



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO DE REPAVIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA VIDA
REMANENTE DEL PAVIMENTO EN LA CASETA DE ACATLÁN II
(AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA).**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

PRESENTA:

ING. JUAN CARLOS ROSAS GUZMÁN

DIRECTOR DE TESINA: **ING. ROBERTO SOSA GARRIDO**

MÉXICO, D.F.

JUNIO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme dado la fuerza de siempre seguir adelante y poner a la gente indicada en el momento indicado.

A mi madre quien ha sabido el cómo y cuándo de un regaño o premio, la persona que convirtió en mí un hombre de bien y aunque está lejos, siempre está pendiente continuamente de mí dándome consejos oportunos.

A mi prometida que siempre estuvo en los momentos buenos y difíciles, siempre con palabras que reforzaban mi espíritu.

A mi Abuela, Hermanos y Familia por siempre alentarme, escuchar mis problemas y encontrar siempre una solución.

Al Ing. Roberto Sosa Garrido por haberme transmitido su amplio conocimiento y experiencia en el ámbito de los pavimentos y por dirigir mi trabajo de titulación.

A todas las personas que confiaron, creyeron, me apoyaron e hicieron posible éste trabajo.

Juan Carlos Rosas Guzmán

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1

MARCO CONTEXTUAL

- 1.1 Planteamiento del problema
- 1.2 Justificación
- 1.3 Objetivos
- 1.4 Antecedentes
 - 1.4.1 Ubicación
 - 1.4.2 Orografía
 - 1.4.3 Región Natural
 - 1.4.4 Descripción del Lugar

CAPITULO 2

METODOLOGÍA DE DISEÑO

- 2.1 Plaza de cobro Acatlán
- 2.2 Deflectómetro de Impacto (FDW)
 - 2.2.1 Ensayos a Nivel de Carreteras
- 2.3 Método de Diseño AASTHO 1993
 - 2.3.1 Factores que Intervienen en el Diseño del Pavimento Flexible por el Método AASTHO 1993
- 2.4 Información del Estado del Pavimento
 - 2.4.1 Deflexiones para el Diseño
 - 2.4.2 Tránsito del Proyecto
 - 2.4.3 Consideraciones Estructurales del Pavimento
- 2.5 Solución del Problema

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el diseño óptimo de la estructura de los pavimentos así como la geometría de una vialidad es de imperiosa importancia, el buen funcionamiento de estas dos vertientes hace que el traslado de mercancías sea de manera más rápida, eficiente, segura y económica.

A lo largo del desarrollo humano se han utilizado las vías de comunicación las cuales sirven para trasladar bienes y servicio. El mantenimiento y el diseño de los pavimentos se han venido mejorando, creando métodos y aparatos para medir diferentes propiedades que ayudan a la toma de decisiones correctas y oportunas. Unas de estas técnicas es el Deflectómetro de Impacto que es capaz de medir el módulo de rigidez elástico de las diferentes capas (M_R) mediante la deflexión del pavimento.

Con ayuda del método AASTHO 1993 para el diseño de pavimentos de tipo asfáltico con diversas soluciones de base y los datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto se pretende verificar la capacidad estructural del tramo carretero actual con la proyección del tránsito de proyecto que albergará la plaza de cobro Acatlán II, ubicada en la autopista Guadalajara-Colima. Asimismo se presentará una serie de soluciones estructurales para la adecuada interacción tránsito-estructura, sin que ello produzca la falla al pavimento.

75D=H @C`%A5F7C`7CBH9LHI 5 @

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se observa que en el tramo carretero correspondiente a la autopista Guadalajara-Colima ha tenido un incremento no considerando en la proyección del tránsito, puntualmente en la zona de Acatlán, debido a la incorporación de caminos clandestinos que van directamente a la carretera, aumentando el volumen del tránsito.

Por tal motivo es de imperiosa necesidad regular la zona mediante la colocación de una plaza de cobro y evaluar la capacidad estructural del pavimento, recalculando la proyección del tránsito y el tipo y espesores de las diferentes capas del pavimento.

