materiales de la base, sub-base y subrasante**; todas las muestras de los sondeos fueron enviadas al laboratorio de GEOSOL para su análisis y determinación de sus propiedades físicas.

En general, la estructura de pavimento observada en los sondeos presenta poca variación y está constituida por una carpeta asfáltica, una base hidráulica y una sub-base; el pavimento se desplata sobre una subrasante de espesor variable. (Ver figura 51)

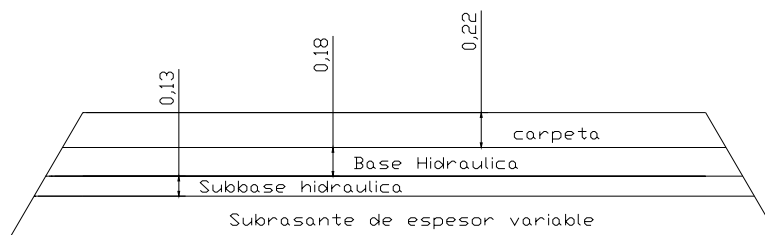


Figura 51. Estructura del pavimento detectada en su evaluación. (Acot. En metros)

**La capa de concreto asfáltico.** Presentaba espesores promedio de **22cm**; singularmente se observó un caso en donde se han acumulado hasta 46 cm de carpeta, producto de renivelaciones por asentamientos. (Cercanías del Km. 33+000)

**La base hidráulica.** Mostró espesores entre 6 y 26 cm y promedio de **18cm**; se constituye mayormente de **grava con finos arcillosos (GC)**.

**La sub-base.** Presenta valores en el espesor que van de 6 a 19 cm, con un promedio de **13cm**, constituida principalmente por **arena o grava con finos arcillosos (SC), (GC) y algunos casos limosos (SM)**

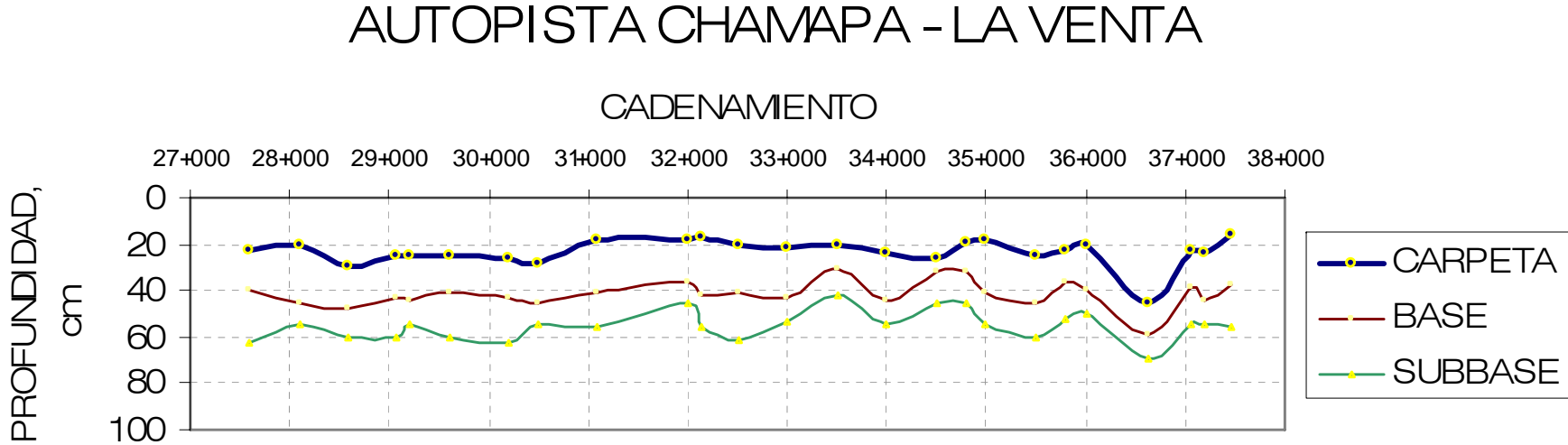
**Subrasante.** Capa de espesor variable constituida por arenas y gravas con finos arcillosos o limosos (SC), (SM), (GC) y (ML).





En forma general, los resultados de laboratorio de las muestras obtenidas se indican en la tabla 79 y en la fig.55 se presenta el perfil estratigráfico del pavimento de cada carril y cuerpo de circulación de la autopista estudiada.

Figura.52. Perfil estratigráfico de las secciones



### III.2.4- RESULTADO DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO

De los resultados en ensayos de laboratorio, se puede mencionar que **de cada una de las muestras extraídas de los sondeos se realizó un análisis, para determinar sus características físicas** y por ende su calidad respecto a las normas que marca la SCT y/o lo recomendado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). **Para evaluar la calidad de los materiales se presenta una tabla comparativa (Tabla 79) de las propiedades más importantes que se deben calificar para cada capa** y de acuerdo a los rangos máximos establecidos en la normativa vigente, considerando que la calidad debe ser deseable para este tipo de vialidades.

En la mencionada tabla 79 se presentan los valores promedio obtenidos de las propiedades de los materiales, para los subtramos homogéneos considerados y para cada una de las capas que integran la estructura del pavimento.

Tabla 79. Valores promedio de las propiedades del pavimento, por subtramos y capas (%)

Cuerpo Km a km	BASE				SUBBASE				SUBRASANTE		
	F 10	LL 25	IP 6	EA 50	F 15	LL 25	IP 6	EA 40	F 25	LL 30	IP 10
DERECHO											
27+200 a 28+000	16.1	29.5	8.8	24.5	17.6	28.5	9.3	40.5	25.9	29.4	9.9
28+000 a 28+900	14.9	29.7	9.6	38.1	17.8	28.2	9.5	33.3	30.9	29.6	7.7
28+900 a 31+100	12.5	27.7	10.4	30.1	17.9	28.4	10.3	27.2	32.4	27.1	9.1
31+100 a 33+000	16.0	22.5	10.0	39.5	19.1	23.7	9.4	22.2	16.1	21.6	8.1
33+000 a 34+100	13.1	24.7	7.1	27.5	16.0	22.6	5.7	33.3	59.3	43.5	16.5
34+100 a 36+000	14.0	28.0	9.6	22.3	16.1	28.5	9.4	16.8	19.3	28.1	9.3
36+000 a 37+600	11.5	24.7	7.6	35.4	15.8	23.0	6.7	27.9	44.4	36.0	12.4

Simbología de la tabla:

**F:** Porcentaje de finos con tamaño menor de 0.074mm para cada capa y cuyo valor máximo debe ser el indicado.

**LL:** Límite líquido para cada capa y cuyo valor máximo debe ser el indicado.

**IP:** Índice plástico obtenido para cada capa y cuyo valor máximo debe ser el indicado.

**EA:** Equivalente de arena obtenido para cada capa y cuyo valor mínimo debe ser el indicado.

Los valores sombreados son valores promedio que no cumplen los límites establecidos en la normativa.

Se puede observar en la tabla anterior que los valores reportados por el laboratorio para cada una de las propiedades de los materiales utilizados en las diferentes capas del pavimento, no cumplen en general con la normativa de la SCT.

**La capa de base hidráulica presenta valores altos de plasticidad y muy bajos en el equivalente de arena, inclusive menor para el considerado en calidad adecuada, así también el contenido de finos, rebasa los límites establecidos, considerándose por lo tanto que ésta capa es de mala calidad en general.**

**La sub-base tampoco cumple para calidad deseable en las propiedades de plasticidad, ya que estos valores superan los límites establecidos; el contenido de arena igualmente no cumple los valores necesarios recomendables.**

**La capa subrasante no cumple con algunas propiedades de calidad deseable en los materiales utilizados, ya que en algunos casos se excede el contenido de finos y al mismo tiempo presentan plasticidades altas en algunos subtramos.**

### III.3.- Alternativas de Pavimentación

### **III.3.- ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO EN LA REHABILITACIÓN**

En el estudio de evaluación de la autopista se proponen tres alternativas para la pavimentación en la rehabilitación, la cuales se describirán a continuación:

#### **III.3.1.- ALTERNATIVA 1**

Esta alternativa consiste primeramente en efectuar un **corte en frío con una perfiladora o Rotomill, eliminando 10 cm de espesor actual de la carpeta asfáltica** y desperdiciándolo. Dicho corte se propuesto para el ancho de ambos carriles, sin considerarse para los acotamiento interno y externo.

**Posteriormente se efectúan los trabajos de barrido de la superficie, sellado de grietas, bacheo superficial y profundo, para enseguida aplicar un riego de liga y la colocación posterior de una carpeta de concreto asfáltico de espesor variable en toda la longitud y en todo el ancho de la corona.**

**Esta alternativa se propuso para con ella mejorar las condiciones particulares del carril de baja velocidad, teniendo que colocar una sobrecarpeta asfáltica con un espesor máximo de 12 cm., que por razones geométricas se extendería al carril de alta velocidad y acotamientos, evitando con ello la formación de escalones y aun cuando dicho acotamientos no requieran ser reforzados.** Adicionalmente se planteó la construcción de una carpeta asfáltica delgada (3cm de espesor) para proporcionar la textura, regularidad superficial y condiciones de drenaje adecuadas para el rodamiento en la autopista. Además se recomienda realizar la construcción de bordillos y canalización hacia los lavaderos existentes, como consecuencia de haber elevado el nivel de la rasante en estos subtramos.

La estrategia de conservación implícita de esta alternativa es la aplicación de tratamientos superficiales en plazos aproximados de cinco años y reparaciones a la carpeta en un plazo de siete a ocho años consistente en fresado y reposición de carpeta en un espesor de 5 cm.

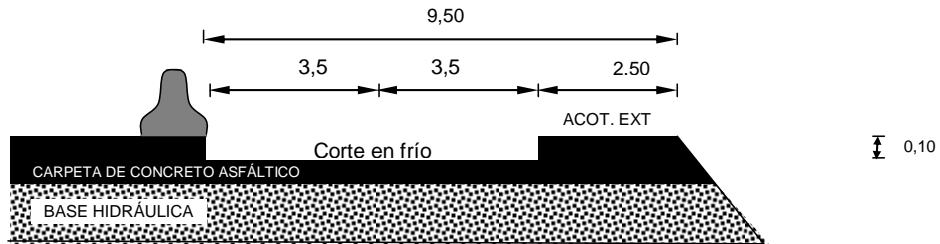
En la figura 56 se presentan las secciones del procedimiento constructivo a implementar con esta alternativa para rehabilitar el tramo en cuestión; **en la tabla 84 se muestra el número estructural para la rehabilitación, considerando los espesores prácticos de sobrecarpeta para los diferentes subtramos homogéneos definidos.**

**Del análisis de la tabla 84 se puede concluir que en general el carril de alta velocidad no requiere un refuerzo aun; sin embargo, la acción propuesta se extiende a todo el ancho de los dos carriles y acotamiento por razones geométricas y constructivas.**

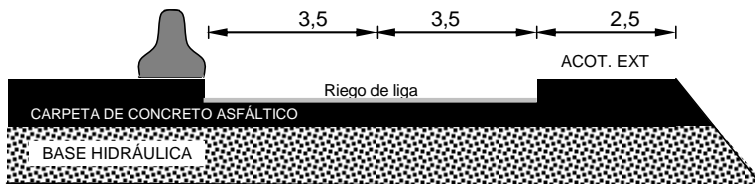
**Figura 56. Procedimiento Constructivo de la alternativa 1**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

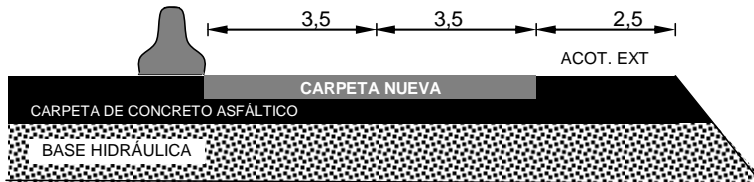
1. Corte en frío, carga y desperdicio de 10 cm de la carpeta actual, formando una caja



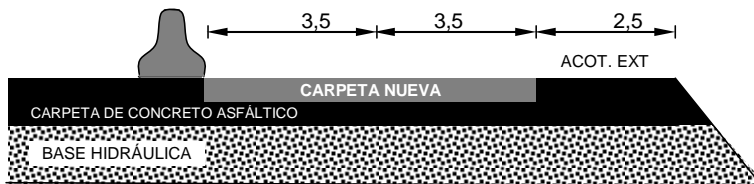
2. Riego de liga



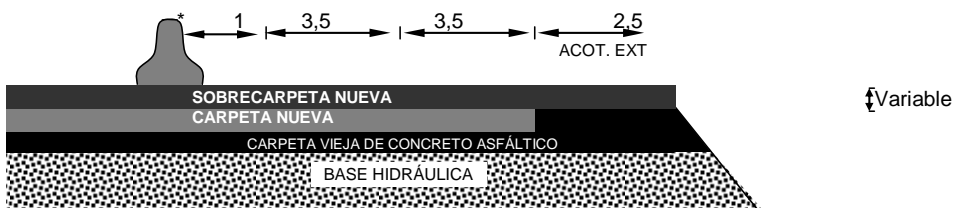
3. Reposición con una carpeta nueva de 10 cm de espesor, compactada al 95% de su PSVM Marshall



3. Riego de liga sobre la carpeta nueva de 10 cm de espesor



4. Colocación de sobrecarpeta nueva de 5 a 12 cm de espesor, compactada al 95% de su PSVM Marshall, según Tabla espesor de sobrecarpeta



**Tabla 84. Cálculo del número estructural y espesor final de carpeta, ALTERNATIVA 1**

CUERPO	CARRIL	TRAMO HOMOGENEO	a1	SNreq	SN act = SN3	SN3 - SN <sub>10</sub>	SN1*	SN faltante	ESPESOR FALTANTE, cm	ESPESOR DE SOBRECARPETA, cm
DERECHO (A)	BAJA	27+200 a 28+000	0,29	4,92	4,04	2,89	1,73	0,29	1,7	5,0
		28+000 a 28+900	0,28	4,61	3,98	2,86	1,73	0,01	0,1	0,0
		28+900 a 31+100	0,27	6,07	3,40	2,32	1,73	2,02	11,6	12,0
		31+100 a 33+000	0,35	5,07	4,25	2,89	1,73	0,45	2,6	5,0
		33+000 a 34+100	0,25	5,70	3,00	2,01	1,73	1,96	11,3	12,0
		34+100 a 36+000	0,31	4,61	3,97	2,74	1,73	0,14	0,8	0,0
		36+000 a 37+600	0,28	5,02	3,44	2,33	1,73	0,96	5,5	7,0

SN3 - SN<sub>10</sub> Número estructural del pavimento sobrante, al cortar la carpeta actual solo 10 cm

SN1\* Número estructural de la reposición de la carpeta actual por un nueva de 12 cm de espesor

El espesor de sobrecarpeta es aquel que se necesita para completar el número estructural requerido.



### III.3.2.- ALTERNATIVA 2

**En primer lugar se efectúa un corte en frío con máquina Rotomill en un espesor de 10 cm.** desperdiciando este producto y perfilando la superficie para mejorar la rasante tanto transversal como longitudinalmente. El corte propuesto comprende el área de ambos carriles de circulación y el acotamiento externo.

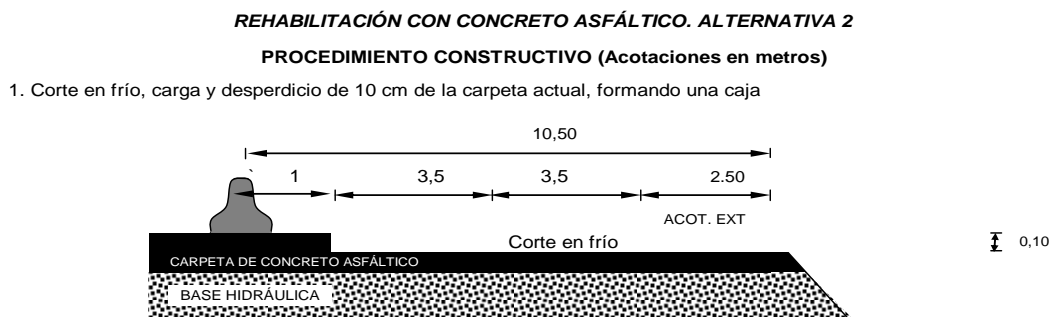
**Posteriormente el espesor restante de carpeta y parte de la base hidráulica hasta una profundidad de 30 cm., se somete a un proceso de recuperación, elaborando con este material una capa de 30 cm. de espesor con la adición de cemento Pórtland en una proporción aproximada de 6% en peso. De esta manera la segunda alternativa constituye una base estabilizada. Es importante resaltar que esta opción aprovecha los materiales de la carpeta asfáltica junto con los de la base hidráulica evitando parcialmente el desperdicio de la carpeta.**

Después de construir una nueva base se pretende restituir la capa de rodamiento con concreto asfáltico en dos capas: la primera con fines estructurales y de 12 cm. de espesor, en tanto la segunda capa de concreto asfáltico será delgada (3 cm. de espesor) para definir textura y la rugosidad superficial y drenaje adecuados para el tránsito.

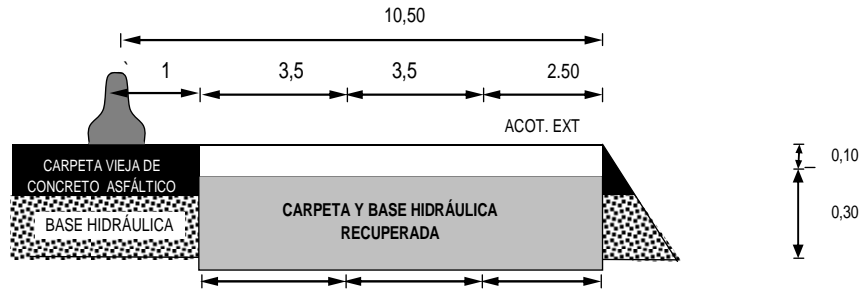
**Ahora bien, considerando que la base actual presenta mala calidad en sus materiales de construcción, se verifica que esta alternativa es una solución que estructuralmente hablando mejoraría sustancialmente las características del pavimento.** A este respecto, en la tabla 85 se presenta el cálculo del número estructural para cada subtramo y en la figura 57, se presenta esquemáticamente su proceso constructivo.

En este esquema de rehabilitación, **la estrategia de conservación es consiste en tratamientos superficiales a plazos de cinco años y reparaciones a la carpeta en plazos de 7 a 8 años consistente en fresado y reposición de carpeta en un espesor de 5 cm.**

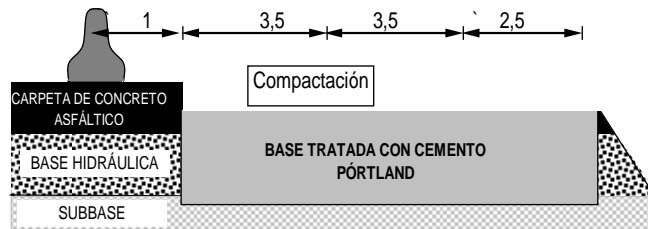
**Figura 57. Procedimiento Constructivo de la alternativa 2**



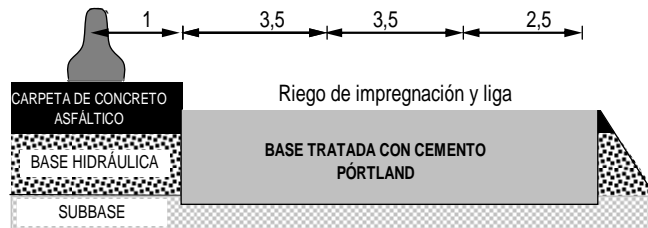
**Figura 57. Procedimiento Constructivo de la alternativa 2 (Continuación)**



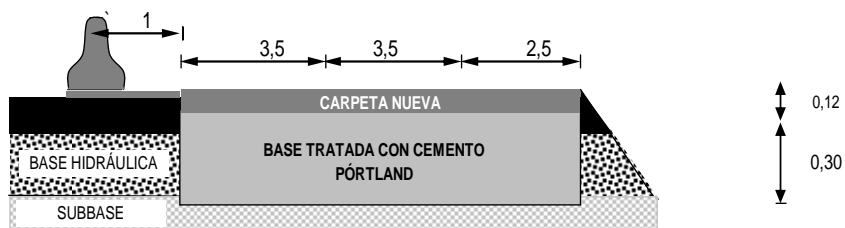
3. Compactación de la base tratada con cemento con la humedad óptima y al 100% del PVM AASHTO Modificada



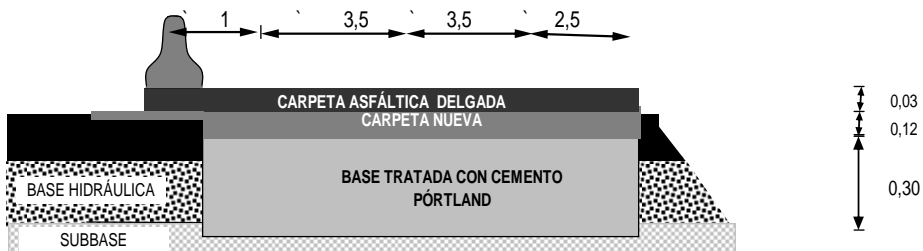
4. Riego de impregnación y liga



5. Colocación de carpeta nueva de 12 cm de espesor, compactada al 95% de su PVSM Marshall



6. Colocación de sobrecarpeta de 3 cm de espesor, compactada al 95% de su PVSM Marshall



Acotaciones en (m)

**Tabla 85. Cálculo del número estructural y espesor final de carpeta, ALTERNATIVA 2**

CUERPO	CARRIL	TRAMO HOMOGENEO	a2	a3	D1	D2	D3	D1+2	Dr	Drt
DERECHO (A)	BAJA	27+200 a 28+000	0.08	0.10	23.0	17.0	22.0	40.00	0.00	22.00
		28+000 a 28+900	0.09	0.11	25.0	22.0	10.7	47.00	7.00	3.70
		28+900 a 31+100	0.04	0.09	24.5	18.5	14.8	43.00	3.00	11.80
		31+100 a 33+000	0.10	0.09	19.5	28.8	13.5	48.30	8.30	5.20
		33+000 a 34+100	0.12	0.13	20.0	15.5	6.0	35.50	-4.50	10.50
		34+100 a 36+000	0.11	0.11	22.0	15.7	13.5	37.70	-2.30	15.80
		36+000 a 37+600	0.07	0.09	22.0	17.8	13.5	39.80	-0.20	13.70

SN<sub>remanente</sub> Número estructural del pavimento sobrante, debajo de la propuesta de rehabilitación

SN1\* Número estructural de la propuesta de rehabilitación con recuperación parcial de la carpeta y base en 30 cm, tratada con cemento y 12cm de carpe  
El espesor de carpeta es aquel que se necesita para completar el número estructural requerido.

### III.3.3.- ALTERNATIVA 3

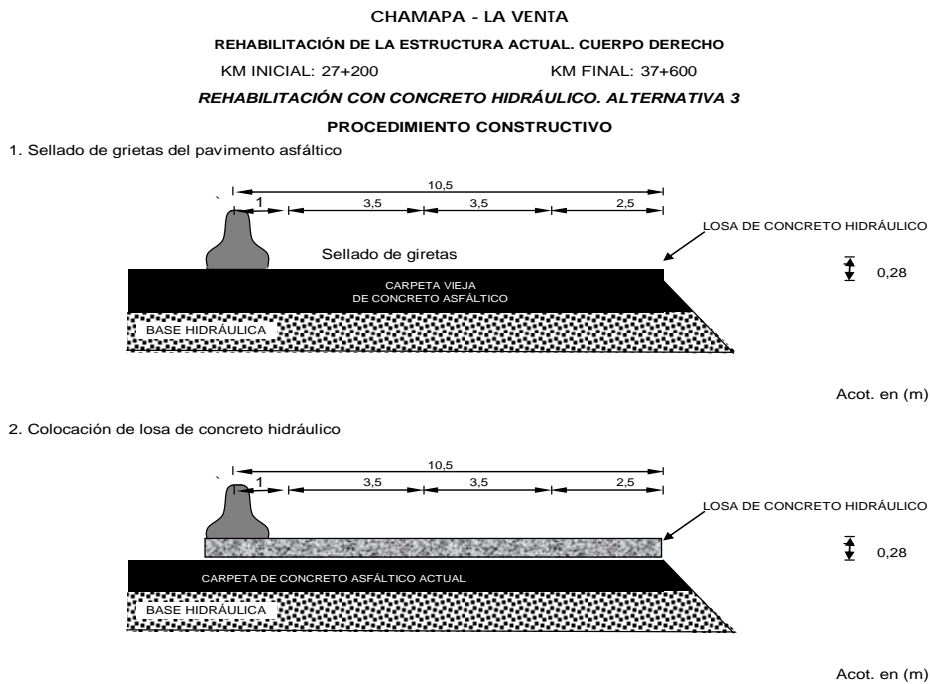
En esta alternativa primeramente se **efectúan los trabajos de sellado de grietas, bacheo superficial y profundo, para enseguida aplicar un riego de liga y la colocación posterior de una carpeta de concreto hidráulico de espesor constante.**

Adicionalmente en esta alternativa también se proyectó la construcción de bordillos y canalización hacia los lavaderos existentes, como consecuencia de haber elevado el nivel de la rasante en estos subtramos.

**La estrategia de conservación implícita de esta alternativa consiste en la reparación de grietas y desportillamiento, así como en la reposición de sellos en plazos aproximados de 7 años. También consiste en la reparación y reposición de losas y en caso mayor se requiere del fresado de losas, tal vez a los 14 y 28 años de vida útil.**

En la figura 58 se presentan las secciones típicas consideradas dentro de los cadenamientos y en **la tabla 87 se presenta los espesores prácticos de sobrecarpeta para los diferentes subtramos homogéneos definidos.**

**Figura 58. Procedimiento Constructivo de la alternativa 3**



Durante el proceso constructivo de esta alternativa se debe tener cuidado en la nivelación de la capeta de concreto hidráulico e tal manera que no refleje los deterioros de la asfáltica que le sirve de sustento. Así pues, se debe ser cuidadoso también en la definición de la textura de la capa de concreto hidráulico, siendo necesario primeramente nivelar la rasante.

El diseño ya descrito inicialmente de esta alternativa sugiere aplicar la capa de concreto hidráulico en 28cm. A lo largo de toda la longitud y ancho de la corona, incluyendo la capa debajo de la barrera central y la zona de acotamientos.

### III.4.-

## Análisis comparativo de las alternativas de pavimentación

## **INTRODUCCIÓN.**

**Ya descritas cada una de las alternativas para la rehabilitación de la autopista Chamapa - La Venta, se pueden comparar mediante criterios de economía, seguridad, funcionalidad y armonía con el entorno, siendo evaluados con parámetros como la resistencia, durabilidad, textura superficial, tiempo y facilidad de rehabilitación, deformabilidad y susceptibilidad al deterioro (mantenimiento), ruido, luminosidad, economía, costo de construcción y costo de mantenimiento.**

**Los criterios de comparación se fundamentan en las investigaciones revisadas y en la opinión de profesionales en pavimentos y se anotan para emplearlos en la confrontación de los tipos de pavimento (rígido y flexible), poniendo como ejemplo de aplicación la rehabilitación referida de la autopista Chamapa- La Venta.**

**Este capítulo busca recalcar que la elección de una de las alternativas de pavimento planteada en el capítulo III.3, debe estar sustentada por principios técnicos, empíricos y otros parámetros que garanticen una vía de tránsito segura, durable y factible en términos económicos. Así mismo, este trabajo de tesis pretende orientar al lector en conceptos básicos de pavimentos y familiarizarlo con los términos más empleados en el ámbito de la pavimentación, generando con ello las bases para poder diferenciar y decidir entre la aplicación de pavimentos rígidos o de pavimentos flexibles, poniendo como ejemplo el análisis de pavimentos en la rehabilitación de la autopista Chamapa - La Venta. En el caso particular de la autopista, se describen las características más relevantes de la misma y se hace referencia a los estudios de evaluación correspondientes a la rehabilitación. También, al final de esta lectura, se conocerán las características relevantes de tránsito para evaluar las cargas en pavimentos, las propiedades deseables de diversos materiales requeridos en su construcción, así como información básica de pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico, para poder decidir a favor de las mejores y más rentables alternativas, en base de criterios de resistencia, funcionalidad y economía.**

#### **III.4.1.- CONSIDERACIONES GENERALES**

**Es conveniente mencionar que en el proyecto, el diseño y la construcción de una vía terrestre, tanto la utilización de pavimentos de concreto hidráulico (rígidos) como la de los de concreto asfáltico (flexibles) puede satisfacer los requerimientos y exigencias técnicas, de costo y de calidad de la obra; sin embargo es necesario e indispensable considerar las ventajas entre unos y otros dentro de las mismas condiciones de una obra, de acuerdo a los conceptos teóricos que se posean sobre el comportamiento de cada uno de ellos y en base a la experiencia adquirida en obras de la misma índole.**

También cabe mencionar que las consideraciones de análisis y diseño empleadas como parámetro para el diseño de las tres alternativas de pavimento no son iguales (especialmente las condiciones de tráfico y el periodo de operación); además de que cada diseño aplicado del pavimento determina estructuras diferentes, en gran medida porque cada alternativa emplea materiales diferentes, procesos constructivos especializados y congruentes con cada tipo de pavimento.