Derivándose la siguiente pregunta ¿Es suficiente el espesor de capa que actualmente existe para el tránsito dado?, ¿En caso de no serlo que espesor es el indicado para una vida útil de 15 años?

JUSTIFICACIÓN

Al observar la necesidad de conservación de la autopista en su tramo de Acatlán y el tránsito que se pueda trasladar de manera eficiente y con el menor costo los bienes y servicios, es necesario evaluar la capas del pavimento conllevando una solución óptima entre el tránsito y el nivel estructural del pavimento.

Con esta investigación y de realizarse la construcción, ofrecerá, por una parte los elementos de diagnóstico que permitirán establecer las condiciones para un funcionamiento adecuado del pavimento, evitando con ello fallas estructurales y de servicio del mismo.

En referencia a lo anterior se pretende obtener el módulo de rigidez elástico de la carpeta asfáltica y el de la subrasante y con ayuda el método AASTHO 1993 diseñar la estructura suficiente y más económica para soportar el tránsito proyectado, considerando una vida útil de 15 años. Sin embargo también es posible, de acuerdo a los análisis, la posibilidad de una restructuración del mismo.

OBJETIVO

Contribuir con una solución rentable a la capacidad estructural correspondiente al pavimento ubicado en la zona de Acatlán y cumpla con los niveles óptimos de servicio, referentes a las normas vigentes de la SCT. Contribuyendo a la movilización adecuada de bienes y servicios en la zona de estudio.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 UBICACIÓN

El Estado de Jalisco se encuentra situado en la zona occidental del país. Colinda con el Estado de Nayarit hacia el noroeste; Zacatecas y Aguascalientes hacia el norte; Guanajuato y San Luis Potosí hacia el este y Colima y Michoacán hacia el sur. Hacia el poniente, Jalisco tiene una importante franja costera en el océano Pacífico. Figura 01

Jalisco es la cuarta entidad federativa más poblada de México y uno de los Estados más desarrollados en el país en cuanto a actividades económicas, comerciales y culturales. En ciertas partes de la capital y de algunos municipios el nivel de vida es comparable a países como España e Italia, pero al igual que en el resto de México no es representativo de todos los municipios. Su capital es Guadalajara, cuya zona metropolitana está compuesta por los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco, El Salto, Ixtlahuacán de los Membrillos y Juanacatlán, haciendo de ésta la segunda aglomeración urbana más grande de México después de la capital. Es la tierra de los charros, jaripeos, palenques, mariachi, tequila y muchas de las tradiciones que en el mundo se asocian con lo auténticamente mexicano.



FIGURA 01 "PROYECCIÓN DEL ESTADO DE JALISCO SOBRE LA REPUBLICA MEXICANA"

IMAGEN TOMADA DEL RED NOTICIERO:

www.jalisco-rednoticiero.com

1.4.2 OROGRAFÍA

El relieve Jalisciense es el resultado de los procesos de compresión y los ascensos de las fuerzas internas de la tierra. Las fuerzas externas, denominadas en conjunto agentes de erosión, son las encargadas de pulir, tallar y moldear las rocas de los sistemas montañosos de depositar los materiales sueltos formando los valles.

Jalisco se encuentra entre cuatro sistemas montañosos estos son:

- 1) El eje volcánico - integrado en el interior del estado. La Mesa Central y La Sierra Madre Occidental, que ocupan la región más al norte del estado. La Sierra Madre del Sur en el occidente, ocupando las partes más al sur. Representados en la Fig. 02
- 2) *Eje Neovolcánico*: Presenta amplias cuencas cerradas ocupadas por algunos lagos (Pátzcuaro, Cuitzeo, Texcoco, el Carmen, etc.), En Jalisco se extiende por su parte central. Entra por Mazamitla y abandona el estado por Cabo Corrientes, entre sus principales ejemplares se cuentan: el Volcán Colima o de Fuego de 3,960m. de altitud, con manifestaciones permanentes de erupción, varios volcanes inactivos como el de Tequila (3000 m de altitud), el Ameca, la Higuera, el Volcán Nevado (4,330m. de altitud) el Colli y la Reyna, el eje Neovolcánico está integrado asimismo por las sierras de El Tigre, Mascota, Quila, El Colli, Ameca, García, Zapotlán, El Tecuán, Mochitiltic, Atenguillo, Tlajomulco, Tesistán y La Primavera. El eje cuenta también con valles y planicies, entre las principales están: Tesistán - Atemajac, Zacoalco - Sayula-Zapotlán, La Barca, Ocotlán y Ameca-Tala, en esta zona existe una gran cantidad de manantiales termales que manifiestan su actividad cerca y dentro del Lago de Chapala.
- 3) *Sierra Madre Occidental*: En el territorio nacional abarca parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Nayarit, Aguascalientes y Jalisco. En Jalisco presenta dos subprovincias: la de Las mesetas y Cañones del Sur. Y la de las Sierras y Valles Zacatecanos. Cubre las comarcas situadas al norte del río Santiago, quedando su frontera sur - oriental al norte de la ciudad de Tequila. Forman parte de la espina dorsal de la Sierra Madre Occidental.

Están formadas por altas mesetas, interrumpidas por profundos cañones. Los suelos son de origen aluvial y residual, con climas templados. La sub-provincia de las Sierras y Valles zacatecanos ocupa porciones del noreste de Jalisco con una extensión de 3,711 kilómetros cuadrados.



FIGURA 02 “DIVISIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS MONTAÑOSOS DEL ESTADO DE JALISCO”

IMAGEN TOMADA DE INEGI

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/relieve.aspx?tema=me>

1.4.3 REGIÓN NATURAL

Se conoce como región natural aquellas áreas del planeta que presentan características similares, como el clima, la vegetación y la fauna.

Las regiones naturales en México están determinadas por los factores y elementos como el clima, la situación geográfica, orografía, hidrología, entre otros.

De acuerdo por estudios realizados por los biólogos Álvarez y de Lachica, México está dividido en 5 regiones (como lo muestra la Fig. 03):

- 1) Extratropical seca (norte y noreste)
- 2) Tropical alta (mesa del centro y valles altos del sur)
- 3) Tropical baja (costas y vertientes de Sinaloa, las Huastecas y Yucatán)
- 4) Extratropical alta (comprende las sierras madres occidental y oriental)
- 5) Subhúmedo extratropical bajo (comprende el extremo noreste de baja california)