#### **III.4.2.- CRITERIOS PARA COMPARAR LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO.**

Para la evaluación de estos criterios se recurre a los conceptos básicos descritos para pavimentos flexibles y rígidos, tratando en forma general los beneficios de cada tipo de pavimento. Refiriendo también a los capítulos anteriores, fue necesario describir las propiedades fundamentales de los materiales para la construcción de estos pavimentos, pues **básicamente de la elección del material y atendiendo las ventajas de su uso, se realiza técnicamente la selección del tipo de pavimento adecuado para aplicarse en la rehabilitación.**

**Respecto a las consideraciones económicas para evaluar la conveniencia del empleo de uno u otro pavimento, debe aclararse que no basta con tomar en cuenta sólo el costo de construcción de la estructura, sino que deberán considerarse además los costos del mantenimiento de cada tipo de rehabilitación para el periodo de operación de la obra.** Es importante que este trabajo de tesis se considere vea como un caso típico de aplicación de estos criterios para decidir entre las posibles alternativas de pavimentos (flexibles o rígidos).



Finalmente conviene indicar que en la investigación de trabajos diversos sobre los pavimentos, **abundan los documentos tendenciosos, con manifestación plena por el uso del concreto hidráulico y otros por el uso del concreto asfáltico y por ello es importante saber identificar objetivamente ambos materiales en base de las condiciones específicas en que conviene cada aplicación, con el conocimiento y consideración de los conceptos básicos de cada una de las alternativas y desde luego el pleno entendimiento del problema a resolver.** Así pues, los criterios mencionados se basan en estándares de calidad sobre las características de la obra a realizar:

### **1.- SEGURIDAD**

- A) RESISTENCIA**
- B) DURABILIDAD**
- C) TEXTURA SUPERFICIAL**

### **2.- FUNCIONALIDAD**

- A) TIEMPO Y FACILIDAD DE REHABILITACIÓN**
- B) DEFORMABILIDAD y SUSCEPTIBILIDAD AL DETERIORO (MANTENIMIENTO)**
- D) RUIDO**
- E) LUMINOSIDAD**

### **3.- ECONOMÍA**

- A) COSTO DE CONSTRUCCIÓN**
- B) COSTO DE MANTENIMIENTO**
- C) RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

**A continuación se describen en forma general los criterios que se emplearon para la elección de la alternativa de rehabilitación de la autopista Chamapa - La Venta.**

### III.4.2.1.- SEGURIDAD

La seguridad del pavimento depende fundamentalmente de su resistencia al tráfico y a las condiciones de intemperismo a las que se verá sometido. Esta característica del pavimento puede considerarse como un criterio para favorecer a alguna de las alternativas de pavimento. Su análisis se realiza **de acuerdo a la capacidad estructural de terracerías y pavimento, y también de acuerdo con las condiciones superficiales del pavimento.**

En general la dificultad de medir este parámetro y garantizar que una alternativa es más segura que otra radica en que cada opción de pavimento presenta diferentes parámetros de resistencia y durabilidad que generan condiciones particulares para su configuración estructural. Incluso cada alternativa de pavimentación emplea distintas características de diseño, entre ellas la elección del material de la capa de rodamiento; tal es el caso presentado en la fase de proyecto del TDPA, en donde se emplean tasas de crecimiento y periodos de servicio diferentes. **De esta manera, se observa que las consideraciones de diseño de cada alternativa no son las mismas; pero para fines prácticos de este trabajo, se considera que la implantación de cualquiera de ellas ofrece un grado óptimo de seguridad inicial, dentro de las condiciones implícitas de los materiales que involucran. Y aunque no son del todo comparables estos parámetros, si lo son la resistencia y la durabilidad que se presentan en determinado periodo de servicio.**

#### III.4.2.1.1.- RESISTENCIA Y DURABILIDAD

En este trabajo la resistencia se define en función del número de ejes equivalente que es capaz de soportar la estructura en servicio antes de requerir una reconstrucción.

La durabilidad va implícita en el periodo de diseño de cada alternativa y depende básicamente de las propiedades de los materiales empleados en la construcción de cada una de ellas.

La resistencia y la durabilidad **dependen fundamentalmente del tráfico y del intemperismo** que se prevén ocurran en la autopista a rehabilitar. Con respecto al tráfico actual en la autopista Chamapa – La Venta se verifica que es intenso y, según los antecedentes de aforo, la tasa de crecimiento es mucho mayor que el promedio (10% contra la media de 4%). Estas **condiciones de carga tan intensas (con tendencia de mayor crecimiento en cargas pesadas) favorecen la utilización de la segunda y tercer alternativas de rehabilitación (capítulo III.3).**

**En general, para un mismo periodo de diseño e idéntico número de ejes equivalentes, la estructura del pavimento rígido presenta una mayor resistencia al tránsito y al intemperismo que la de pavimento asfáltico, debido a la resistencia a la compresión y el alto módulo de elasticidad del concreto hidráulico endurecido. En el caso de las alternativas que usan carpeta asfáltica, conforme esté en servicio el pavimento, debido a la susceptibilidad de este material a sufrir deformaciones permanentes y transmitir casi completamente la carga a los estratos inferiores, se deberá tener en cuenta que éstas continuarán deformándose rápidamente, lo cual redundará en la disminución de la vida útil del encarpetao asfáltico que se coloca sobre ellos. )**Frecuentemente por efecto de deterioro, las alternativas de pavimento flexible requieren de tratamientos superficiales y reencarpetaos en periodos de 5 a 7 años como máximo, con los cuales se recupera el grado de seguridad perdido anteriormente **por el envejecimiento rápido del concreto asfáltico en servicio).**

La primera alternativa (sobrecarpeta de pavimento flexible) no considera el criterio de la estabilización de las capas de base y subbase; la segunda alternativa si aplica dicha estabilización, y considera que dichas capas se mejorarán en cuanto al cumplimiento con la normativa de la SCT respecto a su límite plástico, límite líquido, equivalente de arena, contenido de finos y su VRS respectivo.

**En general, del análisis de la capacidad y propiedades de las capas térreas y a pesar que el estudio de evaluación declara que estas capas son de calidad inadecuada, se verifica que las medidas de granulometría, límite líquido, contenido de finos y el índice plástico, si bien no cumplen con la normativa SCT, su valor no difiere en exceso de los parámetros que dicha normatividad sugiere para obras viales tipo I (Ver capítulo II.1). Por ello se considera que la calidad de estos parámetros es tolerable con respecto a las siguientes magnitudes.**

	% finos máx.	Limite Líquido máx.	Índice plástico %	Equivalente de arena min.
Subrasante	35%	40%	20% máx.	---
Subbase	15%	30%	6%	30%
Base	15%	30%	6%	50%
Capa asfáltica	4% máx.	--	--	60%

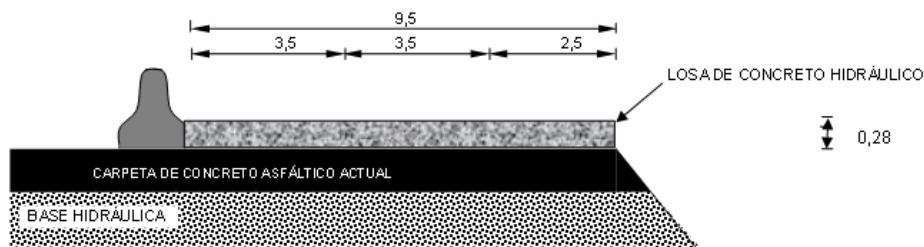
Nota: Las obras viales tipo I son caminos cuyo tránsito en numero de ejes equivalentes de 8.2 ton acumulado en un periodo de 10 años, este comprendido entre 10, 000, 000.00 y 50, 000, 000.00. Consultar manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. SCT

En el caso de la tercer alternativa, ésta no mejora las capas de base y subbase afectadas por asentamientos excesivos y pasa por alto la minimización de las condiciones de deterioro más severas a nivel de base y súbbase; sin embargo esta alternativa de rehabilitación uniformiza la distribución de esfuerzos mediante la capa rígida superior.

Con estas observaciones respecto al mejoramiento de las capas de base y subbase, **la segunda alternativa se ve favorecida al promover un mejoramiento en las capas inferiores del pavimento, con lo cual garantiza una menor susceptibilidad a la deformación a nivel de base y sub-base.**

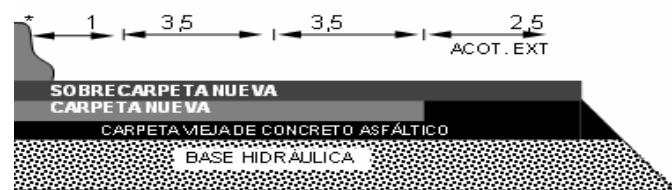
Siguiendo con el análisis de la información relevante de las alternativas de rehabilitación para poder elegir alguna de estas aplicaciones, es útil ahora revisar **la estructuración que plantea cada opción.**

**El diseño del pavimento rígido se realizó para un periodo de servicio que se estima en 18 años, durante los cuales habrá de soportar los 86, 615, 989.00 ejes equivalentes** (Capítulo II.4) con la siguiente configuración estructural:



**Fig. 59. Alternativa rígida. Soporta mayor número de ejes equivalentes con condiciones más severas de diseño.**

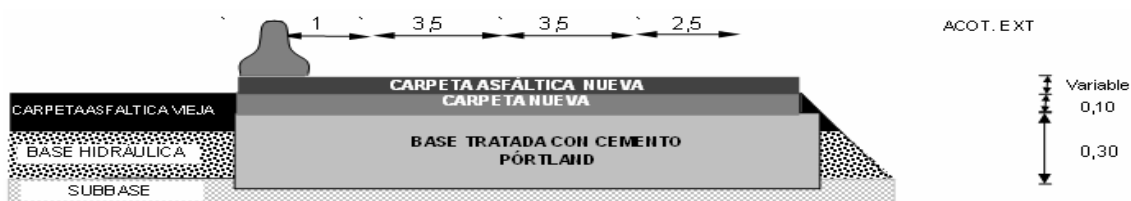
En lo correspondiente a **la primera y a la segunda alternativas de pavimentación (aplicación de pavimento flexible), se estima que tendrán un periodo de servicio de 15 años**, con un mantenimiento mayor consistente en sobre - encarpetados. Durante dicho periodo **se estima que el pavimento habrá de soportar el paso de los 20, 636, 388.00 ejes equivalentes.** (Capítulo II.4)



**Fig. 60. Primera alternativa de pavimento flexible**

Comparando la alternativa de pavimento rígido con la primera alternativa de pavimento flexible se nota que, para periodos de servicio de 18 años en el primer caso y 15 años en el segundo caso, existe una gran ventaja en la aplicación del whitetopping en cuanto a resistencia y durabilidad. En general, de acuerdo al diseño de cada alternativa de pavimento (capítulo II.4), se observa que la opción de pavimento rígido soporta un **número de ejes equivalentes mucho mayor que la capacidad de la estructura flexible. La diferencia en cuanto al número de ejes equivalentes las tres alternativas de rehabilitación, favorece la opción rígida aún cuando ésta se diseñó empleando una tasa de incremento vehicular también mayor en comparación con la correspondiente del pavimento flexible; en la revisión del diseño de pavimentación se observa que las tasas de incremento vehicular entre dichas alternativas difieren en por lo menos el doble, considerando que en el pavimento flexible se empleó una tasa conservadora de 5% anual mientras para el pavimento rígido se utilizó un incremento anual vehicular de 10.5%. (Capítulo II.4).** A este respecto y de acuerdo con la tendencia de crecimiento vehicular más probable en la autopista, se consideró que la tasa de crecimiento de 10.5% es una medida poco factible de conservarse durante el periodo de los 18 años, pues este crecimiento saturaría rápidamente la capacidad de servicio de la autopista, a pesar de las medidas de ampliación de carriles en casetas y gasas vehiculares que se proyectan a futuro. De esta manera **la alternativa conlleva un mayor grado de seguridad y muestra una mayor durabilidad, aún en condiciones de carga más severas,; sin embargo, no se puede negar que la tasa de crecimiento vehicular para la cual se diseñó (10.5%), convierte dicha alternativa, por efecto de esta comparación, en una opción muy sobrada para la expectativas de crecimiento vehicular esperadas.**

**Continuando el análisis ahora con respecto a la capacidad de absorber deformación de las capas de base y subbase del pavimento deteriorado,** se verificó que la primera alternativa no evitará que los asentamientos asociados a deterioros en dichas capas sigan acumulándose cuando vuelva al servicio la autopista, y en general esta **aplicación es un paliativo pobre del debilitamiento de las capas de base y subbase en tanto no se les aplique a éstas un proceso de mejoramiento que les dote de una mayor resistencia para soportar la intensidad del tráfico actual y futuro. (Ver capítulo III.3)** En cambio la segunda alternativa es una solución más apta para controlar el deterioro de las capas de base, sub-base y terracerías pues, mediante el mejoramiento éstas, mitigará los asentamientos diferenciales, producto de la mala calidad de los materiales existentes. En lo que corresponde a la tercer alternativa (implemento de pavimento rígido) tampoco mejora dichas capas, pero se confía en que el deterioro de la calidad los materiales no se incremente significativamente, pues estarán protegidos por una capa muy rígida que uniformizará los esfuerzos producto de las cargas.



**Fig. 61. Segunda alternativa de pavimento flexible.** La mejor opción para controlar los asentamientos

La durabilidad de un pavimento es un parámetro de resistencia del mismo a las solicitaciones que afectan su capacidad de soporte en forma acumulativa, lo cual genera un envejecimiento de los materiales y el deterioro implícito de cargas de tránsito y factores ambientales. En este panorama la noción de seguridad varía con el tiempo de servicio y las medidas de mantenimiento que se apliquen en su superficie. Ya tratado el tema del tránsito y sus efectos en la durabilidad, se tiene que atender la condición de intemperismo.

El intemperismo es la otra solicitación más significativa que actúa sobre los pavimento deteriorándolo. Sus efectos, al igual que los del tránsito se manifiestan en una disminución de la durabilidad del pavimento y más específicamente sobre la carpeta de rodamiento que es la capa más expuesta. Así pues, haciendo un rápido análisis del pavimento propuesto por cada alternativa de pavimentación se verificó que la opción rígida manifiesta más durabilidad, pues la capa de concreto hidráulico tiene menor susceptibilidad al deterioro que el concreto asfáltico, ya que este último presenta un rápido envejecimiento que se agrava con el servicio intenso de la autopista.

En general en pavimentos asfálticos el propio asfalto es el material que se oxida rápidamente y por tanto deja de funcionar adecuadamente como un cementante para ligar los agregados de la capa de rodamiento. Este defecto genera desgranamientos, grietas, roderas, baches, etc.

El desgaste superficial de los agregados también es un factor a considerar en la durabilidad de estos pavimentos. Sin embargo este punto está implícito en la textura y rugosidad de la capa de rodamiento. A este respecto se recomienda no emplear agregados calcáreos, que son susceptibles de desgaste rápido ante el contacto repetido y el derrapamiento de los neumáticos. En general, la resistencia al desgaste de los agregados no influye significativamente en la comparación de un pavimento flexible con uno rígido, pues aunque el material de agregado pétreo empleado en una carpeta asfáltica sea de muy buena calidad, el asfalto constituye el elemento débil de la mezcla que la hace poco durable.

Cabe destacar que en las investigaciones sobre concreto asfáltico se realizan nuevas modificaciones a las propiedades de los asfaltos para hacerlos más durables en condiciones de carga repetitiva y ambientales, como en el caso del denominado **Stone Mastic Asphalt (SMA)**, para generar una expectativa de servicio de hasta un 40% extra con respecto a un concreto asfáltico normal.

**En general se puede concluir que la durabilidad de un pavimento rígido es mucho mayor que la de un pavimento con capa de rodadura hecha de asfalto y su empleo se ve favorecido por requerir de menos intervenciones de reparación en comparación con el pavimento flexible.**

#### **III.4.2.1.2.- TEXTURA SUPERFICIAL**

Cuando los trabajos de construcción de las capas de base, sub-base y subrasante se realizan de acuerdo con lo especificado como la calidad óptima, entonces se puede esperar que el comportamiento de un pavimento en operación sea igual al previsto en la etapa de diseño. De esta manera, **la seguridad de un pavimento depende mayormente de las condiciones en la que se encuentre la capa de rodamiento, sin pasar por alto que se debe contar con el soporte necesario de las capas inferiores. La textura es una de las propiedades de la capa de rodamiento que le confiere seguridad de circulación al pavimento.**

**En las alternativas de concreto asfáltico la textura se controla comúnmente con temperaturas adecuadas de tendido y compactación, con la consistencia de la mezcla, con el equipo de compactación y su número de pasadas y con el rastrilleo en detalle de zonas irregularmente tendidas. Este proceso se ve favorecido por la facilidad de manejo de la mezcla tendida en temperaturas de 110 a 150 grados centígrados) y por a consistencia que brinda el asfalto a estas temperaturas.**

**En la alternativa de concreto hidráulico, la capa de rodamiento recibe su textura con un rayado superficial con determinadas especificaciones (Ver capítulo II.1) y requiere de un estricto control de calidad cuando se imprime la superficie del pavimento. En general se considera que este proceso es menos sencillo y rápido que la generación de la textura en el concreto asfáltico.**

**En una capa de rodamiento, además de procurar la mejor adherencia neumático – pavimento, se busca que permita el rápido desalojo de agua ante las precipitaciones pluviales de la zona. Respecto a la capacidad de drenaje superficial del pavimento, este factor se auxilia de las pendientes longitudinales y transversales de la capa superficial; adicionalmente este drenaje constituye parte del sistema general de drenaje superficial con elemento como obras de laterales (cunetas y bordillos).**

**En general las condiciones de drenaje de la capa de rodamiento quedan supeditadas a la textura del material tendido y comúnmente se acepta que el material que ofrece mejores condiciones de desalojo del agua es el concreto hidráulico, a pesar de que su proceso de texturizado es más elaborado.**

#### **III.4.2.1.3.- FRICCIÓN.**

**La fricción de la superficie de rodamiento se determina de acuerdo al acabado del pavimento.** Sirve de parámetro para evaluar la seguridad de circulación sobre el pavimento y presenta su valor crítico (más desfavorable) cuando el pavimento esta mojado.

**Existen diversos métodos para medir la fricción, y en ellos se emplean equipos muy especializados. Para consultar los diversos equipos con que se realizan las pruebas de fricción en un pavimento se recomienda consultar la referencia 37.**

**Comúnmente la fricción se mide en forma indirecta al determinar la textura del pavimento** con ayuda de técnicas como el cono de arena. En general su valor depende de factores como:

- Acciones ambientales (intemperismo)
- Factores inherentes a la carretera (geometría y propiedades de los materiales de construcción de la capa de rodamiento)
- Características de conducción del vehículo (velocidad y estado de las llantas)

**También es frecuente que las pruebas para fricción se realizan con vehículos y equipos especiales que miden la resistencia a la fricción para varias velocidades de circulación en la superficie del pavimento mojado.**

Igual que otras características superficiales, **los niveles de fricción de un pavimento varían con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción de las llantas de los vehículos. Este efecto erosivo de las sollicitaciones vehiculares e intemperismo es diferente para los dos tipos de pavimentos; siendo más notorio en la superficie del pavimento flexible, debido al efecto de adherencia limitado que presenta el agregado de una mezcla asfáltica.** La resistencia a la erosión también depende de la calidad del agregado a emplear en la capa de rodamiento; por ejemplo en caso de utilizar agregados calizos la erosión se incrementa más rápido en comparación con el uso de agregados volcánicos. En el caso de las alternativas de rehabilitación de la Autopista Chamapa – La Venta, los agregados a emplear son de origen volcánico. **Específicamente los agregados para elaborar concreto asfáltico serán elegidos en una planta proveedora, y en caso de los de concreto hidráulico los agregados**



se obtendrán de la misma zona minera por la cual se desarrolla la autopista, con la ventaja de contar con varias plantas de elaboración de concreto hidráulico muy cercanas al tramo a rehabilitar.



Entre las diversas formas de medir la fricción en pavimentos, destaca su medición empleando una correlación con el coeficiente de fricción físico; Con la prueba se puede determinar la resistencia al deslizamiento y en general consiste en medir la pérdida de energía del péndulo cuyas características corresponde a ciertas especificaciones; esta provisto en su extremo de una zapata de caucho. La pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. (Ver capítulo II.1)

Los valores de referencia que sirven para evaluar un pavimento se obtuvieron de experiencias europeas para pavimentos mojados y para pavimentos secos:

Pavimento \ Vehículo	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0.50	0.45	0.45	0.50
Flexible	0.50	0.50	0.45	0.45
Poroso	0.45	0.45	0.40	0.40
Lechadas	0.50	0.55	0.55	0.45
Sellos	0.50	0.45	0.45	0.40

Tabla No. 88. Límites permisibles del **coeficiente de fricción para pavimento mojado**. REF\*38

Pavimento \ Vehículo	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0.80	0.85	0.80	0.80
Flexible	0.80	0.85	0.85	0.85
Poroso	0.75	0.85	0.85	0.85
Lechadas	0.80	0.90	0.80	0.85
Sellos	0.85	0.90	0.75	0.80

Tabla No. 89. Límites permisibles del **coeficiente de fricción para pavimento seco**. REF\*38

En el sistema de evaluación de pavimentos de la SCT se recomienda usar en carreteras mexicanas un valor del coeficiente de fricción de 0.8

para pavimentos rígidos y de 0.5 para pavimentos flexible. **En general el carreteras mexicanas el sistema de evaluación de pavimentos de la SCT adopta el valor de 0.5 como nivel de cumplimiento o no de la seguridad del pavimento (condición crítica)**

En la aplicación de esta prueba para pavimentos flexibles se registra también la temperatura de la capa de rodamiento. La referencia (REF\*38) indica necesaria la evaluación del coeficiente de fricción anualmente para garantizar un mantenimiento oportuno de la textura del pavimento.

**II.4.2.1.3.1.- ACCIONES MÁS COMUNES PARA MEJORAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN**

En México, y como medida de mejoramiento del coeficiente de fricción, en carreteras federales, se aplica el riego de sello a base de granzón y emulsión de liga, y en el caso de autopistas de altas especificaciones con altas velocidades de operación, se sugiere aplicar el tratamiento con (Lechada Asfáltica) Slurry Seal, para garantizar mejor adherencia y poco o nulo desprendimiento de agregado. En pavimentos rígidos de concreto hidráulico se recomienda el ranurado transversal, con base en un estriado mecánico en frío, de 0.5cm de ancho y 0.5cm de profundidad, con espaciamiento de 10cm (entre franjas) para lograr un eficiente drenaje superficial y disminuir la acumulación de la lámina de agua que pueda provocar acuaplanéo. (Revisar Capítulo II.1 y la referencia III.4.2.1.3.2)

**En el caso de las alternativas de pavimento analizadas para la rehabilitación, las que corresponden a pavimento flexible controlan el drenaje superficial con la capa delgada de concreto asfáltico (3cm de espesor), garantizando un coeficiente de fricción de 0.60-0.65 y un drenaje de 0.10% (método de prueba AASHTO T305), con lo cual se minimizan las condiciones de acuaplanéo. Sin embargo, esta capa no resulta tan durable en su condición de textura en comparación con el caso del concreto hidráulico.**

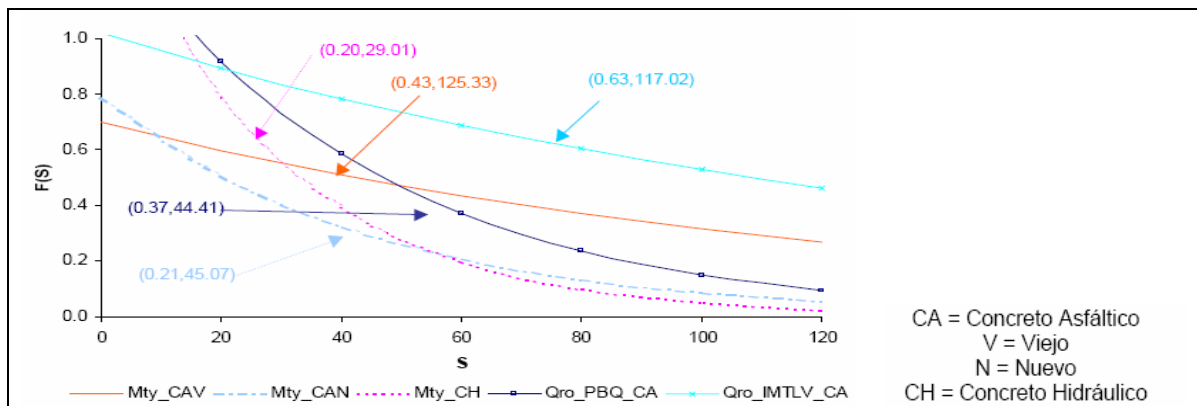


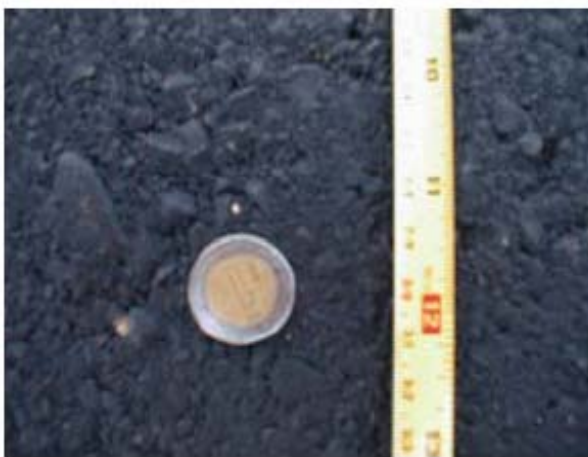
Figura 63. Coeficientes de fricción para pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico en servicio. REF\*44.



Qro\_PBQ\_CA



Qro\_IMTLV\_CA



Mty\_CAN



Mty\_CAV



Mty\_CH

Fotografías para relacionar el valor del **IFI** con la textura de la carpeta de rodamiento. REF\*44:

### III.4.2.1.3.2.- HIDROPLANÉO

**Cuando un auto circula sobre el pavimento mojado a altas velocidades, puede entonces presentarse el fenómeno de hidroplanéo.** Este fenómeno se mitiga controlando la impermeabilidad y la lámina de escurrimiento superficial que se presenta en el pavimento durante las precipitaciones. **El hidroplanéo también se denomina acuaplanéo y es un fenómeno que se relaciona directamente con la textura de la capa de rodamiento del pavimento y puede establecerse como criterio de seguridad para el usuario de la autopista.**

**En pavimentos flexibles el hidroplanéo se presenta mayormente en capas de rodamiento cuya textura es cerrada y con macrotextura mala que no permite el rápido desalojo de agua.** Para el caso de la rehabilitación, en la primera alternativa de pavimento, se tiene una capa de rodamiento flexible cuyo comportamiento respecto al drenaje superficial se prevé que será el de una mezcla común de textura abierta y en general garantiza un rápido desalojo de las lluvias intensas de la zona. **Con la primera alternativa se asegura la impermeabilidad a capas inferiores mediante el riego de impregnación entre la base asfáltica gruesa y la capa asfáltica de refuerzo;** además, para asegurar las condiciones de impermeabilidad, se aplicará en su superficie un riego de taponamiento contra las posibles infiltraciones, de manera que contribuya a la adherencia entre el neumático y el pavimento. La segunda alternativa tiene iguales condiciones respecto al drenaje superficial. La tercer alternativa, que considera una capa de rodamiento de concreto hidráulico y especifica un acabado que igualmente garantiza el desalojo oportuno y eficiente del agua producto de la lluvia.

Comúnmente en los pavimentos rígidos, el rayado de textura que se le aplica al concreto hidráulico presenta un patrón como el mostrado en la figura 23 del capítulo II.1, con el cual también se garantiza el rápido desalojo de agua; sin embargo debe observarse que para el cumplimiento de esta función, el rayado de textura del pavimento rígido debe conservarse limpio durante el servicio de la estructura, pues el taponamiento de estas líneas de textura genera un escurrimiento de agua diferente al previsto, el cual puede generar hidroplanéo. Esta última anotación resulta de interés porque la zona de desarrollo de la autopista se dedica mayormente a la explotación minera, lo cual genera una actividad intensa de mantenimiento por graneado natural y del producido por los camiones transportistas de las minas. **En general, respecto a las condiciones climáticas cabe recalcar que las alternativas de pavimento flexible requieren necesariamente de mantenimiento continuo para asegurar la seguridad de la capa de rodamiento, lo cual será en el caso del concreto hidráulico propuesto en la tercer alternativa.**

**Cabe destacar que ambos tipos de pavimento pueden garantizar el rápido desalojo del agua superficial, ya sea con el aumento del bombeo o bien con la afirmación de determinada textura.**

**Como conclusión del análisis de las consideraciones de tráfico y clima que actúan sobre la autopista, se puede resumir que la alternativa rígida se ve favorecida por constituir una solución ante el incremento en volumen de tránsito pesado y transporte de pasajeros que se proyecta para el servicio de la autopista, aunque no deja de considerarse una solución muy conservadora.**

Finalmente debe mencionarse que una forma de prevenir accidentes por hidroplanéo la constituyen las limitaciones de velocidad impuestas por la autopista mediante señalamiento restrictivo. A este respecto los accidentes de que se tiene registro, y que son generados por acuaplanéo, son todos atribuibles al exceso de velocidad y la falta de precaución del conductor.

#### **III.4.2.2.- FUNCIONALIDAD**

En este trabajo de tesis el parámetro de funcionalidad se define de acuerdo a las condiciones de comodidad de circulación en la autopista, que dependen mayormente de la capacidad de deformación de la estructura y de las condiciones de acabado de la capa de rodamiento. (Ver capítulo II.1). Es así que la medida de la funcionalidad depende fundamentalmente de las características de deformación y durabilidad de la estructura.

**El análisis de funcionalidad de las tres alternativas de rehabilitación dio gran relevancia a la que propone el mejoramiento de las capas terreas, pues con esta medida, se minimizan los asentamientos excesivos que presentaba la base según los resultados de laboratorio. De esta forma la alternativa flexible también soluciona el problema de reflejar en igual magnitud los asentamientos de las capas de cimentación en la capa de rodamiento.**

**Como se vio anteriormente, los grados de serviciabilidad que se pueden lograr con asfalto o con concreto hidráulico están definidos a la textura de la superficie de rodadura; esta característica se puede controlar con la dosificación de la mezcla tendida, el material empleado en la elaboración de dicha mezcla y la facilidad de su tendido con personal y maquinaria aptos para esa labor. En general definir la textura de la capa de rodamiento es más fácil y rápido en concreto asfáltico, pero esta se ve también rápidamente deteriorada por la poca durabilidad de este material, por lo cual requiere de constantes tratamientos superficiales.**

En los temas siguientes se definen algunos de los factores que sirven para determinar la funcionalidad de un pavimento.

**Entre los factores que determinan el grado de comodidad y seguridad del pavimento esta el denominado IRI (Índice de Rugosidad Internacional), el cual es una calificación del pavimento para brindar servicio, toman o en cuanta las deformaciones verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro.**

### III.4.2.2.1.- IRI.

**Es el Índice Internacional de Rugosidad que se obtiene a partir de la acumulación de desplazamiento relativo entre masas de carrocería y la suspensión del modelo cuando el vehículo circula por el perfil del camino en estudio.** Este sistema analiza la deformación del pavimento por un kilómetro de longitud. Constituye un indicador importante de la carretera y se recomienda emplearlo como valor límite.

País	Autopista Libre	Carretera Nacional	Autopista de cuota
Bélgica	2.5	3.5	2.0
España	2.5	3.0	2.5
Francia	2.0	2.8	2.0
Portugal	2.2	3.5	2.0
Italia	2.0	3.0	2.0

Tabla No. 90. Límites permisibles del IRI (m/Km.). REF\*44

Algunas recomendaciones para la elección del IRI en función del TDPA se dan en la siguiente figura:

Figura 63. Condición del pavimento según el IRI. REF\*44

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	> 12
0 - 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 - 9 999			<i>Regular</i>		<i>Malo</i>		
10 000 - 19 999					<i>Muy malo</i>		
> 20 000					<i>Muy malo</i>		

La siguiente figura presenta valores del IRI de acuerdo a la velocidad de proyecto de la vialidad y es producto de la experiencia internacional en caminos para regular este criterio.

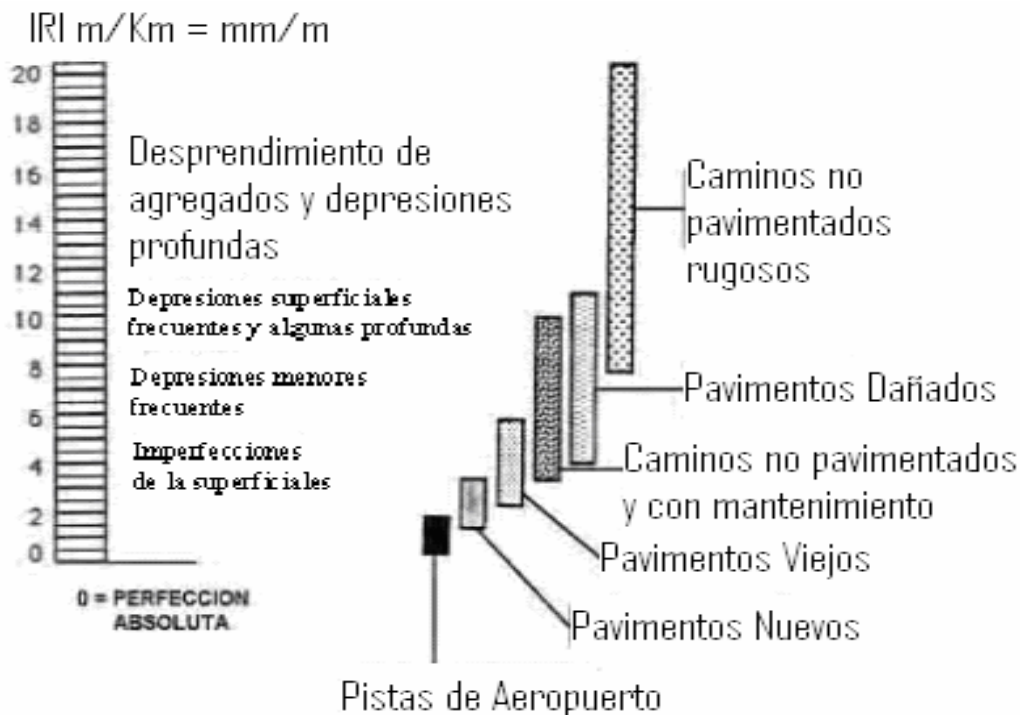


Fig. 64. Valores del IRI. REF\*44

**Las causas de estas deformaciones son principalmente:**

**Procedimiento constructivo.**

**Daño por circulación vehicular**

**Daño por la circulación vehicular y los efectos climáticos**

En general las capas del pavimento suelen sufrir asentamientos que se reflejan superficialmente y pueden deberse a la calidad de los materiales y a las cargas de circulación, y con el IRI se puede referir esta deformación al perfil longitudinal del tramo evaluado. Los equipos y métodos para medir el perfil son diversos:

- Regla estándar de 3 a 9m (que refieren la irregularidad respecto del punto medio de la misma apoyada en el pavimento).
- Perfilógrafo (de 3 a 7m). Mediante un sistema gráfico computarizado determina las irregularidades de punto medio del perfilógrafo.
- Analizador dinámico del perfil longitudinal (equipo francés); Analizador de regularidad superficial (equipo español); Mays Rider Meter (equipo americano). Estos equipo se caracterizan pr desplazarse a velocidades de operación de la vialidad (20-80 m/hr)



### III.4.2.2.2.- CONSERVACIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD AL DETERIORO

La presencia de deterioros frecuentemente es un factor de incomodidad para el usuario de una obra vial y puede constituir un riesgo de accidentes. La diversidad de los deterioros es múltiple en caso de los pavimentos de concreto asfáltico y varios de ellos no se presentan en el pavimento de concreto rígido.

En general la deformación de un pavimento se manifiesta como un efecto acumulativo mucho más notorio en el pavimento flexible, dada su capacidad de aceptar deformaciones plásticas sin que se presente una falla por resistencia. Ahora bien, si se considera un periodo de servicio de 5 a 6 años, para el cual ya han circulado determinado número de ejes equivalentes, las opciones de pavimento de concreto asfáltico ya habrían cumplido con su periodo de servicio, siendo necesario para su conservación el recibir mantenimiento mayor, o en el caso menos severo, requerirían de un tratamiento superficial para ampliar la vida útil del pavimento completo. En cuanto al comportamiento de los pavimentos rígidos en el periodo de los 5 a 6 años, se prevé que la alternativa rígida sólo experimentará deformaciones mínimas debidas mayormente al asentamiento de las capas terreas que le soportan, por lo cual su condición de servicio en cuando a la deformación permisible, presenta poca variación con respecto a sus características originales.

Comúnmente, en este esquema empírico, para el periodo de 6 años la susceptibilidad del concreto asfáltico al deterioro se manifiesta en deformaciones permanentes, grietas diversas, desprendimiento y baches, mientras que el pavimento rígido sólo manifiesta deterioro de juntas y algunos desportillamientos de menor importancia. La figura siguiente presenta la vida útil de un pavimento flexible, que se ve limitada por la durabilidad y el rápido envejecimiento del concreto asfáltico; además se observa como se eleva la curva de servicio cuando se aplica algún tratamiento superficial.

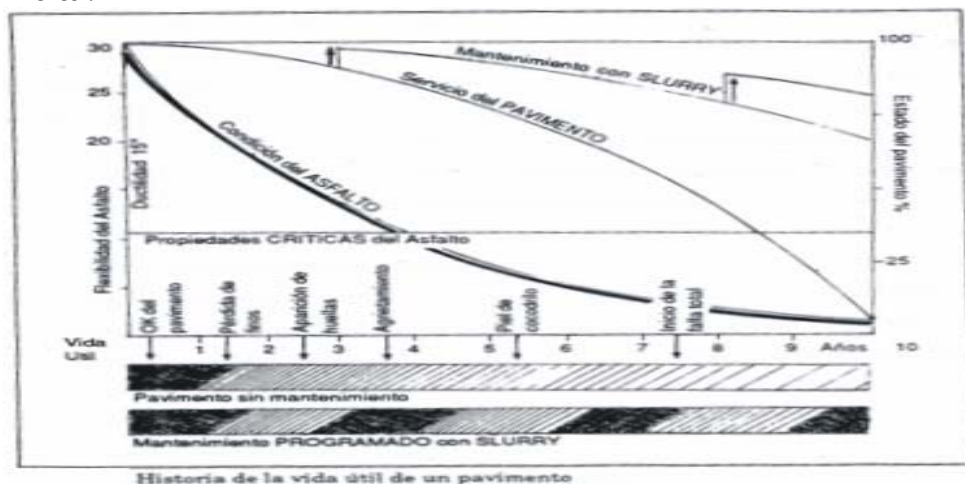


Figura 65. Ampliación de vida útil de un pavimento flexible con tratamiento superficial

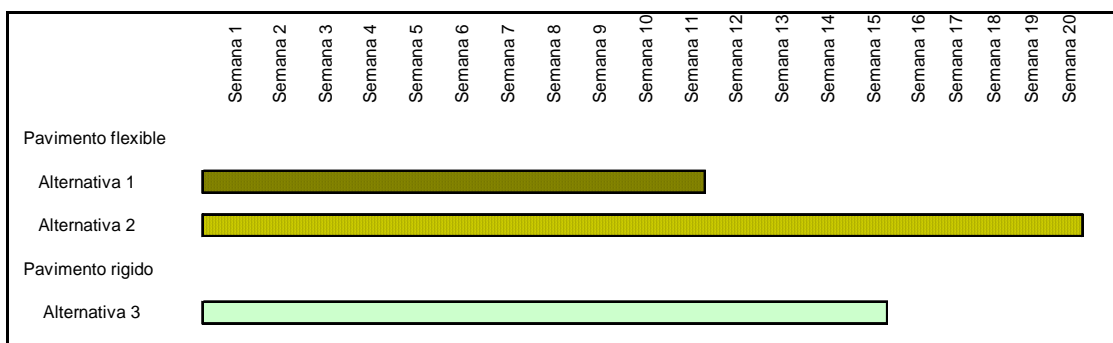


### III.4.2.2.3.- TIEMPO Y FACILIDAD DE REHABILITACIÓN

El tiempo y la facilidad del proceso de rehabilitación que plantean las alternativas de pavimento, son aspectos que influyen directamente en la calidad de la construcción. En general esta calidad es el aspecto más importante para que cualquier opción garantice un camino que opere adecuadamente durante su vida útil. Para realizar una construcción de alta calidad se requiere de la supervisión de los trabajos por parte del constructor y por parte de la operadora de la autopista, ambas controlando el proceso constructivo en cuanto a la calidad de los materiales y la efectividad de procesos empleados.

La optimización del tiempo y la efectividad de la construcción deben basarse en una logística general de todo el proceso constructivo, que va desde la disposición de la mezcla en planta, su transporte, su puesta en obra, el tendido, compactado y puesta en servicio. En general, en cuanto al tiempo de pavimentación requerido por cada alternativa de pavimentación, se considera que este parámetro es de vital importancia, pues representa el periodo que afecta la comodidad del usuario de la autopista, por lo cual se preferirá la alternativa que pone en servicio la autopista en el menor tiempo posible. En esta consideración, el proceso de construcción del pavimento de con concreto asfáltico, y más específicamente la primera alternativa, resulta más fácil y se efectúa rápidamente en comparación con la rehabilitación con concreto hidráulico.

El tiempo estimado para rehabilitar la autopista con cada procedimiento se observa en la siguiente tabla:



**Nota:** Los trabajos buscan interrumpir lo menos posible el flujo vehicular en horas pico. Originalmente se planeó trabajar en horarios de 21:00 hrs. a 6:00 hrs., sin embargo se optó por disponer de luz solar para verificar los trabajos más adecuadamente y minimizando el riesgo de algún accidente para los usuarios de la autopista y los trabajadores.

En la rehabilitación, por atención al criterio de tener una apertura rápida al tránsito, la primera alternativa de rehabilitación recibe cierta preferencia para su aplicación. Y aunque en el pavimento rígido el tiempo de rehabilitación se puede reducir significativamente, siempre y cuando se emplee una moderna tecnología desarrollada que promueve el mejoramiento de las propiedades de la mezcla de concreto hidráulico con aditivos. **El empleo de estos productos puede hacer que el pavimento se ponga en servicio en pocas horas, sin embargo el uso de estas tecnologías, en el caso que se analiza, no queda contemplado dentro del presupuesto de rehabilitación,** puesto que su aplicación eleva significativamente el costo de la obra.

#### **III.4.2.2.4.- RUIDO.**

Este efecto incide en la comodidad del usuario cuando circula sobre el pavimento. Los ruidos pueden ser en el exterior e interior del vehículo.

En general los niveles de ruido causan incomodidad y molestia al usuario, lo cual depende del tipo de carpeta con respecto a la generación de ruido y los niveles del coeficiente de deslizamiento entre llanta y pavimento. En este tema se han realizado diversos estudios en Dinamarca y Holanda sobre el ruido del vehículo cuando circula en el pavimento, verificandose que dicho efecto es menos perceptible en mezclas asfálticas porosas; por lo cual actualmente con el diseño de estas mezclas pueden atenuarse los ruidos generados por el tránsito. Dicho estudio comprobó que el ruido es más intenso en superficies asfálticas desgastadas y en base de un sistema de rodamiento, constituido de dos capas con agregados, pequeños superficialmente (5 a 8 mm) y agregados gruesos en la base (16 a 22 mm), y para velocidades de 50Km/hr, 70Km/hr y 110Km/hr, demuestra que su implementación mejora relación costo – beneficio.

Actualmente es común que en los pavimentos flexibles el efecto del ruido se controle mejorando las condiciones de macrotextura de los agregados en la mezcla. **La macrotextura de un carpeta asfáltica, cuando la mezcla es porosa, llega a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en del contacto rueda /pavimento sino el debido al motor, por absorción acústica. REF\*33. Estos ruidos en pavimentos rígidos son de menor intensidad, lo cual se ve favorecido por el patrón de textura que se asigna a la superficie de rodamiento y porque el campo de nivel sonoro para el ruido es menor que en pavimentos de concreto asfáltico y adoquines. REF\*32**

#### **III.4.2.2.5.- LUMINOSIDAD**

En carpetas de concreto asfáltico la característica de macrotextura mejora la visibilidad y propiedades ópticas del rodamiento al reducir las proyecciones de agua cuando está lloviendo, pues evita una reflexión difusa que no permita la mejor visibilidad de las marcas viales. **REF\*33.**

**Respecto al pavimento rígido, debido al color propio de la mezcla de concreto hidráulico, color gris claro, refleja mejor la luz generando mayor seguridad para los usuarios al proporcionar mayor visibilidad en la noche.** En general su aplicación puede manifestarse en los costos de iluminación, los cuales pueden reducir hasta un 20% en lámparas en la vía con sus respectivos consumos de energía. **REF\*7**

#### **III.4.2.3.- ECONOMÍA.**

**En estos términos vale la pena mencionar que el costo de cualquiera de las alternativas no debe limitarse al costo inicial de construcción, sino que incluye al del mantenimiento correspondiente.**

**En el presente trabajo se realiza una evaluación económica de cada alternativa, de tal manera que se analizan ambos costos (inversión inicial y mantenimiento) con el paso del tiempo y estimando un posible comportamiento de la estructura en base a la experiencia y el conocimiento de los materiales empleados por cada método.**

#### **III.4.2.3.1.- ANÁLISIS ECONOMICO COMPARATIVO**

Como ya se mencionó anteriormente **la rehabilitación de la Autopista Chamapa - La Venta se implementa como medida de mantenimiento mayor a los 12 años de construida la estructura**, ya que en ese lapso sólo había recibido mantenimiento rutinario con bacheos y renivelaciones. Además, **cabe recalcar que este trabajo de tesis se basa en el estudio de evaluación de la estructura del pavimento, de cuyo análisis se proponen tres alternativas de rehabilitación (Ver capítulo III.3):**

**Pavimento flexible 1**

**Pavimento flexible 2 con mejoramiento de las capas terreas.**

**Pavimento rígido tipo whitetopping**

**En la evaluación económica que a continuación se desarrolla, se considera un periodo de 30 años, se calculan los volúmenes de materiales de construcción y el costo inicial y final a valor presente.**

### III.4.2.3.2.- COSTO DE CONSTRUCCIÓN

En la evaluación económica se calcularon los volúmenes requeridos para la construcción de las estructuras de pavimentos, como se presenta a continuación y posteriormente se obtuvieron los costos para cada alternativa considerada. Los importes se presentan expresados en el catálogo de conceptos, cantidades de obra y precios unitarios respectivos.

**En general la alternativa con capa de rodamiento de concreto hidráulico es una buena solución de rehabilitación, sin embargo en su empleo en esta autopista se considera una medida de reconstrucción completa del tramo estudiado, lo cual habrá de reflejarse en términos económicos en forma importante.**

#### EVALUACIÓN ECONÓMICA. REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE L CUERPO DERECHO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.

#### VOLÚMENES DE OBRA PARA LA ALTERNATIVA 1

##### ESPEJOR DE SOBRECARPETA

TRAMO		LONGITUD	ESPEJOR DE SOBRECARPETA REQUERIDO (cm)	ESPEJOR DE PROPUESTO (cm)
DE	A	(m)		
27+200	28+000	800	5,0	12,0
28+000	28+900	900	0,0	12,0
28+900	31+100	2200	12,0	12,0
31+100	33+000	1900	5,0	12,0
33+000	34+100	1100	12,0	12,0
34+100	36+000	1900	0,0	12,0
36+000	37+600	1600	7,0	12,0

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
■ Corte en frío en 10 cm, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	7.280,0
■ Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta y Open Graded a razon de 1,2 lts/m <sup>2</sup> , P.U.O.T.	lt	205.920,0
■ Carpeta de concreto asfáltico elaborada en planta, en caliente con cemento asfáltico AC-20 tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del PVM Marshall, con espesor de 12 cm, P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	9.672,0
■ Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (OPEN GRADED) de 3cm de espesor compacto elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.OT.	m <sup>3</sup>	2.652,0
■ Riego de sello en acotamientos y zonas de parada, con petreos de granulometría tipo 3E, P.U.O.T	m <sup>2</sup>	26.000,0

**REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DEL  
CUERPO DERECHO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

**COSTO TOTAL DE LOS TRABAJOS DE LA ALTERNATIVA 1**

INCISO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (P.U.O.T.)	IMPORTE
	<b>PAVIMENTOS</b>				
	Corte en frío en 10 cm, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m3	7.280,0	\$159,40	\$1.160.432,00
	Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta y Open Graded a razón de 1,2 lts/m2, P.U.O.T.	lt	205.920,00	\$4,72	\$972.969,30
	Carpeta de concreto asfáltico elaborada en planta, en caliente con cemento asfáltico AC-20 tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del PVM Marshall, con espesor de 12 cm, P.U.O.T.	m3	9.672,00	\$964,50	\$9.328.644,00
	Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (OPEN GRADED) de 3cm de espesor compacto elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.O.T.	m3	2.652,0	\$1.150,01	\$3.049.827,12
	Riego de sello en acotamientos y zonas de parada, con petreos de granulometría tipo 3E, P.U.O.T	m2	26.000,00	\$15,00	\$390.000,00

**IMPORTE TOTAL \$ 14.901.872,41**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA.**  
**REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE L CUERPO**  
**DERECHO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

**VOLÚMENES DE OBRA PARA LA ALTERNATIVA 2**

**ESPESOR DE SOBRECARPETA**

TRAMO		LONGITUD	ESPESOR DE SOBRECARPETA (cm)
DE	A	(m)	
27+200	28+000	800	5,0
28+000	28+900	900	5,0
28+900	31+100	2200	10,0
31+100	33+000	1900	5,0
33+000	34+100	1100	12,0
34+100	36+000	1900	5,0
36+000	37+600	1600	5,0

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Corte en frío en 10 cm, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m3	10.920,0
Recuperación de base y sub-base hidráulica en 30cm de esp. para formar una base estabilizada con cemento Portland y compactada al 100% de su PVSM ASSHTO Modificada, P.U.O.T.	m3	32.760,0
Suministro de cemento Pórtland en 4% de su peso para formar una base estabilizada, incluye: suministro, acarreo, almacenamiento y aplicación, P.U.O.T	kg	3.144.960,0
Riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento medio a razon de 0,6lts/m2 para adherir de la base tratada con cemento Portland, P.U.O.T.	lt	65.520,0
Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta y Open Graded a razon de 1,2 lts/m2, P.U.O.T.	lt	262.080,0
Carpeta Asfáltica con espesor de 12cm de acuerdo al proyecto elaborada en planta estacionaria con cemento asfáltico AC-20 modificado con polimero de tipo I N.CMT.4.05.002/01, tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del peso volumetrico maximo Marshall , incluye elaboracion, acarreo, almacenamiento y aplicación, P.U.O.T	m3	13.104,0
Suministro de cemento asfáltico AC-20 empleado en la elaboración de carpeta de 12 cm de espesor, incluye: suministro, acarreo, almacenamiento, calentamiento y aplicación, P.U.O.T.	kg	1.729.728,0
Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (OPEN GRADED) elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.O.T.	m3	3.276,0
Riego de sello en acotamientos y zonas de parada, con petreos de granulometría tipo 3E, P.U.O.T	m2	26.000,0

**REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DEL CUERPO  
DERECHO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

**COSTO TOTAL DE LOS TRABAJOS DE LA ALTERNATIVA 2**

<b>COSTO TOTAL DE LOS TRABAJOS.</b>					
<b>INCISO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (P.U.O.T.)</b>	<b>IMPORTE</b>
	<b>PAVIMENTOS</b>				
	Corte en frío en 10 cm, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m3	10.920,0	\$159,40	\$1.740.648,00
	Recuperación de base y sub-base hidráulica en 30cm de esp. para formar una base estabilizada con cemento Portland y compactada al 100% de su PVSM ASSHTO Modificada, P.U.O.T.	m3	32.760,0	\$115,35	\$3.778.866,00
	Suministro de cemento Pórtland en 4% de su peso para formar una base estabilizada, incluye: suministro, acarreo, almacenamiento y aplicación, P.U.O.T	kg	3.144.960,0	\$2,02	\$6.352.819,20
	Riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento medio a razon de 0,6lts/m2 para adherir de la base tratada con cemento Portland, P.U.O.T.	lt	65.520,0	\$4,02	\$263.143,97
	Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta y Open Graded a razon de 1,2 lts/m2, P.U.O.T.	lt	262.080,0	\$4,72	\$1.238.324,56
	Carpeta Asfáltica con espesor de 12cm de acuerdo al proyecto elaborada en planta estacionaria con cemento asfáltico AC-20 modificado con polimero de tipo I N.CMT.4.05.002/01, tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del peso volumetrico maximo Marshall, incluye elaboracion, acarreo, almacenamiento y aplicación, P.U.O.T	m3	13.104,0	\$892,16	\$11.690.897,40
	Suministro de cemento asfáltico AC-20 empleado en la elaboración de carpeta de 12 cm de espesor, incluye: suministro, acarreo, almacenamiento, calentamiento y aplicación, P.U.O.T.	kg	1.729.728,0	\$2,15	\$3.718.915,20
	Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (OPEN GRADED) elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.O.T.	m3	3.276,0	\$1.150,01	\$3.767.433,50
	Riego de sello en acotamientos y zonas de parada, con petreos de granulometría tipo 3E, P.U.O.T	m2	26.000,0	\$15,00	\$390.000,00

**IMPORTE TOTAL \$ 32.941.047,82**





### III.4.2.3.3.- COSTO DE CONSERVACIÓN

Conforme se alcanza la vida útil de un pavimento se presentan diversos deterioros, causados principalmente por la acción del tránsito, el clima y muy frecuentemente por la calidad de materiales con los que se construyó.