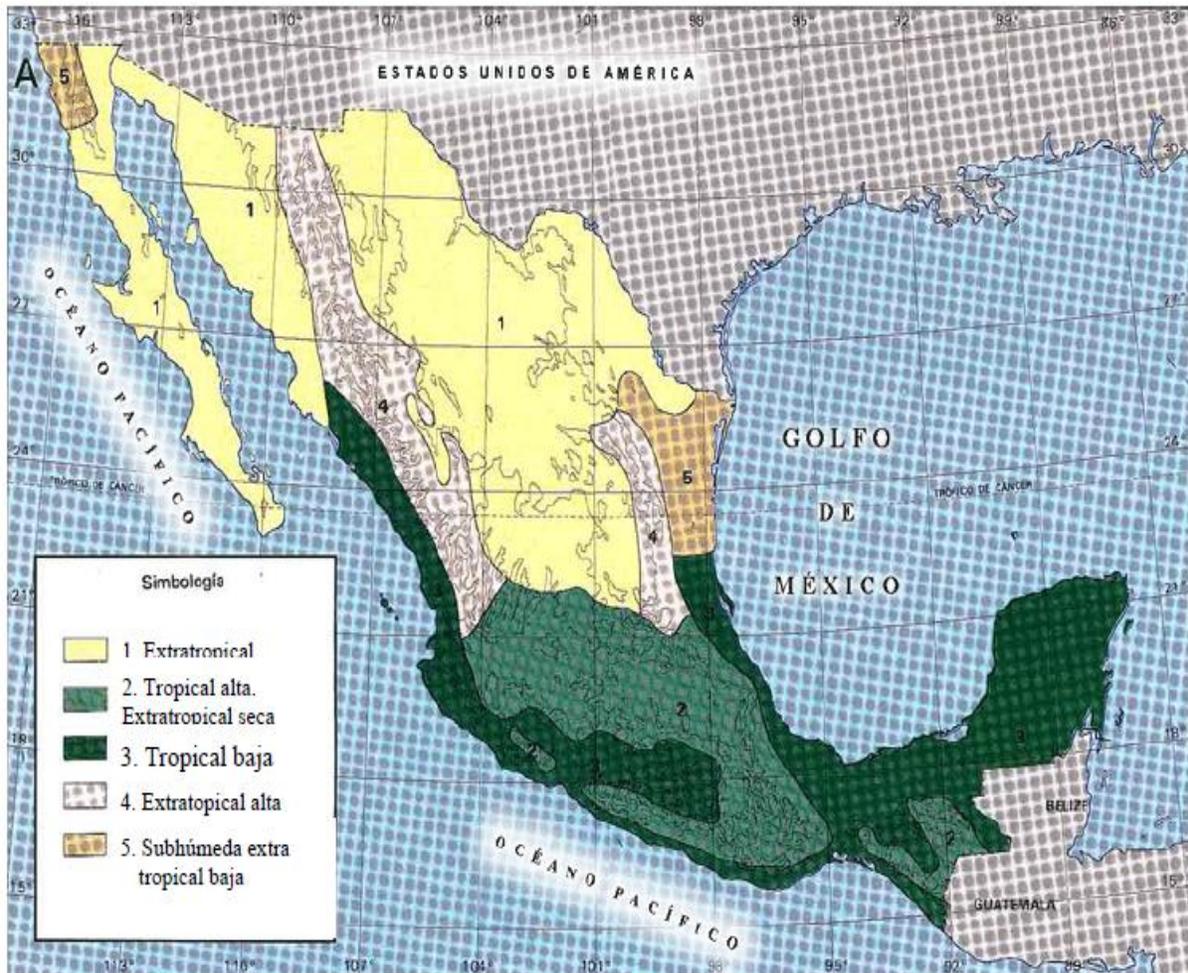


FIGURA 03 "DIVISIÓN GEOGRÁFICA DE REGIONES NATURALES EN LA REPUBLICA MEXICANA"

IMAGEN TOMADA DEL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM

www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/atlas/iv-10-01.jpg

1.4.4 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

Desde el punto de vista geológico el aluvial es el suelo predominante (36.6%), formado por el depósito de materiales sueltos (gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes que han sido transportados por corrientes superficiales de agua.

Así mismo las rocas existentes son basalto, 33.4%, brecha volcánica básica 11.9% riolita 2.5%, toba ácida 0.30% y volcanoclastico 12.4%. Por otro lado el 94.7% de la zona en estudio tiene semicalido semihumedo. La temperatura media anual es de 21.2° C, mientras que sus máximas y mínimas oscilan entre 32.1 °C y 7.5 °C respectivamente. La precipitación media anual es de 900 mm.

En la Fig. 04 se muestra las regiones en que está dividida la zona, en lo que se refiere a su geología. Situando a la zona de la caseta Acatlán II al norte de san Marcos.

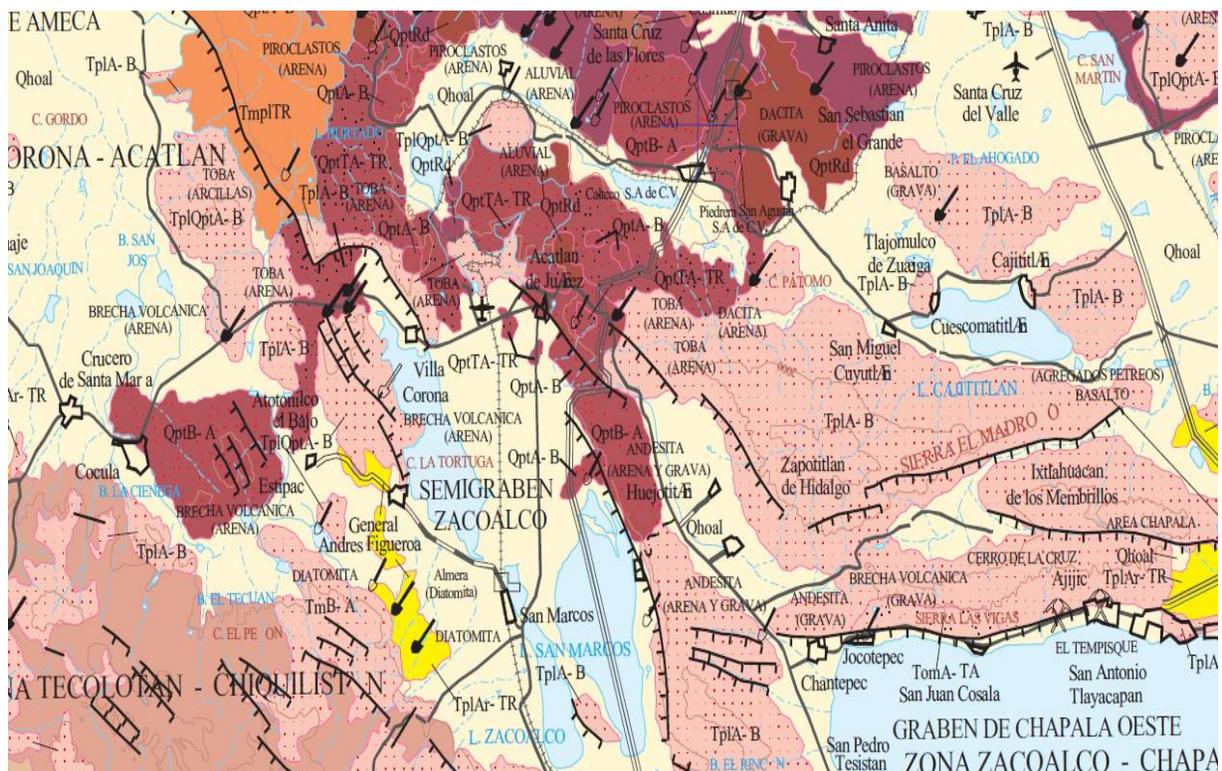


FIGURA 04 "ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ACATLÁN, ESTADO DE JALISCO"

IMAGEN TOMADA DEL SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/estados/geologia/colima_jalisco.html

CAPITULO 2

METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.1 PLAZA DE COBRO ACATLÁN

La nueva caseta de Acatlán II será ubicada en las siguientes coordenadas $20^{\circ} 22' 07.14''$ N y $103^{\circ} 34' 34.29''$ con una elevación de 1357 MSNM, sobre la carretera 54D Guadalajara-Colima.

El tramo carretero se desarrolla entre los estados de Jalisco y Colima, en el occidente de México y forma parte del Eje Transversal Carretero Golfo-Pacífico que comunica a los importantes puertos de Tampico y Manzanillo, bajo la denominación de Carretera Federal Directa de Cuota 54-D.

El Tramo Carretero entró en operación en enero de 1989, y forma parte del Programa Carretero Concesionado, que en 1987, constituyó en Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), institución fiduciaria, bajo el Fideicomiso No.358, modificado mediante convenios posteriores con la SCT, y cuyo objetivo principal consiste en explotar y operar el Tramo Carretero de forma que proporcione a los usuarios condiciones óptimas de comodidad y seguridad.

La carretera cuenta con una longitud total de 148 kilómetros. El Tramo Carretero inicia en el km 0+000, a unos 35km al sur de la Zona Metropolitana de Guadalajara, en el municipio de Acatlán de Juárez en Jalisco, y finaliza en el km 148+000, a unos 15 km al noreste de la ciudad de Colima en el municipio de Cuauhtémoc en Colima.