Los trabajos de conservación se aplican para reparar los deterioros del pavimento y con ello mantener en buen estado tanto la superficie de rodamiento con la capacidad estructural para la que fué diseñado, minimizando los sobrecostos de operación en los que incurriría el transporte al transitar por carreteras en mal estado. **En este caso la rehabilitación del pavimento es considerada una medida de conservación periódica, cuyo objetivo es proteger la estructura del pavimento y mejorar la superficie de rodamiento.**

**En el caso del pavimento flexible se proponen actividades de conservación como es el caso del riego de sello, sobrecarpetas, renivelaciones aisladas, recuperación del pavimento y tratamientos superficiales.**

En el caso de las alternativas de concreto flexible, en cuanto a mantenimiento se refiere, se pueden diferenciar por la intensidad de tratamientos que se les aplican. **Estos tratamientos se aplican de acuerdo a la experiencia en mantenimiento que la concesionaria tiene y en base a los estudios de evaluación que verifican el estado actual del pavimento. En general se atiende la vida de servicio del pavimento y las condiciones de tránsito proyectado y el clima de la región.**

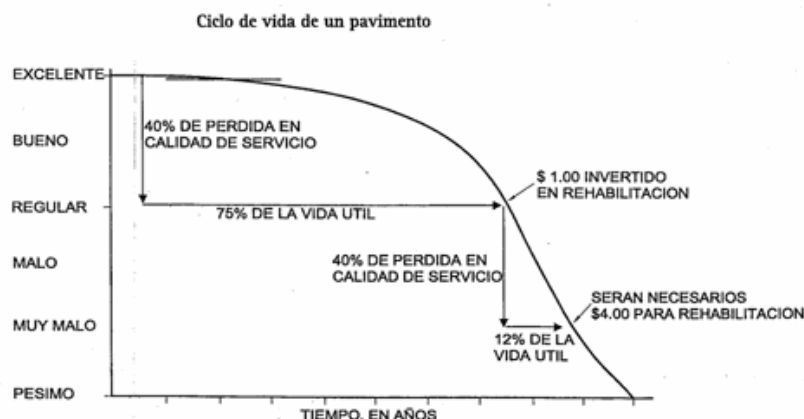


Fig. 66. Ciclo de vida de un pavimento.

En general los trabajos que se aplicarán al pavimento flexible y los costos por su implementación son los siguientes:

## **COSTO DE LOS TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

### TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. PAVIMENTO FLEXIBLE.

Longitud 10400 m  
Corona 9,50 m

#### 1.- Bacheo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
				<b>1% anual</b>
Carpeta asfáltica.*	m3	197,60	1401,70	276.976,18
Cemento A.C.20.	kg			
Aditivo.	lt			
Excavación.	m3			
Recompactación de superficie.	m3			
Relleno con material de base hca.	m3			
Riego de impregnación.	lt			

\* El costo de la carpeta incluye los de todos los demás conceptos.

Subtotal \$ **276.976,18**

#### 2.- Carpeta de renivelación.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
				<b>0,04 m.</b>
Carpeta asfáltica.*	m3	3.952,00	1.401,70	5.539.523,65
Rallado de superficie.	m2	98.800,00	23,82	2.353.416,00
Barrido de superficie.	ha			
Cemento A.C.20.	kg			
Aditivo.	lt			
Riego liga.	lt			

\* El costo de carpeta incluye los de todos los demás conceptos.

Subtotal \$ **7.892.939,65**

#### 3.- Sobrecarpeta.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
				<b>0,10 m</b>
Carpeta asfáltica	m3	9.880,00	1.401,70	13.848.809,12
Rallado de superficie	m2	98.800,00	23,82	2.353.416,00
Barrido de superficie	ha			
Cemento A.C.20	kg			
Aditivo	lt			
Riego liga	lt			

Subtotal \$ **16.202.225,12**

#### 4.- Reconstrucción

**(Escarificado de 0.10 m de espesor y carpeta de 0.17 cm de espesor)**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
Escarificado de carpeta	m3	9.880,00	95,00	938.600,00
Base asfáltica	m3	0,00	740,00	0,00
Carpeta de concreto asfáltico	m3	17.246,84	1.401,70	24.174.918,53
Capa de rodadura de 3 cm de espesor	m3	2.964,00	1.401,70	4.154.642,74

Subtotal \$ **29.268.161,27**

En lo correspondiente al pavimento cuya capa es de concreto hidráulico se proponen las siguientes actividades:

## **COSTO DE LOS TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

### TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. PAVIMENTO RÍGIDO

Longitud	10400	m
Corona	9.50	m
Juntas Transversales a	4.50	m
Juntas Longitudinales	3	
Losas en carriles de circulación.	4622	
Espesor de losa	0.29	m

<b>1.- Reposición de sellos. a los 7, 14, 21 y 28 años</b>	<b>50%</b>			
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
Limpieza y sellado.*	m	26,577.78	3.95	104,982.22
Sello.	lt	2.07	43.06	89.26
Tirilla de respaldo.	m	26,577.78	0.70	18,604.44
			Subtotal \$	<b>123,675.92</b>
<b>2.- Reposición de losas.</b>		<b>3.0000%</b>		
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
Demolición y limpieza.	m2	2,808.00	46.53	130,656.24
Colado de losa.	m3	814.32	1,000.00	814,320.00
			Subtotal \$	<b>944,976.24</b>
<b>3.- Fresado de losas en carriles de circulación. a los 14 y 28 años</b>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
Fresado con maquinaria.	m2	72,800.00	1.50	109,200.00
			Subtotal \$	<b>109,200.00</b>
<b>4.- Reparación de grietas y desportillamientos.</b>		<b>1%</b>	<b>de la longitud de juntas.</b>	
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
Aserrado y limpieza.	m	265.78	650.00	172,755.56
Sellado.	lt	0.02073067	110.00	2.28
			Subtotal \$	<b>172,757.84</b>

Tanto para la alternativa de concreto hidráulico, como para la de concreto asfáltico, cada intervención de conservación implica un costo, que depende de la magnitud de la acción implementada. **Para el cálculo de los costos de conservación mayor durante un periodo de servicio de 30 años en cada alternativa se sugiere aplicar los siguientes** procedimientos de manera periódica.

## ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSERVACIÓN PARA UN PERIODO DE 20 AÑOS

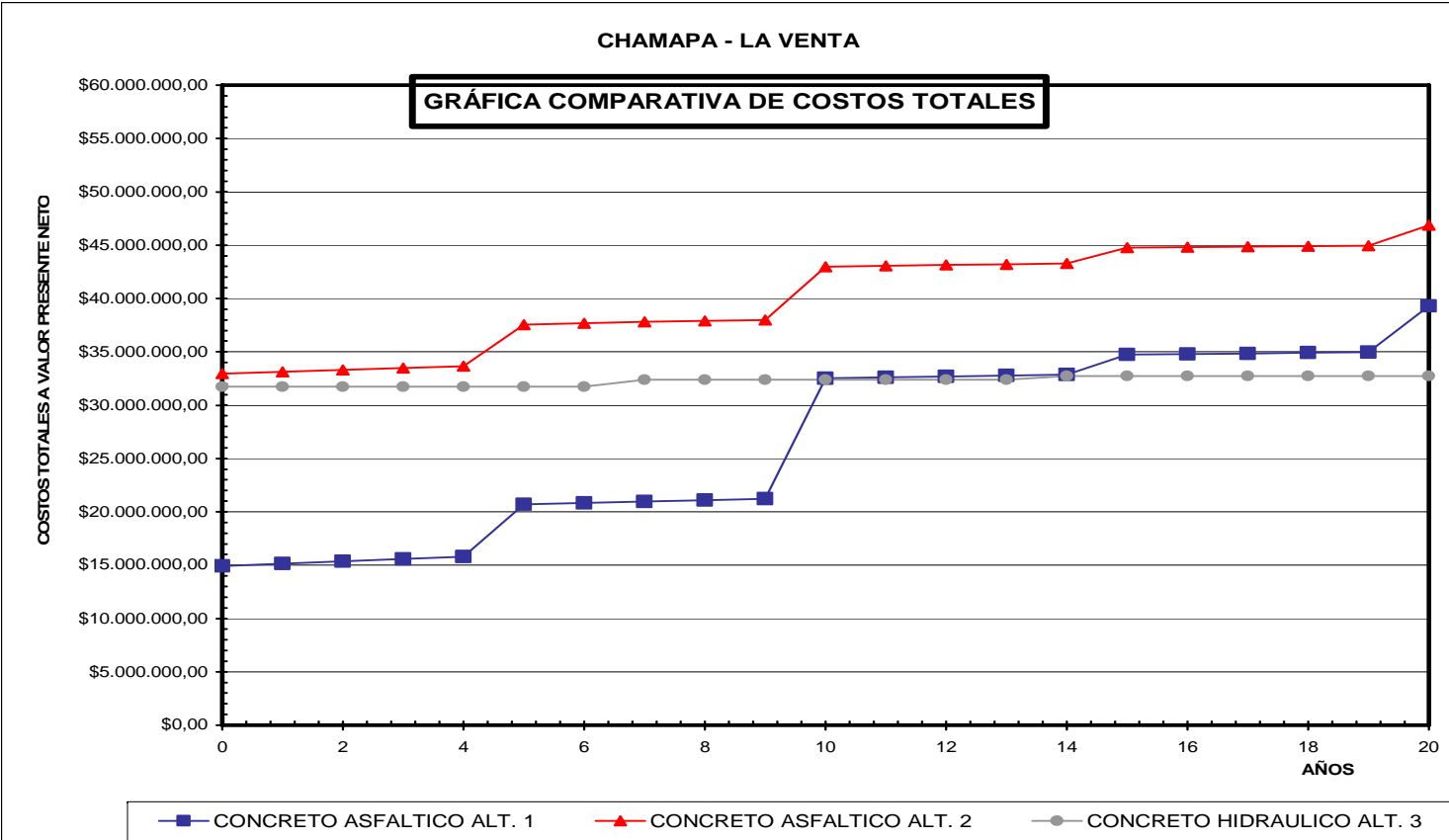
AÑO	CONCEPTO	CONCRETO ASFALTICO ALT. 1		CONCRETO ASFALTICO ALT. 2		CONCRETO HIDRAULICO ALT. 3	
		Precio Actual	Valor Presente	Precio Actual	Valor Presente	Precio Actual	Valor Presente
1	Bacheo.	\$276.976,18	\$251.796,53	\$221.580,95	\$201.437,22		
2	Bacheo.	\$276.976,18	\$228.905,94	\$221.580,95	\$183.124,75		
3	Bacheo.	\$276.976,18	\$208.096,31	\$221.580,95	\$166.477,04		
4	Bacheo.	\$276.976,18	\$189.178,46	\$221.580,95	\$151.342,77		
5	Bacheo.						
5	Carpeta de renivelación.	\$7.892.939,65	\$4.900.894,53	\$6.314.351,72	\$3.920.715,62		
6	Bacheo.	\$276.976,18	\$156.345,83	\$221.580,95	\$125.076,67		
7	Bacheo.	\$276.976,18	\$142.132,58	\$221.580,95	\$113.706,06		
7	Reposición de sellos.					\$123.675,92	\$63.465,30
7	Reposición de losas.					\$944.976,24	\$484.922,23
7	Reparación de grietas y desportillamientos.					\$172.757,84	\$88.652,09
8	Bacheo.	\$276.976,18	\$129.211,43	\$221.580,95	\$103.369,15		
9	Bacheo.	\$276.976,18	\$117.464,94	\$221.580,95	\$93.971,95		
10	Bacheo.						
10	Reconstrucción	\$29.268.161,27	\$11.284.143,17				
10	Sobrecarpeta.			\$12.961.780,10	\$4.997.327,34		
11	Bacheo.	\$276.976,18	\$97.078,46	\$221.580,95	\$77.662,77		
12	Bacheo.	\$276.976,18	\$88.253,15	\$221.580,95	\$70.602,52		
13	Bacheo.	\$276.976,18	\$80.230,13	\$221.580,95	\$64.184,11		
14	Bacheo.	\$276.976,18	\$72.936,49	\$221.580,95	\$58.349,19		
14	Reposición de sellos.					\$123.675,92	\$32.567,74
14	Reposición de losas.					\$944.976,24	\$248.841,78
14	Reparación de grietas y desportillamientos.					\$172.757,84	\$45.492,54
14	Fresado de losas en carriles de circulación.					\$109.200,00	\$28.755,77
15	Bacheo.	\$276.976,18		\$221.580,95			
15	Carpeta de renivelación.	\$7.892.939,65	\$1.889.507,00	\$6.314.351,72	\$1.511.605,60		
16	Bacheo.	\$276.976,18	\$60.278,09	\$221.580,95	\$48.222,47		
17	Bacheo.	\$276.976,18	\$54.798,26	\$221.580,95	\$43.838,61		
18	Bacheo.	\$276.976,18	\$49.816,60	\$221.580,95	\$39.853,28		
19	Bacheo.	\$276.976,18	\$45.287,82	\$221.580,95	\$36.230,26		
20	Bacheo.						
20	Reconstrucción	\$29.268.161,27	\$4.350.525,68				
20	Sobrecarpeta.			\$12.961.780,10	\$1.926.686,02		
	Costo de Conservación	\$79.030.796,93	\$24.396.881,39	\$42.319.139,71	\$13.933.783,38	\$2.592.020,00	\$992.697,44
	Costo de Construcción		\$14.901.872,41		\$32.941.047,82		\$31.744.435,70
	<b>Costo Total (por kilómetro)</b>		<b>\$39.298.753,80</b>		<b>\$46.874.831,21</b>		<b>\$32.737.133,14</b>
	<b>Rescate</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>
	Valor de rescate		\$2.215.068,38		\$4.896.476,86		\$4.718.608,09
	<b>Costo final</b>		<b>\$37.083.685,42</b>		<b>\$41.978.354,35</b>		<b>\$28.018.525,05</b>

Para entender mejor la diferenciar el costo de las tres alternativas, se graficaran sus costos respectivos de acuerdo con la siguiente tabla:

### DATOS DE LA GRÁFICA DE COSTO DE REHABILITACIÓN

Alternativa	CONCRETO HIDRAULICO ALT. 3	CONCRETO ASFALTICO ALT. 1	CONCRETO ASFALTICO ALT. 2
Año			
0	\$31.744.435,70	\$14.901.872,41	\$ 32.941.047,82
1	\$31.744.435,70	\$15.153.668,94	\$33.142.485,05
2	\$31.744.435,70	\$15.382.574,88	\$33.325.609,80
3	\$31.744.435,70	\$15.590.671,18	\$33.492.086,84
4	\$31.744.435,70	\$15.779.849,64	\$33.643.429,61
5	\$31.744.435,70	\$20.680.744,17	\$37.564.145,23
6	\$31.744.435,70	\$20.837.090,00	\$37.689.221,90
7	\$32.381.475,32	\$20.979.222,58	\$37.802.927,96
8	\$32.381.475,32	\$21.108.434,01	\$37.906.297,11
9	\$32.381.475,32	\$21.225.898,95	\$38.000.269,06
10	\$32.381.475,32	\$32.510.042,12	\$42.997.596,39
11	\$32.381.475,32	\$32.607.120,59	\$43.075.259,16
12	\$32.381.475,32	\$32.695.373,73	\$43.145.861,68
13	\$32.381.475,32	\$32.775.603,87	\$43.210.045,79
14	\$32.737.133,14	\$32.848.540,35	\$43.268.394,98
15	\$32.737.133,14	\$34.738.047,35	\$44.780.000,57
16	\$32.737.133,14	\$34.798.325,44	\$44.828.223,04
17	\$32.737.133,14	\$34.853.123,70	\$44.872.061,65
18	\$32.737.133,14	\$34.902.940,30	\$44.911.914,93
19	\$32.737.133,14	\$34.948.228,12	\$44.948.145,19
20	\$32.737.133,14	\$39.298.753,80	\$46.874.831,21

En esta gráfica se representan los costos totales de implementar las alternativas de pavimento e incluyen los costos derivados del mantenimiento de las mismas durante el periodo de 30 años.



III.5.-  
Elección de pavimento  
para el caso de la  
autopista

### III.5.1.- INTRODUCCIÓN

Del análisis comparativo anterior pueden resumirse las siguientes conclusiones para poder elegir la aplicación del tipo de pavimento que mejor cumpla con los requerimientos de rehabilitación:

#### III.5.1.1.- ECONOMÍA.

La primera opción requiere una menor inversión inicial, pero conforme el pavimento esta en servicio, requerirá de otras aplicaciones en forma de renivelaciones y tratamientos superficiales de mantenimiento, que incrementaran el costo total por adoptar esta medida de rehabilitación. En general el costo del mantenimiento de esta alternativa respecto a su costo inicial es del orden de una vez y media, dada la vida útil del concreto asfáltico y el no atender las capas inferiores del pavimento.

**Respecto a la comparación de la primera alternativa de pavimento con respecto a las otras dos alternativas a valor presente se observa que su costo de mantenimiento es 1.75 veces más que la segunda alternativa y casi 20 veces la inversión de conservación requerida para la opción del whitetopping.**

**La alternativa que propone el mejoramiento de las capas terreas representa un elevado costo de inversión para su construcción, pero su mantenimiento se limita a tratamientos superficiales que servirán para alargar la vida útil de la capa de rodamiento y mejorar las condiciones de funcionalidad de la capa de rodamiento.** Su costo de mantenimiento respecto a su costo de construcción es del orden del 50%. **En general el costo de la segunda alternativa la ubica como una medida de reconstrucción de la autopista, fuera del presupuesto destinado a la rehabilitación; siempre se consideró poco viable esta alternativa, aun cuando se propuso el criterio de mejorar las capas terreas sólo en aquellas zonas que se consideren críticas. Tampoco se optó por esta solución debido a que el tiempo y los procedimientos requeridos reducen las expectativas de calidad de los trabajos al laborar en condiciones lluviosas.**

*La tercer alternativa (la aplicación del whitetopping) también amerita una inversión inicial mayor a la correspondiente a la segunda alternativa, lo cual la hace no viable.* Este criterio se determino por no disponer inmediatamente del dinero para rehabilitar la autopista con este procedimiento, a *pesar de que a largo plazo el análisis de costos la favorece porque el concreto hidráulico requiere menor intervención de mantenimiento.* *Así pues, debido a su alto costo de construcción, ésta alternativa no se construirá.*



### **III.5.1.2.- SEGURIDAD.**

**Todas las alternativas son una solución segura en la medida que resistan las cargas intensas de tránsito y las acciones del clima de la región. En general los efectos de estas solicitaciones se manifiestan disminuyendo la durabilidad del pavimento y se ven como deterioros superficiales o en las capas inferiores a la de rodamiento.**

En este sentido, **en las alternativas de pavimento flexible, la resistencia de los materiales con los cuales se construye el pavimento implica un deterioro rápido en forma de baches y deformaciones permanentes, que disminuyen la seguridad de circulación en tanto no sean atendidos** adecuadamente con el mantenimiento que les corresponde.

**En general la segunda alternativa es un procedimiento que optimiza las propiedades de las capas terreas del pavimento, pero se considera este mejoramiento debe sólo realizarse parcialmente y en aquellas zonas donde el estudio de evaluación demuestre las condiciones más críticas para dichas capas (en los subtramos 28+900-31+100; 33+000-34+100; 36+000-38+000).**

*La alternativa de whitetopping en general es más durable y presenta un nivel de servicio menos fluctuante y más seguro debido a la resistencia propia del concreto hidráulico.*

### **III.5.1.3.- FUNCIONALIDAD.**

En el caso de **la primera alternativa, su funcionalidad se ve afectada por el envejecimiento rápido del asfalto y las constantes intervenciones por mantenimiento, por lo cual esta alternativa de rehabilitación tiene un carácter de tratamiento superficial** y en tanto no atienda el mejoramiento de las capas inferiores deberá ser aplicado periódicamente en función de la vida útil del concreto asfáltico en servicio.

A diferencia con **la segunda alternativa, esta se vera menos afectada en su funcionalidad, pues se reducirán las deformaciones permanentes de capas inferiores, que se reflejan necesariamente en la capa de rodamiento.** En general, por emplear la estabilización de las capas terreas, el mantenimiento de la capa de rodamiento será menos intenso y sólo debido al envejecimiento del concreto asfáltico que constituye esta capa. Así pues, con respecto a las **condiciones de carga tan intensas de la autopista, se favorece funcionalmente la utilización de la segunda alternativa de pavimentación, ya que promueve la recuperación de la base para homogenizar las condiciones del tramo y**

**minimizar las deflexiones a nivel de base y sus manifestaciones en la capa de rodamiento.**

**En el caso de una carretera existente, dentro de la funcionalidad del pavimento se encuentra la afectación a la comodidad de viaje de los usuarios actuales, por lo cual el procedimiento empleado en la rehabilitación debe garantizar una rápida puesta en marcha del pavimento restaurado o nuevo.** Es así que el periodo de rehabilitación es un parámetro es de gran importancia, pues afecta directamente la comodidad, seguridad y tiempo de recorrido de todo usuario de la autopista. **En general el tiempo de pavimentación favorece la aplicación de las sobrecapas de concreto asfáltico,** pues es la de más fácil aplicación, seguida por la alternativa de concreto hidráulico y al final la que mejora las capas terreas. La relación de tiempos de pavimentación es de 1:1.8:1.36 (alternativa 1: alternativa 2: alternativa 3)

**En general y aunque el periodo de rehabilitación pueda modificarse de acuerdo a los recursos humanos y técnicos que se empleen por cada método de rehabilitación, se considera que las segunda y tercer alternativa son ya de por si elevadas económicamente hablando, como para acelerar su aplicación con estas mediadas.**

**Otro parámetro que queda dentro del criterio de funcionalidad, es la susceptibilidad al deterioro, donde el pavimento flexible presenta una desventaja comparándolo con el pavimento rígido, debido al rápido envejecimiento del concreto asfáltico ante las mismas acciones de carga y clima.** Así pues el pavimento flexible presenta mayor deterioro al poseer un ciclo de vida menor. Con estas observaciones el pavimento rígido se ve favorecido en su aplicación, seguido de la posible aplicación de la alternativa de pavimento flexible con mejoramiento en las capas terreas; ambas alternativas ofrecen una menor susceptibilidad a la deformación a nivel de base y sub-base.

**Respecto a las condiciones de drenaje de la capa de rodamiento, estas quedan supeditadas a la textura del material tendido. En este aspecto se considero que el material que ofrece mejores condiciones de desalajo del agua es el concreto hidráulico, a pesar de que su proceso de texturizado es más elaborado.**

En el caso de las alternativas analizadas, las que corresponden a pavimento flexible se ven favorecidas por la existencia de una carpeta delgada de 3cm de espesor que favorece el drenaje superficial y minimiza las condiciones de acuaplanéo.

El efecto del ruido es otro parámetro que en el caso de la tercera opción es menor, lo cual se ve favorecido por el patrón de textura que se asigna a la superficie de rodadura y porque el campo de nivel sonoro para el ruido es menor que en pavimentos de concreto asfáltico y adoquines. **REF\*32**

Respecto a la luminosidad del pavimento, la tercera opción se ve favorecida debido al color propio de la mezcla de concreto hidráulico, color gris claro, refleja mejor la luz generando mayor seguridad para los usuarios al proporcionar mayor visibilidad en la noche. REF\*7

**En general y tras el análisis comparativo de las alternativas de pavimento se verifica que la disponibilidad de recursos económicos limita tanto la segunda como la tercera alternativas de rehabilitación (Ver capítulo III.3), por lo cual, siendo el criterio de economía el de mayor relevancia y considerando que el periodo de lluvias complicaría más la aplicación de los procesos de rehabilitación, se decide aplicar la primera alternativa de pavimento, que consiste en la construcción de una carpeta de asfáltico cubierta posteriormente por una capa más delgada del mismo material pero con características que permiten definir una mejor textura, drenaje y regularidad superficial de la capa de rodadura.**

### **III.5.2.- ELECCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO O FLEXIBLE EN LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA.**

Tras realizar un análisis de los datos del proyecto y del procedimiento constructivo, empleando los mismos valores de calidad de las diferentes capas del pavimento, así como los mismos valores de ejes acumulados ESALS, se calculó una nueva estructuración del pavimento:

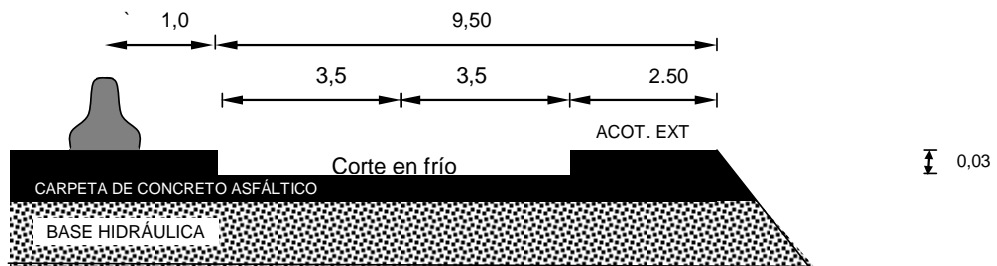
1.- Para los subtramos 1, 2, 4, 6 y 7 propone fresar 3cm de espesor en promedio en la capa de rodadura deteriorada, en ambos carriles de circulación, para luego colocar una carpeta de concreto asfáltico con 7cm de espesor en ambos carriles del cuerpo derecho; en la zona de acotamientos se sugiere renivelar con el espesor suficiente que se requiera y posteriormente construir sobre los carriles de circulación una carpeta asfáltica de alto rendimiento del tipo CASAA, con asfalto modificado y 3cm de espesor.

**Figura 65. Procedimiento constructivo del pavimento mediante la primera alternativa (subtramos 1, 2, 4, 6 y 7)**

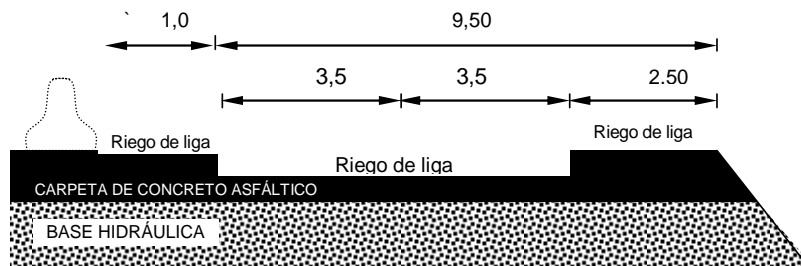
**REHABILITACIÓN CON CONCRETO ASFÁLTICO. MODIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA 1**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO (acotaciones en metros)**

1. Corte en frío, carga y desperdicio de 3 cm de la carpeta actual, formando una caja



2. Riego de liga



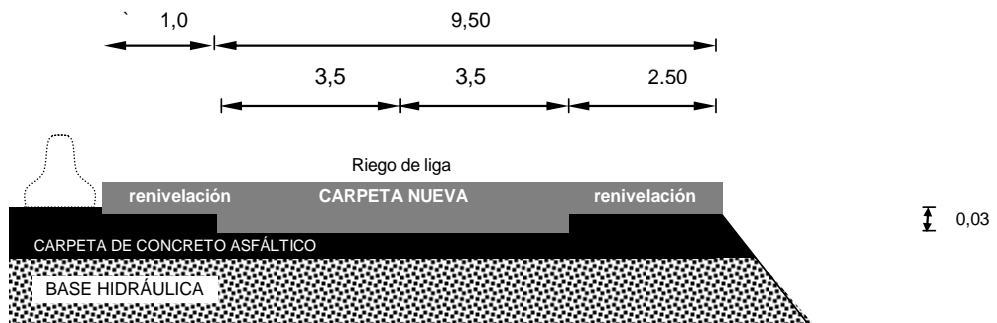
3.- Reposición de carpeta de concreto asfáltico con 7cm de espesor en ambos carriles del cuerpo derecho; en la zona de acotamientos se sugiere renivelar con el espesor aproximado de 4 cm



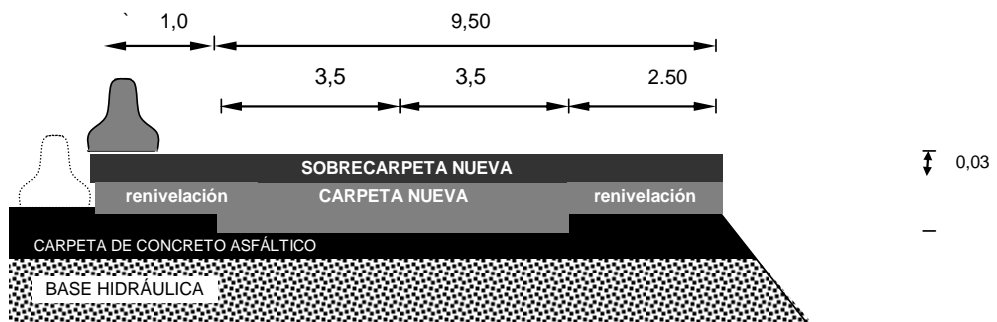
**Figura 65. (Continuación)**



4,- Riego de liga para adherencia de la sobrecarpeta de 3 cm de espesor



5,- Sobrecarpeta de 3 cm de espesor

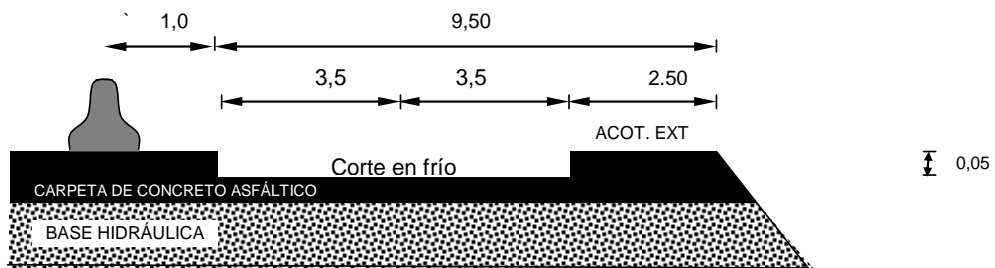


2.- Para los subtramos indicados con los números 3 y 5 se propone fresar 5cm de la capa de rodamiento deteriorada, en ambos carriles de circulación; luego se aplicara una carpeta asfáltica de 12cm con concreto asfáltico; en la zona de acotamiento se construirá una capa de concreto asfáltico con espesor suficiente para renivelar y obtener la sección de construcción. Posteriormente construir una carpeta asfáltica del tipo CASAA sobre los carriles de circulación, con asfalto modificado y un espesor de 3 cm. como el que se indico en el punto 1.