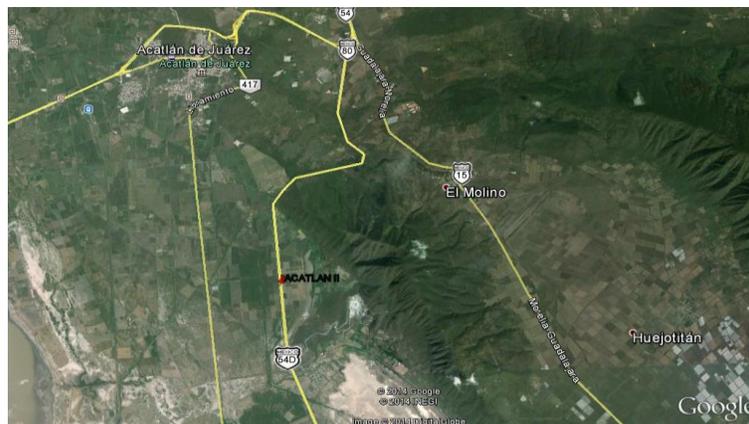


FIGURA 05 "UBICACIÓN DE LA NUEVA CASETA"

IMAGEN TOMADA DE GOOGLE EARTH

2.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)

La medición de las deflexiones se usa ampliamente para conocer la capacidad estructural de los pavimentos en el campo, estas mediciones están localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejada de él, a partir de una carga estática conocida.

Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Los ensayos realizados mediante ésta metodología, son por su naturaleza denominados no destructivos NDT (Non Destructive Test).

Además de los resultados de dichas deflexiones puede determinar las siguientes características de los pavimentos:

- a) Módulo de elasticidad de cada capa
- b) Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c) Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas del pavimento hidráulico
- d) Módulos de reacción de la subrasante
- e) Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles, valoración de la capacidad estructural y detección de oquedades en pavimento de concreto hidráulico.

El equipo de impacto crea un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa a partir de alturas variables que acciona un sistema de resortes o caucho, conocido generalmente como Fallig Weight Deflectómetro, FWD

Antes de usar el deflectómetro de impacto es necesario realizar la calibración de transductores que forman parte del equipo. Esta calibración consiste en una comparación de sus mediciones contra patrones nacionales o internacionales de la misma magnitud por definir.

En la Fig. 06 se representa de manera simbólica el funcionamiento del deflectómetro de impacto, relacionando el espesor de las capas con su módulo de elasticidad, así

como la aplicación del impacto sobre la superficie de rodamiento, ocasionando con ello la deflexión máxima del pavimento en la zona de aplicación y una disminución de la deflexión con respecto a la distancia de aplicación del impacto.

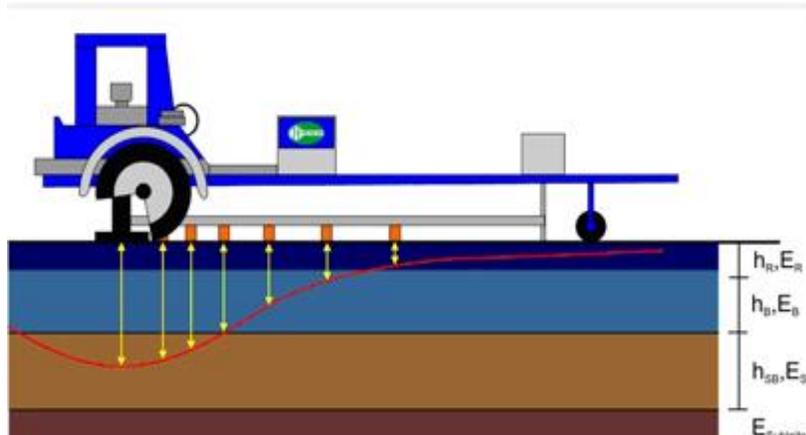


FIGURA 06 "INDUCCIÓN DE DEFORMACIONES EN EL PAVIMENTO CON FDW"
IMAGEN TOMADA DE CPR CONSULTORÍA Y PROYECTOS FERROVIARIOS LTDA.
<http://www.cprengenharia.com.br/equipamentos.php>

2.2.1 ENSAYOS A NIVEL DE CARRETERAS

Los ensayos de deflexión, tradicionalmente se llevan a cabo en intervalos de 100 a 500 m, dependiendo de las condiciones específicas de los pavimentos y la magnitud del área por analizar. Se recomienda un mínimo de siete ensayos por sección uniforme de pavimento para asegurar una muestra estadísticamente significativa.