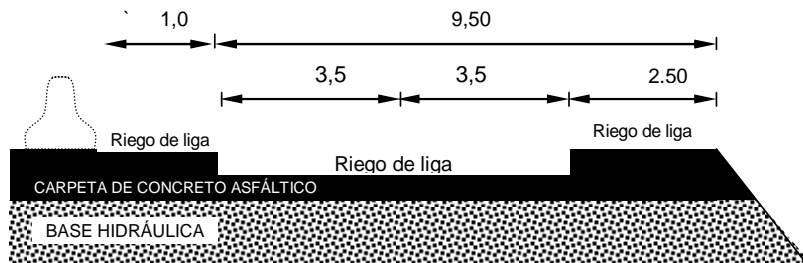
**REHABILITACIÓN CON CONCRETO ASFÁLTICO. MODIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA 1**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO (acotaciones en metros)**

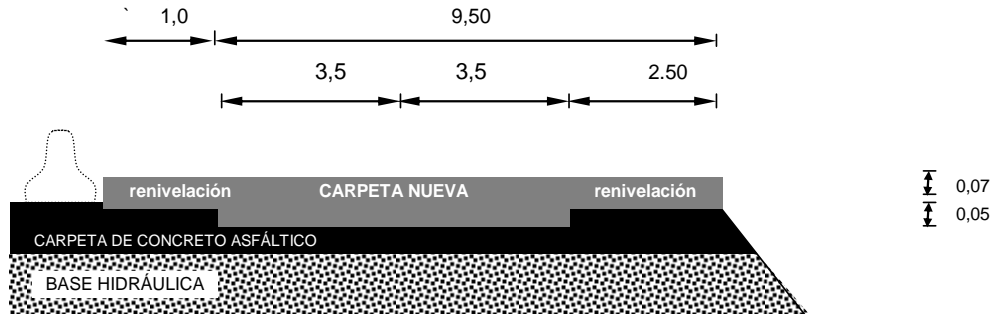
1. Corte en frío, carga y desperdicio de 5 cm de la carpeta actual, formando una caja



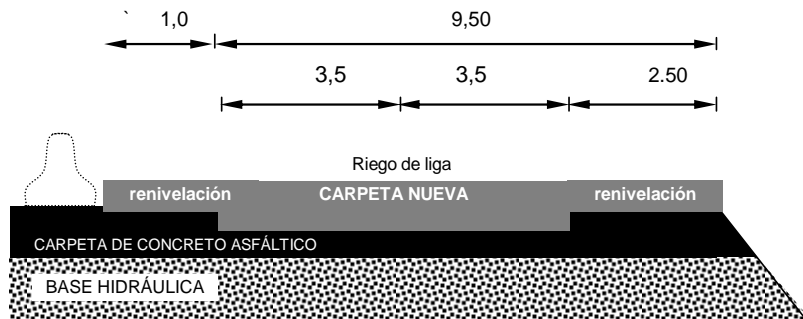
2. Riego de liga



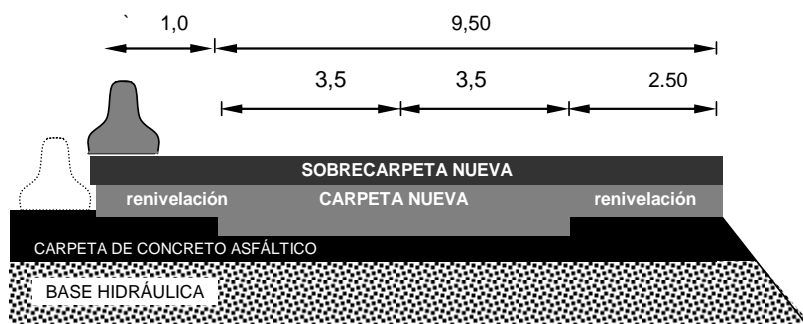
3.- Reposición de carpeta de concreto asfáltico con 12cm de espesor en ambos carriles del cuerpo derecho; en la zona de acotamientos se sugiere renivelar con el espesor aproximado de 7 cm



4.- Riego de liga para adherencia de la sobrecarpeta de 3 cm de espesor



5.- Sobrecarpeta de 3 cm de espesor



Con el procedimiento constructivo indicado anteriormente se considera que el pavimento una vez rehabilitado tendrá un comportamiento adecuado para las condiciones y periodo previsto.

Cálculo del número estructural y espesores de refuerzo propuestos.

Número	Tramo-Homogéneo	Sn req	Snact	SN3-Snfres	SN1*	SV rehaz	SN dif
1	27+200 a 28+000	4,92	4,04	3,7	1,9	5,6	-0,68
2	28+000 a 28+900	4,61	3,98	3,65	1,9	5,55	-0,94
3	28+900 a 31+100	6,07	3,4	2,86	2,82	5,68	0,39
4	31+100 a 33+000	5,07	4,25	3,84	1,9	5,74	-0,67
5	33+000 a 34+100	5,7	3	2,5	2,82	5,32	0,38
6	34+100 a 36+000	4,61	3,97	3,6	1,9	5,5	-0,89
7	36+000 a 37+600	5,02	3,44	3,11	1,9	5,01	0,01

SN3 –Sufres	Número estructural del pavimento después de fresar la carpeta actual en los subtramos 1,2,4,7 y 7 en 3cm y en los subtramos 3 y 5 en 5 cm.
SN1*	Número estructural del refuerzo propuesto para los subtramos 1, 2, 4, 6 y 7, consistente en fresado de 3cm, carpeta asfáltica de 7,0 cm. y 3cm de carpeta de desgaste tipo CASAA.
SN1**	Número estructural del refuerzo propuesto para los subtramos 3 y 5, consistente en fresado de 5cm, carpeta asfáltica de 12cm y 3 cm. de una carpeta de desgaste tipo CASAA
SN rehab	Número estructural después de realizar la rehabilitación propuesta



**VOLUMEN DE MATERIALES PROPIOS DEL PROCEDIMIENTO ELEGIDO  
PARA REHABILITAR EL CUERPO DERECHO DE LA AUTOPISTA  
CHAMAPA – LA VENTA**

REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL. CUERPO DERECHO  
KM INICIAL: 27+200                      KM FINAL: 37+600  
REHABILITACIÓN CON CONCRETO ASFÁLTICO.

**VOLUMENES DE OBRA**

**ESPESOR DE SOBRECARPETA**

TRAMO		LONGITUD
DE	A	(m)
27+200	28+000	800
28+000	28+900	900
28+900	31+100	2200
31+100	33+000	1900
33+000	34+100	1100
34+100	36+000	1900
36+000	37+600	1600

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
■ Corte en frío en 3 y 5cm de profundidad, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	2.646,0
■ Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta a razon de 1,2 lts/m2, P.U.O.T.	lt	131.040,0
■ Carpeta de concreto asfáltico elaborada en planta, en caliente con cemento asfáltico AC-20 tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del PVM Marshall, con espesor de 7 y 12 cm, P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	8.053,5
■ Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta SMA a razon de 0,75 lts/m2, P.U.O.T.	lt	81.900,0
■ Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (SMA) de 3cm de espesor compacto elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	3.276,0
■ Riego de taponamiento con emulsión asfáltica de rompimiento rápido RR-2K incluye polímeros, aplicada a razon de 0,4 lts/m2, P.U.O.T.	lts	54.600,0

**PRESUPUESTO DEL PROCEDIMIENTO ELEGIDO PARA REHABILITAR  
EL CUERPO DERECHO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA**

REHABILITACIÓN CON CONCRETO ASFÁLTICO. COSTO TOTAL DE LOS TRABAJOS.					
INCISO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (P.U.O.T.)	IMPORTE
	<b>PAVIMENTOS</b>				
	Corte en frío en 3 y 5cm de profundidad, extracción y desperdicio de la carpeta asfáltica actual, P.U.O.T.	m3	2.646,0	\$159,40	\$421.772,40
	Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta a razon de 1,2 lts/m2, P.U.O.T.	lt	131.040,00	\$4,72	\$619.162,28
	Carpeta de concreto asfáltico elaborada en planta, en caliente con cemento asfáltico AC-20 tamaño máximo de 19 mm y compactada al 95% del PVM Marshall, con espesor de 7 y 12 cm, P.U.O.T.	m3	8.053,50	\$964,50	\$7.767.600,75
	Emulsión asfáltica de rompimiento medio empleada en riegos de liga de carpeta SMA a razon de 0,75 lts/m2, P.U.O.T.	lt	81.900,0	\$6,75	\$552.825,00
	Carpeta asfáltica delgada de graduación abierta (SMA) de 3cm de espesor compacto elaborada en planta, en caliente, con cemento asfáltico AC-20, P.U.OT.	m3	3.276,0	\$1.468,00	\$4.809.168,00
	Riego de taponamiento con emulsión asfáltica de rompimiento rápido RR-2K incluye polimeros, aplicada a	lts	54.600,00	\$3,30	\$180.180,00

**IMPORTE TOTAL \$ 14.350.708,43**

### **III.5.3.- ESPECIFICACIÓN PARTICULAR**

Sistema de sellado y carpeta delgada superficial altamente adherida

- a. Contenido. Esta especificación particular contiene las características de la calidad que deberá considerarse para la ejecución del sistema de sellado y carpeta asfáltica superficial altamente adherida (CASAA) que sea parte constitutiva de la sección del pavimento.
- b. Definición. El sistema a de sellado y carpeta asfáltica superficial altamente adherida tiene dos objetivos principales :
  - 1.- Proporcionar una superficie de rodamiento de la más alta calidad en términos de confort y seguridad para el usuario.
  - 2.- Servir como tratamiento de conservación preventivo, al garantizar una impermeabilización (sellado) total de la carpeta asfáltica inferior protegiendo de una degradación acelerada la totalidad de la estructura del pavimento.

El concepto CASAA consiste en el uso de una membrana extremadamente homogénea de emulsión de asfalto modificado con polímero, que es el elemento que garantiza la impermeabilización y la alta adherencia, seguida inmediatamente de una carpeta delgada de concreto asfáltico elaborado en caliente de alto nivel de servicio y durabilidad.

El procedimiento de aplicación deberá asegurar la homogeneidad de la membrana asfáltica polimerizada y una inmediata aplicación del concreto asfáltico, con la finalidad de obtener los beneficios anteriormente descritos y maximizar la durabilidad del tratamiento, ya que de esta forma se generaría una alta adherencia (liga) con la capa del pavimento. La capa de concreto asfáltico deberá tener un espesor de 3cm con la composición granulométrica que se indica mas adelante y diseñarse bajo el concepto de “Alta Fricción Interna” o SMA (Stone Mastic Asphalt)

### III.5.4.- REQUISITOS DE CALIDAD.

#### A) AGREGADO GRUESO

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla 4) deberá ser de un banco aprobado por la dependencia y que típicamente se utilice para las superficies de alto desempeño, debiendo cumplir este con las especificaciones que se muestran en la tabla 1.

Los agregados gruesos, tales como la grava triturada de piedra caliza, de basalto, dolomía, andesita, granito, escoria u otros materiales similares, o mezclas de dos o más de estos materiales, se consideraran como potenciales.

Cuando el agregado grueso para estas mezclas pertenezcan a más de una fuente, o a más de un banco, deberán mezclarse proporcionalmente hasta obtener una mezcla homogénea, misma que para su utilización deberá ser aprobada por la dependencia.

<b>Tabla 1. Propiedades del agregado grueso</b>		
<b>Pruebas</b>	<b>Método</b>	<b>Especificación</b>
Perdida por Abrasión "Los Ángeles"	AASHTO T 96-94	35% max
Intemperismo acelerado	AASHTO T 104-94	18% max
Sulfato de Magnesio		12% max
Sulfato de Sodio		
Índice de partículas planas y alargadas , @3:1	AASHTO D4791	25% max
Partículas trituradas, una sola cara	AASHTO D5821	95% min.
Partículas trituradas, dos o mas caras	AASHTO D5821	85% min.
Pérdida por Abrasión "Micro Deval"	AASHTO TP58-99	18% max
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la dependencia.		

## **B) AGREGADO FINO**

El agregado fino (material que pasa la malla no. 49 constituirá parte del “MASTIC ASPHALT” y deberán provenir de un banco aprobado por la dependencia y cumplir con las especificaciones marcadas en la tabla 2.

<b>Tabla 2. Propiedades del agregado fino</b>		
<b>Pruebas</b>	<b>Método</b>	<b>Especificación</b>
Equivalente de arena	AASHTO T 176-86	60% mín.
Azul de Metileno (en material que pasa la malla 200)	AASHTO TP 57-99	10% max
Contenido de Vacíos (en muestra sin compactar)	AASHTO T 304-96	40% mín.
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la dependencia.		

### **Filler (llenante) mineral**

El filler mineral podrá ser utilizado como una opción para alcanzar los requerimientos de granulometría

Cal hidratada, ceniza volante, cemento portland tipo 1, polvo de trituración, finos extraídos del “Baghouse”, pueden ser aceptables como filler.

Ese filler mineral deberá cumplir con las especificaciones que se muestran en la tabla 3.

<b>Tabla 3. Propiedades del Filler Mineral</b>
Graduación típica aceptable
100% para la malla Num. 30
75-100% pasa la malla num. 200
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la dependencia.

No se permitirá el uso de material reciclado como parte constitutiva del concreto asfáltico

#### **D. CEMENTO ASFÁLTICO**

El asfalto modificado con polímero que se utilice en la elaboración del concreto asfáltico, deberá cumplir con las especificaciones Super Pave para un tipo PG70-28 y las mostradas en la tabla 4.

<b>Tabla 4. Especificaciones del Cemento Asfáltico.</b>		
<b>Pruebas</b>	<b>Método</b>	<b>Min./Max</b>
Estabilidad de la Red de Polímero	AASHTO PP-5	---/10%
Separación de polímero	Anillo-Bola	---/2°C
Recuperación Elástica a 10 ° C	ASTM D6084	65%/---
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la dependencia.		

#### **E. MEMBRANA ASFÁLTICA POLIMERIZADA**

La emulsión para garantizar una impermeabilización completa y proporcionar una alta adherencia entre la sección del pavimento y el sistema CASAA, deberá ser de asfalto modificado con polímero, y deberá cumplir con las especificaciones marcadas en la tabla 5.

<b>Tabla 5. Especificaciones de la emulsión de Asfalto modificado con Polímero</b>			
<b>Prueba en la emulsión</b>	<b>Método</b>	<b>Min.</b>	<b>Max</b>
Viscosidad, Sybolt Furol @ 25°C, s	AASHTO T59	20	100
Estabilidad al almacenaje (Asentamiento a 24 hrs.), %	AASHTO T59		1
Retenido en la malla No. 20	AASHTO T59		0,05
Residuo de la destilación (1), %	AASHTO T59	63	
Demulsibilidad, %	AASHTO T59	60	
<b>Pruebas en el residuo de la destilación</b>			
Penetración @25°C	AASHTO T49	60	150
Recuperación Elástica, %	AASHTO T301	60	
(1) AASHTO T59 con modificaciones para incluir una temperatura máxima de 204 °C+/-12 °C la cual será sostenida por un periodo de 15 minutos.			

## **F. DISEÑO DE LA MEZCLA.**

El diseño de la mezcla asfáltica tendrá que satisfacer lo que en el presente apartado se especifica y dentro de los límites listados en la tabla 6 para una mezcla tipo “B”

El espesor de la película deberá ser de 9 micrones como mínimo cuando se calcula utilizando el Contenido de Asfalto Efectivo considerando el área superficial del agregado. Los factores para la determinación del área superficial serán conforme se especifica en el Manual del instituto americano del Asfalto MS-2 “Métodos para el Diseño de Mezclas para Concreto Asfáltico y otros tipos de Mezclas en Caliente”.

La mezcla deberá presentar un drene de 0.10% de acuerdo al método de prueba AASHTO T305. La prueba de drene deberá ser corrida con el contenido óptimo de asfalto mas 0.5% y una temperatura de 3 ° C., por arriba de la máxima de mezclado.

El concreto asfáltico deberá presentar un comportamiento de resistencia a esfuerzos de tensión de tal forma de tener una resistencia mínima de 80% conforme al método de prueba AASHTO T283. Los especímenes para esta prueba deberán ser de 4 pulgadas de diámetro y compactados de acuerdo a ASSHTO TP-4 con 100 giros. Un ciclo de congelamiento deberá ser aplicado antes de realizar la prueba. Las temperaturas de mezcla y compactación deberán ser las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico conforme a la viscosidad rotacional generada.

<b>Tabla 6. Especificaciones de la Mezcla</b>	
Límites Granulométricos (Compactación en peso)	TIPO B
Tamaño Máximo Nominal	95mm (3/8")
Abertura o No. De malla (ASTM)	% que pasa
190 mm (3/4")	
158 mm (5/8")	
127 mm (1/2")	100
95 mm (3/8")	85 a 100
No. 4	28 a 38
No. 8	25 a 32
No. 16	15 a 23
No. 30	10 a 18
No. 50	8 a 13
No. 100	6 a 10
No. 200 (8)	4 a 7
Contenido de Asfalto en peso (Rango de referencia)	4,8 - 5,6 %
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio aprobado por la dependencia	

## **G. CONSTRUCCIÓN**

### **Clima**

No se permitirá aplicación sobre el pavimento cuya superficie se encuentre mojada. La temperatura de la superficie del pavimento, así como la temperatura ambiental no deberán ser menores a 10 grados centígrados en el momento de la aplicación. Una superficie humedecida en el pavimento es aceptable para la aplicación si se encuentra libre de agua estancada y si se esperan condiciones ambientales favorables.

### **Equipo**

La máquina pavimentadora – terminadora será aprobada por la dependencia considerando que:

Deberá tener la capacidad de ser autopropulsada, deberá estar especialmente diseñada y construida para aplicar el sistema CASAA.

La pavimentadora deberá tener depósito – tolva de recepción y banda para evitar segregación, tanque de almacenamiento de emulsión asfáltica, sistema medidor por volumen de la emulsión de asfalto modificado con polímero, barra de espréas con sistema de calentamiento (de longitud variable), y placa vibrocompactadora.

Asimismo, este equipo deberá ser capaz de rociar la membrana de emulsión asfáltica modificada con polímero, aplicando la capa de mezcla en caliente y nivelando la superficie en una misma acción y forma sincronizada.

Este equipo deberá tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente y la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero, a una velocidad controlada de 9 a 28 metros por minuto; con la garantía de que ninguna rueda u otra parte de la máquina pavimentadora o de cualquier otro elemento externo entrara en contacto con la membrana de emulsión antes de que la mezcla en caliente de concreto asfáltico sea aplicada.

La aplicación se realizará desde e centro de la corona, realizando un ajuste vertical por medio de sus extensiones para alcanzar el perfil deseado en el pavimento.

### **Preparación de la superficie.**

La preparación de la superficie será determinada por la dependencia, y se deberá realizar previamente a la aplicación del sistema CASSA. En caso necesario, la superficie deberá ser renivelada y bachada.



## **Aplicación**

La membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero sin diluir deberá ser rociada por la barra del equipo a una temperatura de 50 a 75 grados centígrados, o conforme la recomendación del proveedor el producto asfáltico.

El sistema esparcidor deberá trabajar en forma precisa, con monitoreo continuo de dosificación y proveyendo una aplicación uniforme en todo lo ancho del pavimento.

La dosificación de la membrana asfáltica sin diluir será considerada en el orden de los 0.70 hasta los 1.5 lts/m<sup>2</sup>. Los ajustes de campo en dosificación de la membrana de emulsión modificada con polímero, deberán ser aprobados por la dependencia y se podrá considerar la prueba de permeabilidad como referencia.

El concreto asfáltico de mezcla en caliente deberá ser aplicado a una temperatura entre 140-165 grados centígrados y deberá ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero sobre toda la superficie de aplicación.

## **Compactación (Acomodo)**

Consiste en un mínimo de dos pasadas con un rodillo de tambor metálico liso con un peso mínimo de 10 ton, antes de que la temperatura del material baje a más de 100 grados centígrados, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién colocado.

La compactación deberá desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, mediante la utilización de un compactador que se encuentre en buen estado y en buenas condiciones de operación, el cual deberá estar equipado con un sistema de rocío por agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor del equipo. El equipo de compactación deberá operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un no adecuado perfil.

La capa asfáltica de rodamiento no deberá ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85 grados centígrados.

## **CONTROL DE CALIDAD**

Lotes y sublotes. Un lote estará conformado por 1300 ton. Estos lotes podrán ser a su vez divididos en sublotes siempre y cuando no excedan las 350 ton. Los sublotes podrán ser incorporados a la producción del día siguiente para integrar un nuevo y completo lote, siempre y cuando la infraestructura de la planta permita que la mezcla asfáltica no presente segregación ni pérdida de temperatura.

Las siguientes medidas deberán ser consideradas por el contratista para mantener la uniformidad y control de calidad.

El contratista será responsable de obtener las muestras para el aseguramiento y control de calidad.

Previamente a la producción., la dependencia determinara el método utilizado por el contratista para la obtención del equipo de las muestras representabas; asimismo, el contratista será responsable de la obtención del equipo y de su correspondiente calibración. La dosificación de la membrana de Emulsión deberá ser verificada, dividiendo el volumen aplicado entre el área total aplicada.

Un mínimo de tres muestras por lote deberán ser analizadas para verificar el contenido de asfalto y la granulometría antes de continuar con la producción del siguiente lote. Si el promedio de los resultados obtenidos en estas tres muestras sufren una desviación importante contra lo propuesto en el diseño, excediendo la tolerancia establecidas en la tabla 7, la producción deberá ser detenida. El contratista deberá identificar la causa y documentar en detalle que acción correctiva se tomará.

El diseño de la mezcla ya aprobado por la dependencia sólo podrá ajustarse si en su revisión, los requerimientos de la obra no coinciden con los especificados en el proyecto.

La primera muestra de la mezcla asfáltica tomada después de que la planta de mezcla en caliente inicie sus actividades deberá ser tomada entre la carga tercera y la quinta de producción.

La primera muestra de mezcla asfáltica deberá ser tomada directamente de la planta de mezcla caliente, ya sea desde la banda transportadora o tomada del camión de transporte antes de salir de la planta.

Para verificaciones de campo, los límites generales de diseño mostrados en la tabla 6 podrán ser utilizados cuando el diseño de la mezcla se encuentra dentro de las tolerancias establecidas en la tabla 7.

<b>Tabla 7. Límites de tolerancia para Control de Calidad</b>			
<b>Tamaño Máximo Nominal en función del tipo de mezcla</b>	<b>No. 4 (TIPO A)</b>	<b>95 mm (3/8") (TIPO B)</b>	<b>127 mm (1/2") (TIPO C)</b>
Abertura o Numero de malla (ASTM)	Tolerancia %	Tolerancia %	Tolerancia %
190 mm (3/4")	-	-	-
127 mm (1/2")	-	-	±5
95 mm (3/8")	-	±5	-
No. 4	±5	±4	±4
No. 8	±4	±4	±4
No. 16	±4	-	-
No, 200	±2	±2	±2
Contenido de Asfalto	±0,5	±0,5	±0,5
Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la dependencia.			

### **Aceptación de la mezcla.**

El contratista será responsable del seguimiento y control de calidad, y la dependencia en forma directa o a través de una empresa supervisora realizara la verificación de calidad, por medio de muestreos y ensaye de materiales.

Las pruebas de verificación de calidad de la mezcla serán realizadas en un laboratorio de campo, debiendo completarse en un tiempo razonable. Los procedimientos, tanto de muestreo como los de ensaye deberán ser los mismos utilizados por la empresa Contratista.

Un mínimo de tres muestras por lote deberán ser ensayadas para determinar el contenido de asfalto, la granulometría antes de producir el siguiente lote.

La aceptación de la mezcla para la carpeta, de acuerdo a su contenido de asfalto y a su granulometría para cada lote, podrá ser determinada por la dependencia de acuerdo al método de muestreo que sea indicado por la misma. La dependencia podrá seleccionar aleatoriamente la ubicación de donde se extraerá la muestra en cada sublote de mezcla. Los resultados obtenidos en los sublotes, de cada lote deberán ser promediados y deberán estar dentro de los límites de tolerancia del diseño de la mezcla, mostrados en la tabla 7. Si a juicio de la dependencia es necesario remover las partes defectuosas, el contratista deberá removerlas y reemplazarlas corriendo a cargo del contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en esta especificación particular.

# IV.- Conclusiones y recomendaciones

# IV.- Conclusiones y recomendaciones

#### IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Generalmente, tanto en la construcción de pavimentos nuevos como en la rehabilitación de pavimentos flexibles, es necesario **elegir entre la aplicación de pavimentos de concreto hidráulico o asfáltico, considerando las ventajas y beneficios de cada tipo de estructura;** para este fin, es necesario hacer una evaluación de los parámetros de seguridad, funcionalidad y economía más importantes de cada aplicación, conociéndose cuál de ellas es más favorable en determinado tiempo de servicio. En la práctica se evalúan los efectos de las solicitaciones de tránsito y clima principalmente y, junto con un análisis económico de la construcción y gastos por operación, se puede determinar la viabilidad de cada opción. **En este panorama y dado que la inversión económica por construcción es muy importante, frecuentemente se recurre al uso de concreto asfáltico porque presenta menor costo inicial de construcción; sin embargo, no se debe perder la perspectiva del análisis económico, el cual generalmente favorece a largo plazo la aplicación de pavimentos de concreto hidráulico.**

Frecuentemente en la distinción de ambos tipos de pavimento, se emplean criterios que son resultado del empirismo, es decir que significan el aporte de las experiencias de profesionales en el campo de pavimentación, y con ellos se decide cual opción de pavimentación es la óptima para resolver el problema particular. En el ámbito de los pavimentos, **la elección de aplicar un tipo de pavimento u otro debe respaldarse por los conceptos teóricos del comportamiento de cada estructura, por la experiencia sobre casos similares, por la evaluación estructural y visual de los pavimentos y por el análisis económico de cada opción.**

**Actualmente, en México, los pavimentos de concreto hidráulico son de poca aplicación en comparación con el uso de los pavimento de concreto asfáltico; esto se debe a la fácil disposición del asfalto en un país productor de petróleo; sin embargo, las tendencias nuevas favorecen el empleo de pavimentos rígidos, ya que la infraestructura vial se enfrenta a fuertes requerimientos de durabilidad, producto del incremento de magnitud y volumen del tránsito en general; además de que su construcción constituye una reducción de costos de operación del pavimento rígido en los correspondiente a su mantenimiento.**

A continuación se presentan las conclusiones de la elección de pavimentos rígidos y flexibles, tomadas a partir de criterios generales que cualquier obra de ingeniería debe cumplir, formulados en base al empirismo de las personas encargadas del proyecto y ejecución del mismo, las investigaciones de referencia empleadas por la tesis, y en base de la viabilidad económica de cada opción de pavimento.

En el caso de una rehabilitación cuyas propuestas de pavimentación son de capa de rodamiento de concreto hidráulico o asfáltico, será necesario:

- **En primer lugar debe verificarse el objetivo de la rehabilitación,** pues con ella pueden adoptarse medidas de tratamiento superficial o hasta la reconstrucción del pavimento. **En general, las tendencias de uso del pavimento rígido se presentan mayormente para obras de modernización carretera, donde el TDPA es por lo menos de 10,000 vehículos con miras al incremento del volumen de carga pesada, con la finalidad de mejorar la vía vehicular, dotarlo de una mayor vida útil y reducir los gastos de conservación.**

**Cuando el objetivo de la obra sea un leve tratamiento superficial se puede recurrir al uso de concreto asfáltico y actualmente se aplica esta medida en obras de longitud corta en donde el tránsito proyectado es de carga ligera y con un TDPA máximo de 5000 vehículos y donde el incremento proyectado es menor a las tasas anuales promedio del 4%. REF\*31.** Estas condiciones se cumplen generalmente en caminos rurales y vías secundarias estatales y federales, siendo necesario verificar su comportamiento durante el tiempo de servicio para adoptar las medidas correctas de mantenimiento, incluyendo su posible sustitución por pavimento de concreto hidráulico cuando los supuestos anteriores se vean rebasados y dicha sustitución sea factible económicamente.

- En general un buen administrador de pavimentos además de procurar la seguridad óptima para que el usuario circule sobre la superficie debidamente mantenida, comprueba que el dinero se gaste convenientemente; **sería absurdo proporcionar una delgada superficie con buena resistencia al derrapamiento para restaurar la seguridad, sin antes verificar la condición estructural, ya que el pavimento existente pudiese ser inadecuado para resistir las cargas pronosticadas del tránsito.** De esta manera, podría requerirse una sobrecarpeta gruesa o aún una reconstrucción, en lugar de sólo una simple capa para restaurar la fricción, a menos que ésta sea parte de un mejoramiento planeado por etapas. Así pues, para adoptar la mejor medida de rehabilitación es conveniente realizar las siguientes actividades:

Para adoptar la rehabilitación más conveniente es necesario **verificar el estado superficial del pavimento dañado mediante una inspección visual que califique los deterioros**, asignándoles un grado de serviciabilidad. Dicha evaluación incluye una revisión de la calidad de servicio de la superficie, la densidad de daños sobre la misma y la resistencia al derrapamiento. Con todas estas medidas se puede indicar posteriormente la necesidad de mantenimiento o rehabilitación.

**Otra herramienta para poder elegir que tipo de pavimento se puede aplicar en la rehabilitación es la evaluación estructural de la estructura deteriorada**; dicha evaluación debe comprender el reporte de los deterioros, los resultados de la medición de deflexiones, la obtención de los módulos de elasticidad de las capas de pavimento y subrasante y la determinación de la vida remanente y el refuerzo requerido para un periodo definido.

**También se debe realizar la exploración directa (Medidas espesores las capas del pavimento y la determinación de las propiedades geotécnicas de los materiales constitutivos)**. Con estos datos y su análisis se verifica la calidad de los materiales de la estructura existente y con respecto a la normativa vigente de la SCT.

Con la información de la inspección superficial, la evaluación estructural y la exploración directa del pavimento deteriorado, se puede evaluar la importancia de las actividades de rehabilitación. Comúnmente los resultados de esta evaluación se traducen en términos de una sobrecarpeta de concreto asfáltico para restaurar las condiciones de servicio del pavimento.

- En cuanto a las medidas de rehabilitación debe tenerse en cuenta que cada alternativa de solución se fundamenta en métodos de diseño distintos, pero que a grandes rasgos establece un grado adecuado de seguridad y funcionalidad, **se puede entonces restaurar el pavimento, debiendo justificarse no sólo en términos económicos, sino en términos de los criterios de seguridad y funcionalidad**. Estos criterios se fundamentan en soportar adecuadamente las cargas por tránsito pesado, por sus características de resistencia y baja deformación, y en cuanto a los criterios de seguridad y de funcionalidad, estos son solamente comparables entre las alternativa de igual naturaleza y dependen fundamentalmente de las condiciones de diseño y los procesos constructivos que se empleen. En esta última consideración, donde las condiciones de diseño son iguales y aunque las soluciones



constructivas sean diferentes, se pueden comparar las alternativas en función de la pérdida de serviciabilidad inicial conforme sea el comportamiento de la estructura en determinado periodo de análisis.

Otro punto importante para poder decidir entre la rehabilitación con uno u otro tipo de pavimento es el criterio de facilidad de construcción y el tiempo requerido por ella, donde los métodos tradicionales de pavimentación asfáltica son ventajosos y resultan de especial beneficio cuando la medida de rehabilitación debe aplicarse sin que los recursos humanos y técnicos que demandan, incrementen significativamente el costo total de cada aplicación.

Cabe mencionar que en la pavimentación, al igual que en cualquier obra civil, la calidad en la construcción es el aspecto más importante para que un camino opere adecuadamente durante toda su vida útil.

En general la elección entre pavimentos rígidos y flexibles depende básicamente de la elección del los materiales de construcción, y en atención a su ciclo de servicio y su comportamiento en cierto periodo. Comúnmente la opción de emplear concreto hidráulico resulta viable teniendo en cuenta:

**OBJETIVO DE LA OBRA.** Se sugiere la aplicación de pavimentos rígidos en aquellos proyectos de modernización en donde el tránsito haya rebasado aquellas proyecciones de diseño originales, con la finalidad de mejorar la operación de la carretera, dotarla de una mayor vida útil y reducir los gastos de conservación.

**INTENSIDAD Y VOLUMEN DE TRÁNSITO.** Se opta por aplicar pavimento rígido en aquellas carreteras con volúmenes grandes de tránsito y porcentaje alto de vehículos pesados.

**TOPOGRAFÍA.** Generalmente se opta por aplicar concreto hidráulico en zonas con topografía sensiblemente plana o con lomerío suave

**SUELO DE SOPORTE.** Se sugiere aplicar pavimentos de concreto hidráulico en zonas en donde el suelo no sea blando, pues las deformaciones del mismo terreno natural y las de las capas inferiores del pavimento pueden reflejarse en su superficie en forma de agrietamientos severos, pudiéndose presentar el fenómeno de bombeo de finos. (Capítulo II.1)

**TIEMPO DE PAVIMENTACIÓN.** Aunque en una rehabilitación con pavimento flexible el tiempo de pavimentación es menor que en empleado en pavimentos rígidos, debido a que el concreto asfáltico se maneja fácilmente y alcanza rápidamente su resistencia para soportar el tránsito (casi inmediatamente después de haber sido compactado). En pavimentos rígidos, actualmente existen varios aditivos acelerantes de fraguado que permiten obtener un concreto resistente en poco tiempo, minimizando el lapso de pavimentación, pudiéndose colocar y endurecer en pocas horas. Debe tenerse en cuenta que el uso de estos aditivos en concreto hidráulico incrementa notablemente el costo de construcción del pavimento.

Actualmente, de acuerdo con las tendencias del país, las empresas constructoras mexicanas tienden a adquirir equipos de alto rendimiento para la pavimentación con losas de concreto hidráulico, lo que ha facilitado el proceso constructivo de losas de rodamiento con este material. **REF\*16.**

**ESTRUCTURA DE SOPORTE.** Dada la rigidez que alcanza el concreto hidráulico de la capa de rodamiento, se logra que la estructura térrea de soporte demande un espesor menor que la correspondiente a un pavimento flexible.

Comúnmente la capa de soporte para un pavimento de concreto hidráulico se construye de material granular o de suelo-cemento. Ocasionalmente se mejora con cemento la subrasante. Es práctica actual se construyen capas de rodamiento rígida no menores de 10 centímetros de espesor. **REF\*16**

En el caso del whitetopping se cuenta con la ventaja de tender la capa de rodamiento sobre la capa de rodamiento asfáltico existente. Para este procedimiento se debe verificar para el potencial falla por servicio de las capas inferiores y garantizar su adecuada calidad cuando se coloque el concreto hidráulico; en caso de que la base o la sub-base demuestren una calidad inadecuada para soportar tanto la capa flexible como la rígida, se sugiere recurrir a su mejoramiento con cal, cemento, arenas y gravas.

**TIEMPO DE APERTURA AL TRÁNSITO.** El proceso constructivo del pavimento con concreto asfáltico o concreto hidráulico plantean diferentes periodos de apertura al tránsito vehicular. Es común encontrar en pavimentación que un proceso de rehabilitación obstruya temporalmente el tránsito vehicular mientras se trabaja. Sin embargo, actualmente se cuenta con tecnología que reduce el lapso de esta interrupción. Dicha tecnología consiste en la utilización de los pavimentos rígidos de apertura rápida; estos requieren de un colado bien planeado, con concreto de fraguado rápido y cimbra deslizante a todo lo ancho de la vialidad, lo que agiliza el proceso constructivo. En estacionamientos se ha logrado limitar a sólo 24 horas el impedimento para que los usuarios transiten con sus automóviles. REF\*16

En una rehabilitación con pavimento flexible el periodo de pavimentación es bastante menor que en pavimentos rígidos, esto se logra por la facilidad con que el concreto asfáltico se maneja y alcanza rápidamente su resistencia para soportar el tránsito casi inmediatamente después de haber sido compactado. En pavimentos rígidos, actualmente existen varios aditivos acelerantes de fraguado que permiten obtener un concreto resistente en poco tiempo, minimizando el lapso de pavimentación, pudiéndose colocar y fraguar en pocas horas.

### **RESISTENCIA A LA ABRASIÓN**

Debido a la resistencia a la abrasión y deformación del concreto hidráulico, un pavimento rígido posee una capacidad alta contra el desgaste producto del paso vehicular; este desgaste será menos severos en tanto mayor sea la resistencia del material cementante (pasta de cemento Pórtland), pues se impide el fácil desprendimiento de los agregados de la superficie.

### **RESISTENCIA AL DETERIORO.**

**Las losas de concreto de un pavimento rígido ofrecen mayor resistencia a las presiones de arranque, frenado y circulación de vehículos automotores, lo cual proporciona una susceptibilidad mínima a la deformación y en general al deterioro de la capa de rodamiento.** Las losas de los pavimentos rígidos en servicio no presentan deterioros en forma de pliegues, ondulaciones, ahuellamientos, como en el caso de la superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles.

**De los posibles daños que pudiera sufrir un pavimento con capa de rodamiento rígida, casi todos suelen atribuirse a la calidad del concreto;** con menos frecuencia se deben a una deficiente aplicación de las terracerías o a los malos procedimientos de manejo y colocación del concreto. **En general un pavimento de concreto hidráulico con bases bien construidas y que mantiene buenas condiciones de uso, presenta menos deterioro con el paso del tiempo que uno flexible, ya que por la misma naturaleza del material resiste mejor las cargas y la acción del clima y de agentes químicos, solventes de los combustibles y lubricantes.**

### **FACILIDAD DE MANTENIMIENTO**

Los pavimentos rígidos se deterioran poco y presentan mínimas deformaciones de la superficie, por lo que **requirieren de inversiones relativamente bajas en su mantenimiento.** Estas operaciones de mantenimiento frecuentemente **consisten en el calafateo de las grietas que se llegaran a presentar, la reparación parcial de algunas losas y la reposición del material bituminoso en juntas de expansión o construcción que lo hayan perdido.**

En general, el mantenimiento a las losas de concreto hidráulico del pavimento, **resulta sencillo por las mínimas deformaciones ocasionas por el paso de vehículos o por filtraciones de combustibles derramados en su superficie.** Casi todos los deterioros del pavimento rígido resultan más fáciles de reparar, siempre y cuando sean de limitada extensión y poco frecuentes en un tramo carretero, en cuyo caso siempre es necesario, como máxima medida de corrección, la sustitución de la losa o el espesor parcial de la misma.

### **TEXTURA**

La textura lograda con el concreto hidráulico se asocia con un menor riesgo vehicular a la colisión al presentar operativamente un menor desgaste de mecanismos del vehículo. Igualmente y en comparación con un pavimento flexible no se incurre en menos sobreconsumo de combustible durante las continuas esperas y arrancadas ocasionadas por daños o reparaciones en la vía.

Una capa de concreto hidráulico ofrece menor distancia de frenado para los vehículos, pues la textura que se le da a la capa de rodamiento de un pavimento rígido constituye un factor de seguridad más controlable que con pavimentos de asfalto. Por ejemplo, un vehículo que viaja a 96 Km./hr, requiere para detenerse al haber accionado los frenos, aproximadamente 10 metros, mientras que en pavimento con ahuellamientos necesita hasta 40 metros más. REF\*7. En general el texturizado se realiza fácilmente con una arpillera cuyas líneas de penetración varían entre 3 y 6 mm.

### **DURABILIDAD (MAYOR VIDA ÚTIL)**

La carpeta de un pavimento rígido ofrece mayor resistencia a los esfuerzos generados por el tránsito y la acción del medio ambiente. Empíricamente se ha comprobado que la mayoría de los pavimentos rígidos tienen una duración mínima de 20 años y pueden estar periodos grandes de servicio sin hacerle intervenciones o reparaciones importantes. En general estos pavimentos presentan una vida útil de 20 a 50 años, y en Estados Unidos e Inglaterra han existido casos excepcionales de superficies que datan de más de 70 años y aún se hallan en buen estado, incluso sin haber recibido mantenimiento (REF\*6); su larga duración se atribuye a que están bien construidos y no se encuentran sujetos a las deformaciones continuas que ocasiona el paso de vehículos, así como a la mínima filtración de combustibles derramados en su superficie.

### **ÍNDICE DE SERVICIO DURANTE SU VIDA ÚTIL.**

El índice de servicio se refiere al grado de comodidad de los usuarios que transitan sobre el pavimento. Con una buena construcción y un buen manejo de juntas entre las losas de concreto, el índice de servicio es alto y se mantiene por mucho tiempo ya que no se presentan deformaciones que incomoden al usuario. En comparación con un pavimento flexible, éste presenta un mayor deterioro y sus reparaciones inciden en incomodidades para la circulación, lo cual reduce el índice de servicio de la carretera.

### **COSTOS DE OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO**

Aunque el deterioro vehicular provocado por el rodamiento es casi imperceptible, es acumulativo y más notorio para el usuario que circula en pavimentos deteriorados y con continuas reparaciones.

En general, el concreto hidráulico ofrece un periodo más amplio entre intervenciones por reparación y guarda por más tiempo sus condiciones óptimas de servicio, con leves daños y deformaciones, lo cual ayuda a preservar el buen estado de los vehículos.

### **DRENAJE.**

El drenaje puede regularse con texturas abiertas en pavimentos flexibles; en pavimento de concreto hidráulico puede diseñarse éste con concreto poroso, un concreto sin finos que permite fácilmente el flujo de agua a través de sí mismo. Los pavimentos de concreto hidráulico generalmente cuentan con el adecuado drenaje superficial gracias a su textura controlada, presentándose menos incidencia de hidroplanéo de los vehículos y aumentando la seguridad del usuario.

### **DIFUSIÓN DE LA LUZ**

Debido al color propio de la mezcla de concreto hidráulico, color gris claro, la capa de rodamiento del pavimento rígido refleja mejor la luz generando mayor seguridad para los usuarios al proporcionar mayor visibilidad en la noche. Adicionalmente, los costos de iluminación se pueden reducir ya que se requiere hasta un 30% menos de lámparas en la vía con sus respectivos consumos de energía. REF\*7

### **RUIDO.**

Por lo que respecta al ruido y coeficiente de deslizamiento, estudios de los campos de nivel sonoro y del coeficiente de deslizamiento para diferentes tipos de carpetas, incluyendo adoquines y losas de concreto hidráulico, indican que el concreto hidráulico genera menos ruido que el pavimento flexible.

En este aspecto, tanto el ruido como la fricción llegan a presentar situaciones de conflicto, pero se opta por asegurar la adherencia entre neumático y pavimento, aunque esta medida de seguridad conlleve cierta incomodidad en cuanto a ruido se refiera.

En general el ruido se mide en varios niveles que causan incomodidad y molestia al usuario, destacando el comportamiento de cada tipo de carpeta con respecto a la generación de ruido y los niveles del coeficiente de deslizamiento entre llanta y pavimento.

Con los conocimientos básicos de los tipos de pavimentos y su posible aplicación en la rehabilitación, se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de ambos tipos de pavimento.

### **ALGUNAS CONSIDERACIONES DE ORDEN ECONÓMICO**

Cuando un proyecto de infraestructura sugiere de pavimentar con concreto hidráulico o con concreto asfáltico, resulta conveniente analizar estas alternativas considerando los costos de conservación, mediante un análisis de costo-beneficio, para **determinar la alternativa más económica y conveniente con los recursos disponibles, sin olvidar el objeto de la obra y los beneficios que proporcionará a la sociedad en general.**

**En el caso de la rehabilitación de la autopista Chamapa – La Venta, en el análisis económico se observa que la construcción de la primera alternativa requiere una inversión menor respecto al costo inicial de construcción, pero en lo que toca al costo de conservación el pavimento rígido requiere sólo del 5 % al 7% de lo que se ocuparía para la conservación en las otras dos alternativas (capa de rodamiento de concreto asfáltico).**

Frecuentemente en el análisis de estos pavimentos se tiende a evaluar el costo integral de la estructura, que consiste tanto del costo inicial como el del mantenimiento para su servicio adecuado. En este panorama se puede mencionar que **existe una diferencia de hasta 44% en promedio a favor de la opción de concreto hidráulico, siendo la opción más económica en el largo plazo.**

**Las diferencias a favor del pavimento rígido se presentan entre el año 5 y el 6, justo cuando el concreto asfáltico requiere de intervenciones de mantenimiento mayor para elevar el índice de servicio de la autopista. Y en forma periódica se manifiesta el mayor costo de conservación del pavimento flexible respecto al correspondiente del pavimento de concreto hidráulico.**

Respecto a la alternativa 1 (pavimento asfáltico) puede anotarse que en su año 11 dicha opción iguala su monto de inversión con el correspondiente a implementar un pavimento rígido.

Con respecto a la segunda alternativa se observa que la diferencia significativa comienza a partir del año 4, donde el pavimento flexible incrementa notoriamente su costo; dicha diferencia en el año 20 de servicio registra una variación de hasta \$ 7, 000, 000.00 superior a lo requerido por la opción rígida.

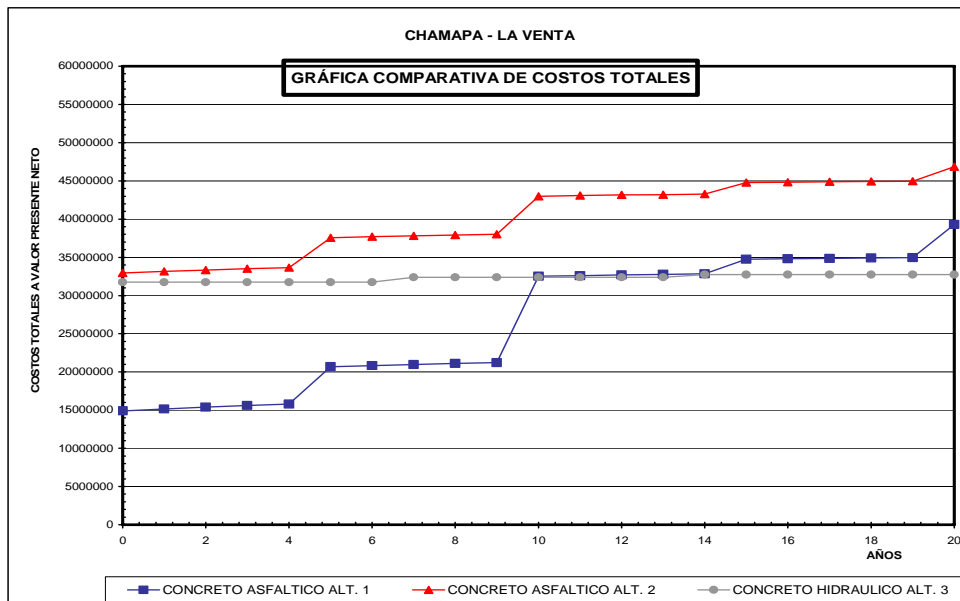
Finalmente cabe aclarar que el objetivo de la rehabilitación impide implementar la alternativa 2 (de concreto asfáltico que mejora las condiciones de las capas de base y sub-base) porque constituye una medida de reconstrucción y requiere de una inversión inicial que sobrepasa los recursos destinados para la intervención programada.

Respecto a la opción rígida, esta no se implementa por idénticas razones a las descritas antes para la opción 2 (de concreto asfáltico), aceptando que operativamente el mantenimiento continuo de un pavimento asfáltico obstruye el tránsito y cambia las condiciones de comodidad del usuario. Sobre esta última consideración, los trabajos de mantenimiento que se originan son menores que el de las otras dos alternativas.

### CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

La construcción de la primera alternativa es más económica respecto al costo inicial. Su costo de conservación se incrementa grandemente en comparación con la alternativa rígida

La inversión inicial de la opción rígida es más costosa; sin embargo el costo correspondiente a su mantenimiento es del orden 5 % al 7% de la inversión inicial requerida para construirla. Las diferencias a favor del pavimento rígido se presentan a partir del año 4, en comparación con la alternativa 1 y cuando se compara con la alternativa 2 no se presenta una intersección de curvas porque el costo de implementar la tercera es menor que el de la segunda.





Operativamente los pavimentos rígidos y flexibles requieren de diferentes tipos de mantenimiento, y cada una de esas intervenciones representa obstruir el tránsito y modificar las condiciones de comodidad del usuario de la autopista. A este respecto, los trabajos de mantenimiento que se originan de implementar la tercer alternativa son menores que el de implementar cualquiera de las otras dos opciones de pavimento. Por ello el uso de pavimento rígido es más recomendable.

Del análisis de cada uno de los parámetros definidos, los profesionales de la ingeniería aplicada en pavimentos, se van formando una opinión y el ponderarlas permite elegir entre el empleo de un pavimento asfáltico o un pavimento de concreto hidráulico. En el caso en estudio, en general se da mayor importancia a la minimización de la inversión inicial (derivada del costo de construcción) y al tiempo de implementación pues se requiere trabajar en temporada de lluvias.

Cabe destacar que a la fecha en México se tienen en operación o en construcción un total de 2,267 km-carril de pavimentos rígidos (año 2000), y que en la atención al programa de los ejes troncales de 1998 al año 2000, que contempló trabajar en casi 4,000 km de caminos que requirieron reforzar su estructura o su alineamiento, al menos la mitad de ellos fueron de concreto hidráulico. Por ello y debido a las necesidades crecientes de infraestructura, se necesita identificar las medidas óptimas que favorezcan el desarrollo del país, sin caer en adopción de medidas mediocres que beneficien sólo al operador de la autopista en detrimento de la calidad de servicio a largo plazo.

Además en México se ha logrado acumular en el campo de los pavimentos de concreto hidráulico en aeropuertos y puertos, una experiencia profesional de varias obras, que en general presentan un comportamiento ampliamente satisfactorio puesto que, con algunas variantes, los costos de mantenimiento y rehabilitación han resultado razonablemente moderados e incluso de muy baja cuantía. REF\*16. Puede anotarse que el panorama de aplicación de los pavimentos rígidos se amplía a utilizarlos en vías urbanas en las principales ciudades del país ya sea con o sin acero de refuerzo,

En general, se recomienda renovar y adecuar las carreteras para recibir las nuevas cargas e intensidades de tránsito y ofrecer caminos con mejores características tanto geométricas como estructurales empleando ventajosamente la alternativa del sobrecarpetao de concreto hidráulico (whitetopping) y planificar adecuadamente el mantenimiento, de manera que cumpla las expectativas de vida de servicio.

# Anexos

**ANEXO 1.  
COMPACTACIÓN**

TABLA 2  
ELECCIÓN DE EQUIPOS DE COMPACTACIÓN

	SÍMBOLO SUCS	MATERIAL	TRAMPER AUTOPROPULSADO	TRAMPER REMOLCADO	PATA DE CABRA AUTOPROPULSADO	PATA DE CABRA REMOLCADO	LISO VIBRATORIO PEQUEÑO	LISO VIBRATORIO PESADO	PATA DE CABRA, VIBRATORIO, PEQUEÑO	PATA DE CABRA, VIBRATORIO, PESADO	NEUMÁTICO LIGARO	NEUMÁTICO PESADO
BASE		GRANULAR LIMPIO					1	1			3	2
		GRANULAR CON POCOS FINOS	2	2			1	1	2	2		2
SUB-BASE		ROCA	2	2				1		2		
	GW,GP,SW	ARENA, GRAVA					1	1	2	2		2
CUERPO DEL TERRAPLÉN	SP	ARENA UNIFORMA					1	1	2	2		3
	SM, GM	ARENAS O GRAVAS LIMOSAS	1	1	4	4	3	3	2	2		2
	ML, MH	LIMOS	1	1	2	2			3	3		2
	GC, SC	ARENAS O GRAVAS ARCILLOSAS	1	1	2	2			3	3		2
	CH, CL	ARCILLAS	1	1	2	2					3	3

El número acotado para el suelo y el tipo de compactación es la cantidad de pasadas que comúnmente se le aplica al pavimento o la terracería, según corresponda.

TABLA NO. 3. (FUENTE: REF\*15). Esta tabla remite las propiedades y usos comunes aplicados en campo relacionados con el equipo de compactación más recomendable.

### CARACTERÍSTICAS DE UTILIZACIÓN DE LOS SUELOS, AGRUPADOS SEGÚN SUCS.

Símbolo	Características De compactabilidad	Peso vo Lumétrico seco máx. típico (proctor estándar) ton/m3.	Compresibilidad y Expansión	Permeabilidad y características de drenaje	Características como material de terrapién	Características como subrasante	Características como base	Características como Pavimento provisional	
								C/revestimiento o ligero	C/tratamiento asfáltico
GW	Buenas. Rodillos lisos vibratorios. Rodillo neumático. Respuesta perceptible al bandedo con tractor.	1.9 a 2.1	Prácticamente nula	Permeable Muy buenas	Muy estable	Excelente	Muy buena	Regular a mala	Excelente
GP	Buenas. Rodillos lisos vibratorios. Rodillo neumático perceptible al bandedo con tractor	1.8 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable Muy buenas	Estable	Buena a excelente	Regular	Pobre	Regular
GM	Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros	1.9 a 2.2	Ligera	Semipermeable Drenaje pobre	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Pobre	Regular a pobre
GC	Buenas o regulares rodillos neumáticos o pata de cabra	1.8 a 2.1	Ligera	Impermeable Mal drenaje	Estable	Buena	Regular a buena	Excelente	Excelente
SW	Buenas rodillos neumáticos o vibratorios	1.7 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable Buen drenaje	Muy estable	Buena	Regular a mala	Regular a mala	Buena
SP	Buenas rodillos neumáticos o vibratorios	1.6 a 1.9	Prácticamente nula	Impermeable buen drenaje	Razonablemente Estable en estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SM	Buenas rodillos neumáticos o pata de cabra	1.7 a 2.0	Ligera	Impermeable Mal drenaje	Razonablemente En estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SC	Buenas o regulares rodillos neumáticos o pata de cabra	1.6 a 2.0	Ligera a media	Impermeable Mal drenaje	Razonablemente estable	Regular a buena	Regular a mala	Excelente	Excelente

TABLA NO. 3

(CONTINUACION)

Símbolo	Características De compactabilidad	Peso vo Lumétrico seco máx. típico (proctor estandar ton/m3.	Compresi- Bilidad y Expansión	Permeabili- Dad y características de drenaje	Características como material de terripién	Características como subrasante	Características como base	Características como Pavimento provisional	
								C/revestimient o ligero	C/tratamiento asfáltico
ML	Buenas a malas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.5 a 1.9	Ligera a media	Impermeable mal drenaje	Mala estabilidad Si no esta muy compacto	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
CL	Regulares a buenas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.5 a 1.9	Media	Impermeable no drena	Buena	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
OL	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.3 a 1.6	Media a alta	Impermeable mal drenaje	Inestable debe Evitarse su uso	Mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
MH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.1 a 1.6	Alta	Impermeable Mal drenaje	Inestable debe de Evitarse su uso	Mala	No debe usarse	Muy mala	Muy mala
CH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.3 a 1.7	Muy alta	Impermeable no drena	Regular Vigílese la expansión	Mala o muy mala	No debe usarse	Muy mala	No debe usarse
OH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.0 a 1.6	Alta	Impermeable No drena	Inestable Debe evitarse Su uso	Muy mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
Pt	No debe usarse		Mal alta	Regular o mal drenaje	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse

## ANEXO 2. OTROS MÉTODOS DE DISEÑO

### ANEXO 2.1 (MÉTODO U. S. ARMY)

El método de la armada de los Estados Unidos de América (**MÉTODO U. S. ARMY**) tiene mayor uso en el diseño de aeropistas y es una aplicación práctica de la Teoría de Burmister y el empleo de la prueba de la placa.

Para diseñar pavimento flexibles con este método, primeramente se debe hacer una prueba de placa en la subrasante por utilizar, se mide la presión requerida para que una placa de 30" (76,2cm) de diámetro genere una deformación de 0.2" (0,508cm).

Considerando que la subrasante es semi-infinita, se aplica la Teoría de Boussinesq:

$$\Delta = 1.18 * \frac{pr}{E_2}$$

$\Delta$  = Deformación de la placa rígida sobre la subrasante (según Boussinesq), en centímetros.

$p$  = Presión aplicada a la placa en Kg./cm<sup>2</sup>

$r$  = Radio de la placa en centímetros

$E_2$  = Módulo de elasticidad de la Subrasante, en Kg./cm<sup>2</sup>

En esta expresión se conocen todos los términos al efectuar la prueba **excepto**  $E_2$  que, por lo tanto, **puede calcularse**. Posteriormente se construye una plataforma de 5 x 5m. de 15cm de espesor mínimo (aproximadamente 6") con el material que se disponga para realizar la futura base del pavimento. Se realiza otra prueba de placa sobre dicha capa y se aplica la fórmula:

$$\Delta = 1.18 * F * \frac{pr}{E_2}$$

Pudiendo calcular **F**, acotando la deformación  $\Delta$  al valor 0.508cm. Con este valor de F se calcula la relación  $E_2/E_1$  de la Figura 30, de donde puede calcularse el valor de  $E_1$ : módulo de elasticidad de la base.

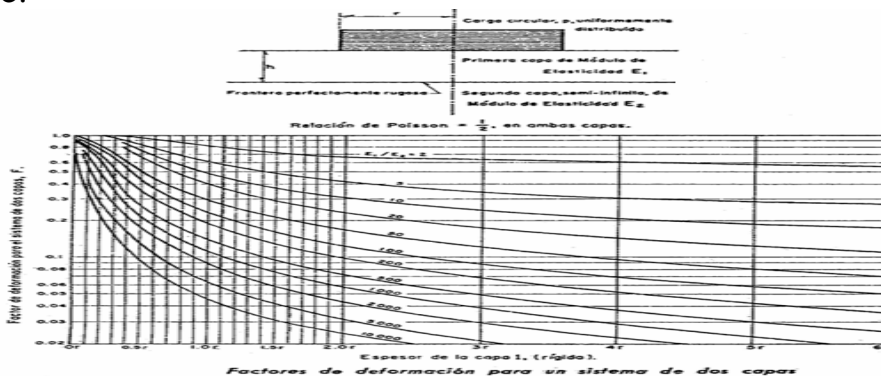


Figura 31. Fuente: REF\*22.

**Ahora con los datos reales de la llanta de diseño**, cuya carga y presión de inflado,  $P_i$ , se suponen conocidas, es posible calcular el área y el radio de la huella de la llanta. Y aplicando la fórmula:

$$\Delta = 1.5 * F * \frac{Pr}{E_2}$$

$\Delta$  = Deformación de la placa rígida sobre la subrasante (según Boussinesq), en centímetros.

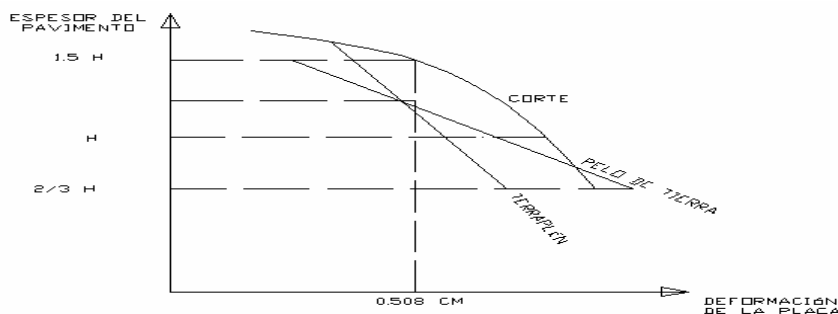
$p$  = Presión aplicada a la placa en Kg./cm<sup>2</sup>

$r$  = Radio de la placa en centímetros

$E_2$  = Módulo de elasticidad de la Subrasante, en Kg./cm<sup>2</sup>

**es posible calcular el nuevo valor de F**, correspondiente a la placa flexible real, trabajando de nuevo con una deformación  $\Delta$  acotada a 0.2" (0.508 cm). **Con este valor de F y la gráfica de la Figura 31, usando la relación  $E_2/E_1$  ya calculada, puede obtenerse el espesor de la base, necesario para satisfacer las ecuaciones de Burmister**, con las deformaciones dentro del valor que se ha venido utilizando de 0.2" (0.508cm), en función del radio de la llanta real; como éste ya se conoce, se tiene en definitiva un espesor de la base del pavimento, H.

Se recomienda que este espesor H se compruebe mediante la construcción de una plataforma de unos 5 x 5 m con un espesor de 2/3 H, H y 1.5 H donde se pueda practicar una prueba de placa; en dicha prueba se aplica una carga cíclica en la base de referencia mediante una placa metálica de radio igual al de la llanta real de diseño, ya obtenido anteriormente y con una presión aplicada igual a la de inflado de la llanta de diseño. En general esta prueba consiste en medir la deflexión de la placa en cada caso. En estas condiciones se obtienen nueve valores de la deformación, con los cuales se construye una gráfica análoga a la mostrada en la [gráfica 15](#), donde **el espesor promedio corresponde a la deformación acotada a 0.508 cm. es el proyecto para el pavimento, teniendo en cuenta que parte del valor obtenido es espesor de la carpeta.**



Gráfica 9. Gráfica para encontrar el espesor de proyecto de un pavimento con el método de la Armada de Estados Unidos

## **ANEXO 2.2.- MÉTODO CBR**

**Este método se basa en la prueba del Valor Relativo de Soporte o CBR**, ya descrita anteriormente. Probablemente es el más popular en el mundo, aunque no el mejor. Se emplea para aeropistas y carreteras. En base a la observación del comportamiento de pavimentos construidos durante más de 20 años y en correlaciones de tal comportamiento con el valor VRS exhibido por las diferentes capas de tales pavimentos, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EUA, llegó a la siguiente expresión para determinar el espesor de un pavimento en aeropistas.

$$e = \sqrt{P \left( \frac{1}{8.1 * (VRS)} \right) - \frac{1}{\rho \pi}}$$

Donde:

e = espesor de pavimento para proteger la subrasante (pulgadas)

p = carga de la rueda de diseño (libras)

VRS = Valor Relativo de Soporte de la subrasante

$\rho$  = presión de inflado de la rueda de diseño en lb/in<sup>2</sup>

La expresión sólo es válida para valores del VRS menores que 10% o 12%, que es el intervalo de VRS de subrasante común en la práctica.

Para valores de CBR mayores de 12%, la fórmula anterior no representa a dichas curvas, por lo cual se recurre a ellas en cada caso particular. En atención a esta necesidad se sugiere consultar el anexo X-b de la REF\*22, donde se han recopilado las curvas que cubren las condiciones mas comunes También aparecen en el anexo las curvas válidas para el diseño de carreteras, para las que no se ha desarrollado ninguna fórmula representativa que haya alcanzado difusión. Por otra parte ha de señalarse que, tanto para aeropuertos como en carreteras, existen especificaciones muy particulares y locales sobre los espesores mínimos de base y carpeta a usar; en el anexo X-b figuran también algunas referencias a dichos valores.

Este método está limitado por no considerar ciertas normas mínimas de calidad, ni las características mecánicas del propio material protector. Otra objeción es que los criterios empíricos, basados en experiencias de pavimentos pesados resultan peligrosos para aplicar en un campo tan cambiante como lo es la tecnología de los pavimentos, pues los criterios que se pueden aplicar a ciertas cargas, no pueden extrapolarse a cargas de mayor magnitud como ocurre actualmente.



### ANEXO 2.3.- MÉTODO KANSAS.

**SE emplea fundamentalmente para el diseño de pavimento de carreteras y se basa en la teoría de Boussinesq, la cual propone que la deformación a una profundidad  $z$  bajo el centro de un círculo uniformemente cargado, es:**

$$\Delta = \frac{pr}{E} C \dots\dots\dots\text{II.3.3}$$

Donde:

$\Delta$ : Deformación

$p$ : Presión de contacto del círculo cargado.

$r$ : Radio del círculo

$C$ : Es una función de  $z$  que vale:

$$C = \left(\frac{3}{2}\right) \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{z}{r}\right]^2}} \dots\dots\dots\text{II.3.4}$$

Sustituyendo la ecuación anterior por su equivalente en términos de la carga total de la rueda de diseño, se despeja  $z$ , igualándola al **espesor del pavimento** se obtiene:

$$z = e = \sqrt{\left(\frac{3P}{2\pi E\Delta}\right)^2 - r^2} \dots\dots\dots\text{II.3.5}$$

$\Delta$  es la deformación bajo la carga  $P$  de la rueda de diseño. En la fórmula II.3.3 **se supone que el espesor  $e$  no contribuye a esa deformación**; así  $\Delta$  es producido únicamente desde ese nivel hacia abajo, según la teoría de Boussinesq. **La ecuación II.3.5 es la fórmula que usa el método de Kansas**; con ella puede calcularse un espesor del pavimento sobre la subrasante tal que, según la teoría de Boussinesq, al aplicar a dicho pavimento una carga  $P$ , la deformación bajo la llanta no sobrepase el valor  $\Delta$  que se use en la fórmula II.3.5.

**El método de Kansas se basa también en los resultados de la prueba triaxial del mismo nombre**; para dicha prueba se reproducen las condiciones de humedad más desfavorables en la vida útil del pavimento a base de la saturación del espécimen; en general esta hipótesis es **en exceso conservadora, por lo que se introduce un coeficiente corrector  $n$ , cuyo valor es función de la precipitación pluvial en la zona de construcción.**

La tabla 15 remite algunos valores que pueden tomarse en cuenta para el coeficiente corrector por efecto de lluvia.

Coeficiente de saturación (n)	Precipitación pluvial promedio anual (cm.)
0.5	38-50
0.6	51-63
0.7	63-76
0.8	77-89
0.9	90-101
1.0	102-127

Tabla 15. Fuente: REF\*22.

Respecto a la consideración del tránsito, este método introduce un **factor de intensidad**  $m$ , que supone que la máxima carga por rueda es de 4100Kg (9000lb); también se asume que el porcentaje de vehículos de diferentes pesos es el mismo siempre, es decir, que la distribución del tránsito es prácticamente constante. Sobre estas hipótesis el **coeficiente**  $m$  queda dado como se ve en la tabla 16 en función de del volumen total de tránsito del camino.

Coeficiente de Tránsito $m$	Vehículos por día en el camino
$\frac{1}{2}$	40-400
$\frac{2}{3}$	401-800
$\frac{5}{6}$	801-1200
1	1201-1800
$\frac{7}{6}$	1801-2700
$\frac{9}{6}$	2701-4000
$\frac{10}{6}$	4001-6000
$\frac{11}{6}$	90001-13500
2	135001-20000

Tabla 16. Fuente: REF\*22.

Ya con estos coeficientes la fórmula II.3.5 se modifica para dar lugar a la siguiente **fórmula práctica del diseño**:

$$e = \left[ \sqrt{\left( \frac{3Pmn}{2\pi E\Delta} \right)^2 - r^2} \right] \left[ \sqrt[3]{\frac{E}{E_c}} \right] \quad \text{Ecuación II.3.6}$$

Donde:

$E$ : Módulo de deformación de la subrasante

$E_c$ : Módulo de deformación de la carpeta suponiendo como primera aproximación, que todo el pavimento protector sobre la subrasante estará formado por ese material.

El factor  $\sqrt[3]{\frac{E}{E_c}}$  se propuso con base en la teoría de factores de rigidez en losas y se verificó considerando el desplazamiento vertical elástico debido a una carga concentrada en un sistema de dos capas.

Los módulos  $E$  y  $E_c$  se determinarán sometiendo a los materiales correspondientes a la prueba triaxial de Kansas

En resumen la secuencia del método consiste en primer lugar en **considerar que todo el pavimento estará formado por una capa única de material de carpeta asfáltica. Posteriormente se sustituirá parte de su espesor por un espesor equivalente de material granular de la base y, por último, parte de este espesor de base podrá aún sustituirse por un espesor equivalente de sub-base, de inferior calidad.**

**La deformación  $\Delta$  es acotada ahora al valor 0.25cm. (0.1") y  $r$  se refiere al radio del área de contacto de la llanta de diseño. Con estos datos, la fórmula II.3.6 da el espesor del pavimento requerido para proteger la subrasante.**

**Ahora suponiendo un espesor  $t_c$  de una carpeta cuyo módulo de deformación resulte ser  $E_c$ , el espesor de base de módulo  $E_b$  correspondiente puede calcularse con la fórmula:**

$$e_b = (e - e_c) \sqrt[3]{\frac{E}{E_c}} \quad \text{Ecuación II.3.7}$$

Donde:

$e$ : Espesor del pavimento, calculado con la expresión III.3.6

$e_c$ : Espesor supuesto de carpeta

**Supóngase ahora que se desea usar un cierto espesor de base  $e_b$  de módulo de deformación  $E_b$  y el resto de una sub-base de inferior calidad, con módulo de deformación  $E_{sb}$ . El espesor equivalente de ésta puede encontrarse con el criterio mostrado por la Ecuación II.3.7**

$$e_{sb} = (e_b - e'_b) \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_{sb}}}$$

Donde:

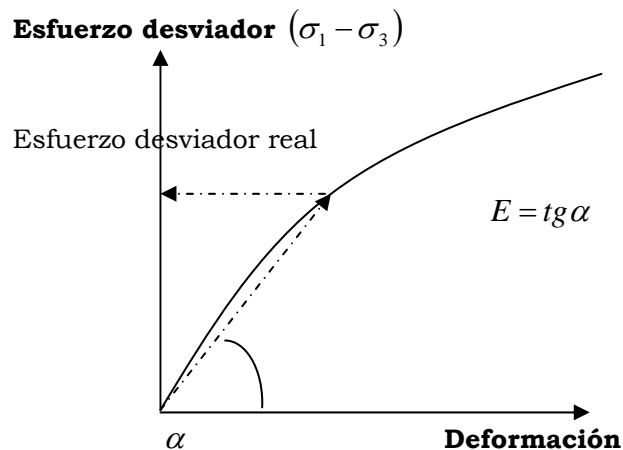
$e_{sb}$ : Espesor requerido de sub-base

$e_b$ : Espesor de base calculado con la fórmula 10-11

$e'_b$ : Espesor parcial de base que se desea colocar

**El problema del método generalmente está en la correcta determinación de los módulos de deformación de los materiales en la prueba triaxial.** Un criterio sería obtener la curva esfuerzo-deformación en la prueba y determinar el módulo para el esfuerzo desviador ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) real que vaya a obrar en el pavimento. La gráfica 16 muestra gráficamente este criterio.

**Las autoridades en pavimentación del Estado de Kansas elaboraron las curvas esfuerzo desviador - módulo de deformación para diferentes valores de m, que permiten calcular fácilmente los espesores, una vez que se dispone de los datos de la prueba triaxial de Kansas, realizada en los diferentes materiales con que se cuenta para construir el pavimento.** (n: coeficiente corrector por efecto de lluvia; m: un factor de intensidad)



Gráfica 16. Criterio para obtener el módulo de deformación en la prueba de Kansas. **REF\*22.**

## **ANEXO 2.4.-**

### **TABLAS Y FIGURAS PARA EL EMPLEO DEL MÉTODO PCA. REF\*18**

Tabla 47. Esfuerzo equivalente para pavimentos sin apoyo lateral.

Tabla 48. Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral.

Tabla 49. Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y sin apoyo lateral

Tabla 50. Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo lateral

Tabla 51. Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y con apoyo lateral.

Tabla 52. Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y con apoyo lateral.

Figura 47. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS

Figura 48. Análisis de erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS.

Figura 49. Análisis de erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, con apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS.

**TABLA 47.**  
Esfuerzo equivalente para pavimentos sin apoyo lateral.

Esfuerzo equivalente para pavimentos sin apoyo lateral																					
Espesor de Losa	K de la Subrasante																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	sencillo	tándem	tridem	sencillo	Tándem	Tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	Sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem
<b>4.00</b>	825	679	510	726	585	456	671	542	437	634	516	428	584	486	419	523	457	414	484	443	412
<b>4.50</b>	699	586	439	616	500	380	571	460	359	540	435	349	498	406	339	488	378	331	417	363	328
<b>5.00</b>	602	516	387	531	436	328	493	399	305	467	376	293	432	349	282	390	321	272	363	307	269
<b>5.50</b>	526	461	347	464	387	290	431	353	266	409	331	253	379	305	240	343	278	230	320	264	226
<b>6.00</b>	465	416	315	411	348	261	382	316	237	362	296	223	336	271	209	304	246	198	285	232	193
<b>6.50</b>	417	380	289	367	317	238	341	286	214	314	267	201	300	244	186	273	220	173	256	207	168
<b>7.00</b>	375	349	267	331	290	219	307	262	196	292	244	183	272	222	153	246	199	154	231	186	148
<b>7.50</b>	340	323	247	300	268	203	279	241	181	265	224	168	246	203	141	224	181	139	210	169	132
<b>8.00</b>	311	300	230	274	249	189	255	223	168	242	208	156	225	188	131	205	167	126	192	155	120
<b>8.50</b>	285	281	215	252	232	177	234	208	158	222	193	145	206	174	122	188	154	116	177	143	109
<b>9.00</b>	264	264	200	232	218	166	216	195	148	205	181	136	190	163	115	174	144	108	163	133	101
<b>9.50</b>	245	248	187	215	205	157	200	183	140	190	170	129	176	153	115	161	134	101	151	124	93
<b>10.00</b>	228	235	174	200	193	148	186	173	132	177	160	122	164	144	108	150	126	95	141	117	87
<b>10.50</b>	213	222	163	187	183	140	174	164	125	165	151	115	153	136	103	140	119	89	132	110	82
<b>11.00</b>	200	211	153	175	174	132	163	155	119	154	143	110	144	129	98	131	113	85	123	104	78
<b>11.50</b>	188	201	142	165	165	125	153	148	113	145	136	104	135	122	93	123	107	80	116	98	74
<b>12.00</b>	177	192	133	155	158	119	144	141	108	137	130	100	127	116	89	116	102	77	109	93	70
<b>12.50</b>	168	183	123	147	151	113	136	135	103	129	124	95	120	111	85	109	97	73	103	89	67
<b>13.00</b>	159	176	114	139	144	107	129	129	98	122	119	91	113	106	81	103	93	70	97	85	64
<b>13.50</b>	152	168	105	132	138	101	122	123	93	116	114	87	107	102	78	98	89	67	92	81	64
<b>14.00</b>	144	162	97	125	133	96	116	118	89	110	109	83	102	98	75	93	85	65	88	78	59

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos.  
Tabla 1.5

**TABLA 48.**  
Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral.

Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral																					
Espesor de Losa	K de la Subrasante pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	sencillo	Tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem
<b>4.00</b>	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
<b>4.50</b>	547	461	365	479	400	328	444	371	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
<b>5.00</b>	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
<b>5.50</b>	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
<b>6.00</b>	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	96	270	225	187	247	210	180	134	203	178
<b>6.50</b>	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	173	243	203	166	223	188	159	212	180	156
<b>7.00</b>	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
<b>7.50</b>	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
<b>8.00</b>	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	116	162	135	112
<b>8.50</b>	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	106	150	125	102
<b>9.00</b>	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
<b>9.50</b>	200	190	134	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
<b>10.00</b>	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
<b>10.50</b>	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	86	119	101	79	113	95	76
<b>11.00</b>	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
<b>11.50</b>	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
<b>12.00</b>	145	146	97	128	122	88	120	111	82	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
<b>12.50</b>	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
<b>13.00</b>	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
<b>13.50</b>	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
<b>14.00</b>	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos.  
Tabla 1.6

**TABLA 49.**

Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y sin apoyo lateral

Espesor de Losa	K de la Subrasante pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	Tridem
<b>4.00</b>	3.74	3.83	3.89	3.73	3.79	3.82	3.72	3.75	3.75	3.71	3.73	3.7	3.7	3.7	3.61	3.68	3.67	3.53
<b>4.50</b>	3.59	3.7	3.78	3.57	3.65	3.69	3.56	3.61	3.62	3.55	3.58	3.57	3.54	3.55	3.5	3.52	3.53	3.44
<b>5.00</b>	3.45	3.58	3.68	3.43	3.52	3.58	3.42	3.48	3.5	3.41	3.45	3.46	3.4	3.42	3.4	3.38	3.4	3.34
<b>5.50</b>	3.33	3.47	3.59	3.31	3.41	3.49	3.29	3.36	3.4	3.28	3.33	3.36	3.27	3.3	3.3	3.26	3.28	3.25
<b>6.00</b>	3.22	3.38	3.51	3.19	3.31	3.4	3.18	3.26	3.31	3.17	3.23	3.26	3.15	3.2	3.21	3.14	3.17	3.16
<b>6.50</b>	3.11	3.29	3.44	3.09	3.22	3.33	3.07	3.16	3.23	3.06	3.13	3.18	3.05	3.1	3.12	3.03	3.07	3.08
<b>7.00</b>	3.02	3.21	3.37	2.99	3.14	3.26	2.97	3.08	3.16	2.96	3.05	3.1	2.95	3.01	3.04	2.94	2.98	3
<b>7.50</b>	2.93	3.14	3.31	2.71	3.06	3.2	2.88	3	3.09	2.87	2.97	3.03	2.86	2.93	2.97	2.84	2.9	2.93
<b>8.00</b>	2.85	3.07	3.26	2.82	2.99	3.14	2.8	2.93	3.03	2.79	2.89	2.97	2.77	2.85	2.9	2.76	2.82	2.96
<b>8.50</b>	2.77	3.01	3.2	2.74	2.93	3.09	2.72	2.86	2.97	2.71	2.82	2.91	2.69	2.78	2.84	2.68	2.75	2.79
<b>9.00</b>	2.7	2.96	3.15	2.67	2.87	3.04	2.65	2.8	2.92	2.63	2.76	2.86	2.62	2.71	2.78	2.61	2.68	2.73
<b>9.50</b>	2.63	2.9	3.11	2.6	2.81	2.99	2.58	2.74	2.87	2.56	2.7	2.81	2.55	2.65	2.73	2.54	2.62	2.68
<b>10.00</b>	2.56	2.85	3.06	2.54	2.76	2.94	2.51	2.68	2.83	2.5	2.64	2.76	2.48	2.59	2.68	2.47	2.56	2.63
<b>10.50</b>	2.5	2.81	3.02	2.47	2.71	2.9	2.45	2.63	2.78	2.44	2.59	2.72	2.42	2.54	2.64	2.41	2.51	2.58
<b>11.00</b>	2.44	2.76	2.98	2.42	2.67	2.86	2.39	2.58	2.74	2.38	2.54	2.68	2.36	2.49	2.59	2.35	2.45	2.54
<b>11.50</b>	2.38	2.72	2.94	2.36	2.62	2.82	2.33	2.54	2.7	2.32	2.49	2.64	2.3	2.44	2.55	2.29	2.4	2.5
<b>12.00</b>	2.33	2.68	2.91	2.3	2.58	2.79	2.28	2.49	2.67	2.26	2.44	2.6	2.25	2.39	2.51	2.23	2.36	2.46
<b>12.50</b>	2.28	2.64	2.87	2.25	2.54	2.75	2.23	2.45	2.63	2.21	2.4	2.56	2.19	2.35	2.48	2.18	2.31	2.42
<b>13.00</b>	2.23	2.61	2.84	2.2	2.5	2.72	2.18	2.41	2.6	2.16	2.36	2.53	2.14	2.3	2.44	2.13	2.27	2.39
<b>13.50</b>	2.18	2.57	2.81	2.15	2.47	2.68	2.13	2.37	2.56	2.11	2.32	2.49	2.09	2.26	2.41	2.08	2.23	2.35
<b>14.00</b>	2.13	2.54	2.78	2.11	2.43	2.65	2.08	2.34	2.53	2.07	2.29	2.46	2.05	2.23	2.38	2.03	2.19	2.32

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos. Tabla 1.7



**TABLA 50.**

Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo lateral

Espesor de Losa	K de la Subrasante pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	Tridem
<b>4.00</b>	3.94	4.03	4.06	3.91	3.95	3.97	3.88	3.89	3.88	3.86	3.86	3.82	3.82	3.83	3.74	3.77	3.8	3.67
<b>4.50</b>	3.79	3.97	3.95	3.76	3.82	3.85	3.73	3.75	3.76	3.71	3.72	3.7	3.68	3.68	3.63	3.64	3.65	3.56
<b>5.00</b>	3.66	3.91	3.85	3.63	3.72	3.75	3.6	3.64	3.66	3.58	3.6	3.6	3.55	3.55	3.52	3.52	3.52	3.46
<b>5.50</b>	3.54	3.72	3.76	3.51	3.62	3.66	3.48	3.53	3.56	3.46	3.49	3.51	3.43	3.44	3.43	3.41	3.4	3.37
<b>6.00</b>	3.44	3.64	3.68	3.4	3.53	3.58	3.37	3.44	3.48	3.35	3.4	3.42	3.32	3.34	3.35	3.3	3.3	3.29
<b>6.50</b>	3.34	3.56	3.61	3.3	3.46	3.5	3.26	3.36	3.4	3.25	3.31	3.34	3.22	3.25	3.27	3.2	3.21	3.21
<b>7.00</b>	3.26	3.49	3.54	3.21	3.39	3.43	3.17	3.29	3.33	3.15	3.24	3.27	3.13	3.17	3.2	3.11	3.13	3.14
<b>7.50</b>	3.18	3.43	3.48	3.13	3.32	3.37	3.09	3.22	3.26	3.07	3.17	3.2	3.04	3.1	3.13	3.02	3.06	3.08
<b>8.00</b>	3.11	3.37	3.42	3.05	3.26	3.31	3.01	3.16	3.2	2.99	3.1	3.14	2.96	3.03	3.07	2.94	2.99	3.01
<b>8.50</b>	3.04	3.32	3.37	2.98	3.21	3.25	2.93	3.1	3.15	2.91	3.04	3.09	2.88	2.97	3.01	2.87	2.93	2.96
<b>9.00</b>	2.98	3.27	3.32	2.91	3.16	3.2	2.86	3.05	3.09	2.84	2.99	3.03	2.81	2.92	2.95	2.79	2.87	2.9
<b>9.50</b>	2.92	3.22	3.27	2.85	3.11	3.15	2.8	3	3.04	2.77	2.94	2.98	2.75	2.86	2.9	2.73	2.81	2.85
<b>10.00</b>	2.86	3.18	3.22	2.79	3.06	3.11	2.74	2.95	3	2.71	2.89	2.93	2.68	2.81	2.85	2.66	2.76	2.8
<b>10.50</b>	2.81	3.14	3.18	2.74	3.02	3.06	2.68	2.91	2.95	2.65	2.84	2.89	2.62	2.76	2.81	2.6	2.72	2.76
<b>11.00</b>	2.77	3.1	3.14	2.69	2.98	3.02	2.63	2.86	2.91	2.6	2.8	2.84	2.57	2.72	2.77	2.54	2.67	2.71
<b>11.50</b>	2.72	3.06	3.1	2.64	2.94	2.98	2.58	2.82	2.87	2.55	2.76	2.8	2.51	2.68	2.72	2.49	2.63	2.67
<b>12.00</b>	2.68	3.03	3.07	2.6	2.9	2.95	2.53	2.78	2.83	2.5	2.72	2.76	2.46	2.64	2.68	2.44	2.59	2.63
<b>12.50</b>	2.64	2.99	3.03	2.55	2.87	2.91	2.48	2.75	2.79	2.45	2.68	2.73	2.41	2.6	2.65	2.39	2.55	2.59
<b>13.00</b>	2.6	2.96	3	2.51	2.83	2.88	2.44	2.7	2.76	2.4	2.65	2.69	2.36	2.56	2.61	2.34	2.51	2.56
<b>13.50</b>	2.56	2.93	2.97	2.47	2.8	2.84	2.4	2.68	2.73	2.36	2.61	2.66	2.32	2.53	2.58	2.3	2.48	2.52
<b>14.00</b>	2.53	2.9	2.94	2.44	2.77	2.81	2.36	2.65	2.69	2.32	2.58	2.63	2.28	2.5	2.54	2.25	2.44	2.49

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos. Tabla 1.8

**TABLA 51.**

Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y con apoyo lateral.

Espesor de Losa	K de la Subrasante pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	Tridem
<b>4.00</b>	3,28	3,3	3,33	3,24	3,2	3,2	3,21	3,13	3,13	3,19	3,1	3,1	3,15	3,09	3,05	3,12	3,08	3
<b>4.50</b>	3,13	3,19	3,24	3,09	3,08	3,1	3,06	3	2,99	3,04	2,96	2,95	3,01	2,93	2,91	2,98	2,91	2,87
<b>5.00</b>	3,01	3,09	3,16	2,97	2,98	3,01	2,93	2,89	2,89	2,9	2,84	2,83	2,87	2,79	2,79	2,85	2,77	2,75
<b>5.50</b>	2,9	3,01	3,09	2,85	2,89	2,94	2,81	2,79	2,8	2,79	2,74	2,74	2,76	2,68	2,67	2,73	2,65	2,64
<b>6.00</b>	2,79	2,93	3,03	2,75	2,82	2,87	2,7	2,71	2,73	2,68	2,65	2,76	2,65	2,58	2,58	2,62	2,54	2,54
<b>6.50</b>	2,7	2,86	2,97	2,65	2,75	2,82	2,61	2,63	2,67	2,58	2,57	2,59	2,55	2,5	2,5	2,52	2,45	2,45
<b>7.00</b>	2,61	2,79	2,82	2,56	2,68	2,76	2,52	2,56	2,61	2,49	2,5	2,56	2,46	2,42	2,43	2,43	2,38	2,37
<b>7.50</b>	2,53	2,73	2,87	2,48	2,62	2,72	2,44	2,5	2,56	2,41	2,44	2,47	2,38	2,36	2,37	2,35	2,31	2,31
<b>8.00</b>	2,46	2,68	2,83	2,41	2,56	2,67	2,36	2,44	2,51	2,33	2,38	2,42	2,3	2,3	2,32	2,27	2,24	2,25
<b>8.50</b>	2,39	2,62	2,79	2,34	2,51	2,63	2,29	2,39	2,47	2,26	2,32	2,38	2,22	2,24	2,27	2,2	2,18	2,2
<b>9.00</b>	2,32	2,57	2,75	2,27	2,46	2,59	2,22	2,34	2,43	2,19	2,27	2,34	2,16	2,19	2,23	2,13	2,13	2,15
<b>9.50</b>	2,26	2,52	2,71	2,21	2,41	2,55	2,16	2,29	2,39	2,13	2,22	2,3	2,09	2,14	2,18	2,07	2,08	2,11
<b>10.00</b>	2,2	2,47	2,67	2,15	2,36	2,51	2,1	2,25	2,35	2,07	2,18	2,26	2,03	2,09	2,15	2,01	2,03	2,07
<b>10.50</b>	2,15	2,43	2,64	2,09	2,32	2,48	2,04	2,2	2,32	2,01	2,14	2,23	1,97	2,05	2,11	1,95	1,99	2,04
<b>11.00</b>	2,1	2,39	2,6	2,04	2,28	2,45	1,99	2,16	2,29	1,95	2,09	2,2	1,92	2,01	2,08	1,89	1,95	2
<b>11.50</b>	2,05	2,35	2,57	1,99	2,24	2,42	1,93	2,12	2,26	1,9	2,05	2,16	1,87	1,97	2,05	1,84	1,91	1,97
<b>12.00</b>	2	2,31	2,54	1,94	2,2	2,39	1,88	2,09	2,23	1,85	2,02	2,13	1,82	1,93	2,02	1,79	1,87	1,94
<b>12.50</b>	1,95	2,27	2,51	1,89	2,16	2,36	1,84	2,05	2,2	1,81	1,98	2,11	1,77	1,89	1,9	1,74	1,84	1,91
<b>13.00</b>	1,91	2,23	2,48	1,85	2,13	2,33	1,79	2,04	2,17	1,76	1,95	2,08	1,72	1,86	1,96	1,7	1,8	1,88
<b>13.50</b>	1,86	2,2	2,46	1,81	2,09	2,3	1,75	1,98	2,14	1,72	1,91	2,05	1,68	1,83	1,93	1,65	1,77	1,86
<b>14.00</b>	1,82	2,17	2,43	1,76	2,06	2,28	1,71	1,95	2,12	1,67	1,88	2,03	1,64	1,8	1,91	1,61	1,74	1,83

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos. Tabla 1.9

**TABLA 52.**

Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y con apoyo lateral.

Espesor de Losa pulgadas	K de la Subrasante pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem	sencillo	tándem	tridem
<b>4.00</b>	3,46	3,49	3,5	3,42	3,39	3,38	3,38	3,32	3,3	3,36	3,29	3,25	3,32	3,26	3,21	3,28	3,24	3,16
<b>4.50</b>	3,32	3,39	3,4	3,28	3,28	3,28	3,24	3,19	3,18	3,22	3,16	3,13	3,19	3,12	3,08	3,15	3,09	3,04
<b>5.00</b>	3,2	3,3	3,32	3,16	3,18	3,19	3,12	3,09	3,08	3,1	3,05	3,03	3,07	3	2,97	3,04	2,97	2,93
<b>5.50</b>	3,1	3,22	3,26	3,05	3,1	3,11	3,01	3	3	2,99	2,95	2,94	2,96	2,9	2,87	2,93	2,86	2,83
<b>6.00</b>	3	3,15	3,2	2,95	3,02	3,05	2,9	2,92	2,92	2,88	2,87	2,86	2,86	2,81	2,79	2,83	2,77	2,74
<b>6.50</b>	2,91	3,08	3,41	2,86	2,96	2,99	2,81	2,85	2,86	2,79	2,79	2,79	2,76	2,73	2,72	2,74	2,68	2,67
<b>7.00</b>	2,83	3,02	3,09	2,77	2,9	2,94	2,73	2,78	2,8	2,7	2,72	2,73	2,68	2,66	2,65	2,65	2,61	2
<b>7.50</b>	2,76	2,97	3,05	2,7	2,84	2,89	2,65	2,72	2,75	2,62	2,66	2,67	2,6	2,59	2,59	2,57	2,54	2,54
<b>8.00</b>	2,69	2,92	3,01	2,6	2,79	2,84	2,57	2,67	2,7	2,55	2,61	2,62	2,52	2,53	2,54	2,5	2,48	2,48
<b>8.50</b>	2,63	2,88	2,97	2,56	2,74	2,8	2,51	2,62	2,65	2,48	2,55	2,58	2,45	2,48	2,49	2,43	2,43	2,43
<b>9.00</b>	2,57	2,83	2,94	2,5	2,7	2,77	2,44	2,57	2,61	2,42	2,51	2,53	2,39	2,43	2,44	2,36	2,38	2,38
<b>9.50</b>	2,51	2,79	2,91	2,44	2,65	2,73	2,38	2,53	2,58	2,36	2,46	2,49	2,33	2,38	2,4	2,3	2,33	2,34
<b>10.00</b>	2,46	2,75	2,88	2,39	2,61	2,7	2,33	2,49	2,54	2,3	2,51	2,46	2,27	2,34	2,36	2,24	2,28	2,29
<b>10.50</b>	2,41	2,72	2,85	2,33	2,58	2,67	2,27	2,45	2,51	2,24	2,38	2,42	2,21	2,3	2,32	2,19	2,24	2,26
<b>11.00</b>	2,36	2,68	2,83	2,28	2,54	2,65	2,22	2,41	2,48	2,19	2,34	2,39	2,16	2,26	2,29	2,14	2,2	2,22
<b>11.50</b>	2,32	2,65	2,8	2,24	2,51	2,62	2,17	2,37	2,54	2,14	2,31	2,36	2,11	2,22	2,26	2,09	2,16	2,19
<b>12.00</b>	2,28	2,62	2,78	2,19	2,48	2,59	2,13	2,34	2,45	2,1	2,27	2,33	2,06	2,19	2,23	2,01	2,13	2,16
<b>12.50</b>	2,24	2,59	2,76	2,15	2,45	2,57	2,09	2,31	2,4	2,05	2,24	2,31	2,02	2,15	2,2	1,99	2,1	2,13
<b>13.00</b>	2,2	2,56	2,74	2,11	2,42	2,55	2,04	2,28	2,38	2,01	2,21	2,28	1,98	2,15	2,17	1,95	2,06	2,1
<b>13.50</b>	2,16	2,53	2,72	2,08	2,39	2,53	2	2,25	2,35	1,97	2,18	2,26	1,93	2,09	2,15	1,91	2,03	2,07
<b>14.00</b>	2,13	2,51	2,7	2,04	2,36	2,51	1,97	2,23	2,33	1,93	2,15	2,24	1,89	2,06	2,12	1,87	2	2,05

Tomado de Pavimentos de Concreto. CEMEX Concretos. Tabla 1.10

**FIGURA 47**  
Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS

**FIGURA 48.**  
Análisis de erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS

**FIGURA 49.**  
Análisis de erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, con apoyo lateral). CEMEX CONCRETOS

### ANEXO 3.-

#### Tamaños Típicos de Tamices

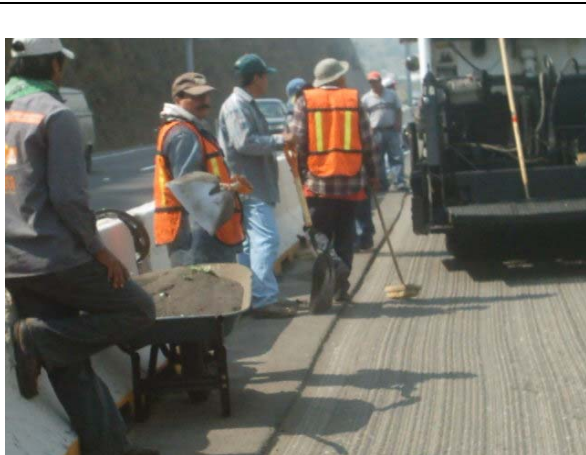
Designación de Tamices para Agregados Gruesos		Designación de Tamices para Agregados Finos	
Sistema Métrico	Designación AASHTO	Sistema Métrico	Designación AASHTO
63 mm	2 ½" (pulgadas)	2.36mm	No. 8
50mm	2" (pulgadas)	2.00mm	No. 10
37.5mm	1 ½" (pulgadas)	1.18mm	No. 16
25.0mm	1" (pulgadas)	0.60mm	No. 30
19.0mm	¾" (pulgadas)	0.42mm	No. 40
12.5mm	½" (pulgadas)	0.30mm	No. 50
9.5mm	3/8" (pulgadas)	0.15mm	No. 100
4.75mm	No. 4	0.075mm	No. 200

**ANEXO 4.-**

**FOTOGRAFÍAS DE LA REHABILITACIÓN**

	
<p>Labor de topografía para definir los espesores de corte de carpeta asfáltica deteriorada</p>	<p>Corte del espesor definido (variable de 5 a 10 cm)</p>
	
<p>Corte y carga de material fresado</p>	<p>Limpieza de superficie rayada o fresada</p>





Barrido de superficie fresada



Carga de material de fresado



Riego de Impregnación sobre la superficie fresada



Poréo sobre el riego de impregnación



Carga de concreto asfáltico a la pavimentadora (Finisher)



Temperatura de tendido del concreto asfáltico de la Base Negra (130-150°C)



Rastrilléo del concreto asfáltico tendido de la base negra



Compactación de la base negra con la máquina de rodillos

Compactación de la base negra con la máquina de neumáticos



Concreto asfáltico de la base negra

Espesor promedio del tendido de la base negra





Prueba de Permeabilidad de la base negra



Riego de liga para la adherencia de la base negra y la microcarpeta



Tendido y rastrilleo de microcarpeta (3cm de espesor)



Rastrilléo para regular la regularidad del tendido de la microcarpeta



Compactacion de Microcarpeta





Pruebas de permeabilidad para definir la razón del riego de taponamiento para impermeabilizar la microcarpeta



Apariencia de la microcarpeta antes de colocar el riego de taponamiento

Riego de taponamiento



Rompimiento del riego de taponamiento

Apariencia de la superficie con el riego de taponamiento cuando ya rompió la emulsión



Clasificación de la textura de la capa de rodamiento con el método del círculo de arena.



Prueba del péndulo británico para medir el coeficiente de fricción de la capa asfáltica



Pavimento rehabilitado y puesto en servicio

## **GLOSARIO**

**AGREGADO:** Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**AGREGADO GRUESO:** Material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8)

**AGREGADO FINO:** Material que pasa el tamiz de 2.36mm (No. 8)

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials, o sea Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

**ASTM:** American Society for Testing Materials, o sea Asociación Americana para el Ensayo de Materiales

**BACHEO:** Operación específica de conservación cuyo objeto es la eliminación de un bache.

**CARRIL DE PROYECTO:** Carril por el que en una calzada circula el mayor número de vehículos pesados.

**COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA:** Cociente entre los espesores de dos capas de diferente naturaleza que se supone que aportan la misma capacidad estructural.

**CONCESIONARIO:** Persona física o moral a la que se le adjudique la concesión para la construcción, operación y explotación de la infraestructura carretera.

**CUNETETA:** Pequeño canal que se utiliza para drenar agua por los costados del camino.

**DETERIORO:** Alteración producida en la superficie de un pavimento, detectable visualmente y producida por un defecto de construcción o por la acción del tráfico, del agua o de las acciones climáticas.

**ESAL:** Equivalent Standard Axle Loads, o sea Cargas Equivalentes de Ejes Sencillos estándar de 8.2 toneladas

**ESTADO DE LA CARRETERA:** La condición en que se encuentra la carretera. La terminología recomendada consiste de:



**ESTADO MUY BUENO:** Una condición equivalente a la que es atribuible a una carretera inmediatamente después de su construcción original.

**ESTADO BUENO:** Una condición que corresponde a una carretera recién abierta al tránsito con poco desgaste que requerirá mantenimiento rutinario en el futuro próximo.

**ESTADO REGULAR:** Una condición equivalente a la que es atribuible a una carretera con poca deterioración pero que requiere mantenimiento rutinario en forma inmediata.

**ESTADO MALO:** Una condición deteriorada que requiere obras de rehabilitación para restaurar la carretera a una condición de muy buena.

**ESTADO MUY MALO:** Una condición pésima que requiere la reconstrucción integral de la carretera para restaurarla a una condición de muy buena.

**FRESADO:** Levantamiento de los materiales del pavimento en una cierta profundidad mediante una fresadora, es decir, mediante un equipo provisto de un tambor de picas.

**FUNCIONALIDAD:** Cualidad que debe cumplir un camino para proporcionar un buen servicio.

**HOMBRO:** Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.

**INFRAESTRUCTURA.-** Conjunto de obras que prestan un servicio a la comunidad.

**IRI:** International Roughness Index, o sea el Índice Internacional de Rugosidad

**INSPECCIÓN VISUAL:** Reconocimiento de un pavimento llevado a cabo por un técnico experto destinado a identificar los posibles deterioros del pavimento y los elementos del entorno que puedan influir en el estado del firme.

**LEVANTAMIENTO:** Mediciones hechas en campo para poder determinar un plano ó croquis de los puentes.

**OPERADOR:** Persona física o moral contratada por el concesionario para realizar las funciones de operación y / o explotación de la infraestructura carretera concesionada

**PCA:** Portland Cement Association, o sea la Asociación de Cemento Portland

**PERÍODO DE SERVICIO:** Período de tiempo considerado para el proyecto y dimensionamiento de la rehabilitación estructural de un firme.

**PESO VEHICULAR:** Peso de un vehículo o combinación vehicular con accesorios, en condiciones de operación, sin carga.

**POLVO MINERAL:** Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No. 200.)

**RASANTE:** Proyección del eje de la corona de una carretera sobre un eje vertical.

**RECONSTRUCCIÓN:** Trabajo mayor de rehabilitación de una carretera en mal estado, para restablecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente.

**REHABILITACIÓN:** Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida originalmente.

**RELLENO MINERAL:** Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60mm.

**REMOLQUE:** Vehículo con eje delantero y trasero no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor, o acoplado a un semirremolque.

**RUGOSIDAD:** La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.

**SELLADO DE GRIETAS:** Actuación de conservación localizada en las grietas para impedir el paso del agua a través de ellas y limitar en la medida de lo posible los movimientos de sus bordes.

**SEMIRREMOLQUE:** Vehículo sin eje delantero, destinado a ser acoplado a un tractocamión de manera que sea jalado y parte de su peso sea soportado por éste.

**TDPA:** Tránsito Diario Promedio Anual



**TRAMO HOMOGÉNEO:** Segmento de carretera que tiene idéntica sección estructural del firme (naturaleza y espesor de las capas), realizada en el mismo o los mismos años, y sobre el que circula un tráfico pesado de la misma categoría.

**TRÁNSITO O TRÁFICO:** Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc.

**TRACTOCAMIÓN:** Vehículo automotor destinado a soportar y jalar semirremolques y remolques.

**TRACTOCAMIÓN ARTICULADO:** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión y un semirremolque, acoplados por mecanismos de articulación.

**TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO:** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión, un semirremolque y un remolque, acoplados por mecanismos de articulación.

**VEHÍCULO PESADO:** Se incluyen en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

**VIDA RESIDUAL:** Período de tiempo que le queda de vida útil a un pavimento o a alguna de sus capas.

**VIDA ÚTIL:** Período de tiempo en el que el pavimento (o la capa del pavimento considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.

## **REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA**

**REF\*1.-** DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. PRIMERA PARTE. ING. MANUEL ZÁRATE AQUINO. ASOCIACIÓN MEXICANA DE ASFALTO. PP.135. MÉXICO, AGOSTO DE 2003

**REF\*2.-** PRIMER FORO INTERAMERICANO PARA LA PROMOCIÓN Y EL DESARROLLO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

**REF\*3.-** DIAGNÓSTICO GENERAL SOBRE LA PLATAFORMA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DE CARGA EN MÉXICO. CARLOS MARTNER PEYRELONGUE, JOSÉ ARTURO PÉREZ SÁNCHEZ, ALFONSO HERRERA GARCÍA. PUBLICACIÓN TÉCNICA NO. 233, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SANFANDILA, QRO., 2003

**REF\* 4:** DISEÑO DE PAVIMENTOS. CAPÍTULO 4. ALEJANDRO PADILLA RODRÍGUEZ.

**REF\*5:** ESTADO DE RESULTADOS 2006. SUBDIRECCIÓN DE INVERSIÓN EN AUTOPISTAS. PROMOTORA INBURSA S. A. DE C. V. (SE AGRADECE LA DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN A LA ADMINISTRACIÓN DE LA AUTOPISTA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE DOCUMENTO)

**REF\* 6:** CEMEX REVISTA OCTUBRE 2005

**REF\* 7:** GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO. NOTAS TÉCNICAS PARA CONSTRUCCIÓN. BOLETÍN N° 18 - MAYO DE 2002. INFORMACIÓN RECOPIADA Y ADAPTADA POR EL INGENIERO ROBERTH ALEJANDRO QUINTERO RODRÍGUEZ, COORDINADOR DEL SERVICIO TÉCNICO DE DICENTE LTDA. Y CEMENTOS DEL VALLE S.A.

**REF\*8:** “LA REESTRUCTURACIÓN DE LA RED AEROPORTUARIA NACIONAL”, PREPARADA POR EL M. EN I. ÓSCAR A RICO GALEANA, DE LA COORDINACIÓN OPERATIVA.

**REF\*9:** “REVISTA IC. INGENIERÍA CIVIL. CICM. NUM. 404 / AÑO LIII/DICIEMBRE 2002. ARTÍCULO: FERROCARRIL. PERSPECTIVA AL AÑO 2025.

**REF\*10:** MODULUS FOR AASHTO GUIDE FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN. ([HTTP://WWW.GEOCITIES.COM/TECHNICS/SOILSRR3.HTM](http://www.geocities.com/technics/soilsrr3.htm))

**REF \*11:** [HTTP://WWW.ANTP.ORG.MX/REV/NOVABRIL03/SAT.HTML](http://www.antp.org.mx/rev/novabril03/sat.html)

**REF\*12:** [HTTP://WWW.EDOMEXICO.GOB.MX/NEWWEB/ARCHIVO%20GENERAL /CONTEXTO/REPORTAJE/COMUNICACIONES.HTM](http://www.edomexico.gob.mx/newweb/archivo%20general/contexto/reportaje/comunicaciones.htm)

**REF\*13:** [HTTP://WWW.GEOCITIES.COM/TECHNICS/SOILSRR3.HTM](http://www.geocities.com/technics/soilsrr3.htm)

**REF\*14:** [HTTP://WWW.CDDHCU.GOB.MX/BIBLIOT/PUBLICA/INVEYANA /ECONYCOM/AEREO.HTM#2](http://www.cddhcu.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/econycom/aereo.htm#2)

**REF\*15:** MANUAL DE CALIDAD. COMPILACION DE INVESTIGACIONES SOBRE MANTENIMIENTO VIAL. ING. CARLOS ESQUIVEL TORRES.

**REF\*16:** DEFECTOS EN EL CONCRETO JULIO 2005 14. EDITADO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

**REF\*17:** CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL. IQUITOS. OCTUBRE 2003. "INFORME SOBRE LA NUEVA GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS DEL 2002, QUE CORRESPONDE AL PROYECTO I-37 A DE LA NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP).

**REF\*18:** CONCRETO. DISEÑO PLÁSTICO. TEORÍA ELÁSTICA. SEGUNDA EDICIÓN. CORREGIDA Y AUMENTADA. EDITORIAL PATRIA. ING. MARCO AURELIO TORRES H. MÉXICO D. F: 1968

**REF\*19:** M5.2. CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS. COLECCIÓN DE DOCUMENTOS. VOLUMEN N° 12. 2002. CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA

**REF\*20:** AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRCUTURES. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. 1986

**REF\*21:** INFORME DE LABORATORIO CONCRETO, MADERA Y BLOQUES

**REF\*22.** MECÁNICA DE SUELOS. TOMO II. JUÁREZ BADILLO EULALIO; RICO RODRÍGUEZ ALFONSO. 3ª. EDICIÓN. 1992.

**REF\*23:** CAPÍTULO 3. MEZCLAS ASFÁLTICAS. ALEJANDRO PADILLA RODRÍGUEZ. 40. (PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES ART. 542 Y 543 PG-3.)

**REF\*24:** ESTUDIO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LA AUTOPISTA CHAMAPA – LA VENTA. GEOSOL S. A. DE C. V. 2005.

**REF\*25:** EMULSIONES ASFÁLTICAS. 4ª. EDICIÓN. EDITORIAL ALFAOMEGA. MÉXICO D. F. 1998. GUSTAVO RIVERA E.

**REF\*26:** **ASPHALT SURFACE, THE ASPHALT INSTITUTE MANUAL MS-13.**

**REF\*27:** CUADERNOS DIDÁCTICOS AÑO 1 NÚMERO 2 CATEDRA DEL CEMENTO CEMEX. 2004. REVISTA EL MUNDO DEL CEMENTO

**REF\*29:** PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN, SECOND EDITION, JOHN WILEY & SONS. INC. E. J. YODER AND M. W. WITCZAK

**REF\*30:** MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS. DOCUMENTO TECNICO NO. 1. SAFANDILA, QRO. 1990. SCT. IMT. ALFONSO RICO RODRÍGUEZ. JUAN MANUEL OROZCO Y OROZCO. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ. ALFREDO PEREZ GARCIA.

**REF\*32:** RELACIÓN ENTRE RUIDO Y TEXTURA EN PAVIMENTOS CON DESGASTE EN CURSO. INSTITUTO NACIONAL SUECO DE INVESTIGACIONES DE TRANSPORTE Y CARRETERA: JERZY EJSOMT. LIBRO: LLANTA / CAMINO – RUIDO

**REF\*33:** ARTÍCULO CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. M. ZARATE A. GEOSOL, S.A. de C. V.

**REF\*34:** INFLUENCIA DE LA SUCCIÓN EN LOS CAMBIOS VOLUMÉTRICOS DE UN SUELO COMPACTADO. PUBLICACIÓN TÉCNICA NO. 239. SANFANDILA, QRO, 2004.

**REF\*35:** ESTUDIO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT (SMA) MEDIANTE UN TRAMO DE PRUEBA. ROSA ZÚÑIGA CALDERÓN. ING. EJEC. QUÍMICO. JEFE SUBUNIDAD QUÍMICA Y ASFALTO. LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. (CHILE). MARCELO ÁVILA MOENNE CONSTRUCTOR CIVIL (MEMORISTA) UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO.

**REF\*37:** EL INDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL. FRANCISCO ACHÚTEGUI V., RAMÓN CRESPO R. REVISTA RUTA (IFI). MADRID, ESPAÑA, MARZO-ABRIL 1996.

**REF\*38:** CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL EN CARRETERAS DE MÉXICO. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. DIANA BERENICE LÓPEZ VALDÉS. PAUL GARNICA ANGUAS. PUBLICACIÓN TÉCNICA NO.170. SANFANDILA, QRO. 2002

**REF\*39:** INFORME IPRF-01-G-002-1 MEJORES PRÁCTICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON CEMENTO PÓRTLAND (PAVIMENTO RÍGIDO PARA AEROPUERTOS). INVESTIGADORES PRINCIPALES. DR. STARR D. KOHN, P.E., SOIL AND MATERIALS ENGINEERS, INC., DR. SHIRAZ TAYABJI, P.E., CONSTRUCTION TECHNOLOGY LABORATORIES, INC. OFICINA DE GESTIÓN DE PROGRAMAS 1010 MASSACHUSETTS AVENUE, N.W. SUITE 200 WASHINGTON, DC 20001 ABRIL DE 2003

**REF\*40:** ARTÍCULO SOBRE DEFECTOS EN EL CONCRETO. CAPÍTULO 14. CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONCRETO. IMCYC. (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO). JULIO 2005.

**REF\*41:** CAPÍTULO 5. MANTENIMIENTO VIAL. ESTUDIO INTEGRAL DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO DE LA ZONA CONURBADA DE TAMPICO, MADERO Y ALTAMIRA, TAMP. 2ª ETAPA. SEDESOL

**REF\*42:** EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA EN CONCRETOS ASFÁLTICOS POR CONTACTOS DE SUSTANCIAS AGRESIVAS. PAUL GARNICA ANGUAS, ALFONSO ALVAREZ MANILL ACEVES, FRANCISCO JAVIER BÁEZ ANDRADE. PUBLICACIÓN TÉCNICA NO. 171. SANFANDILA, QRO, 2001

**REF\*43:** ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO A.C. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. CURSOS TÉCNICOS REGIONALES DE ACTUALIZACIÓN SOBRE “TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTACIÓN” MORTEROS ASFÁLTICOS Y MICROCAPETAS EN FRÍO. ING IGNACIO CREMADES I. SURFAX S.A.

**REF\*44:** RESUMEN DEL DOCUMENTO: ALGUNOS ASPECTOS DE LAS MEDICIONES DE FRICCIÓN EN CARRETERAS MEXICANAS. PAUL GARNICA ANGUAS, RICARDO SOLORIO MURILLO. INVESTIGADORES, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.