Cabe resaltar que los factores que afectan la determinación de las deflexiones son: la magnitud y duración de la carga y condiciones climáticas (temperatura y humedad), para pavimentos flexibles, las deflexiones obtenidas en áreas con agrietamientos y roderas serán mayores que las que se consigan en áreas libres de deterioros. En los pavimentos rígidos, las oquedades bajo la losa ocasionan incrementos en las deflexiones; para comparar e interpretar las mediciones de las deflexiones debe de considerarse tanto la hora del día como la época del año en que se realizan. Generalmente las deflexiones se correlacionan con una temperatura

estándar, por ejemplo 21°C para un periodo de condiciones críticas, basado en procedimientos desarrollados localmente. Es muy importante que las deflexiones medidas sean lo suficientemente precisas para realizar estimaciones correctas de las características estructurales de los pavimentos a partir de los datos del FDW.

A partir de las mediciones se obtendrá un valor característico, para un nivel de confianza dado, el cual servirá para la definición del M_R

Dentro de los beneficios que se han observado se pueden citar:

- a) Mejorar las decisiones acerca del sitio y tiempo de aplicación de recursos para la rehabilitación de carreteras.
- b) Mayor efectividad y certidumbre en los análisis costo-beneficio de proyectos de rehabilitación.
- c) Mejores decisiones en el diseño de pavimentos nuevos y sobrecarpetas.

2.3 MÉTODO DE DISEÑO AASTHO 1993

Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1993 se ha modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados en la versión 1986 y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo, además de contener prácticas de otras dependencias y consultores independientes.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado (tránsito sobre el pavimento), representado por la siguiente ecuación:

$$\log \Sigma_L = -t_{Qu} x S_o + 9.93 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta I S}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad \text{Ec. 01}$$

Donde:

ΣL = Tránsito equivalente, en repeticiones acumuladas de ejes estándar de 8.2 ton en eje sencillo.

t_{Qu} = Coeficiente de student para un nivel de confianza Q_u conforme al tipo de vialidad.

S_0 = Desviación estándar global representativo de las condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

SN = Número estructural correspondiente a las capas analizadas.

ΔIS = Pérdida del índice de servicio.

M_R = Módulo de resiliencia de la capa de sustentación de la capa analizada.

2.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO “AASHTO 1993”

En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el período de diseño). El método establece una ecuación para la solución del diseño del pavimento, estableciendo conceptos tales como:

- a) PARÁMETRO DE CONFIABILIDAD Q_u : se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan duraran como mínimo el periodo de diseño. El método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “ Q_u ” de confiabilidad.

Esta confiabilidad está basada en sus tramos experimentales en escala real realizo la AASHTO para el diseño de pavimentos.

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE CONFIANZA	
	URBANA	RURAL
Autopistas y carretas troncales de la red federal	85-99.9	80-99.9
Carreteras secundarias de la red federal	80-99	75-95
Carreteras estatales	80-95	75-95
Carreteras alimentadoras rurales	-----	50-80

TABLA 01 PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD

b) **DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL S_0** : Este parámetro está ligado directamente con la Confiabilidad (Q_U), “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito. Los valores de “ S_0 ” en los tramos de prueba de AASHO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles, la desviación estándar total debidos al tránsito es de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

NIVEL DE CONFIANZA (Q_U)	COEFICIENTE DE STUDENT (T)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (S_0)
75%	0.674	Pavimentos asfálticos
80%	0.841	0.40-0.50
85%	1.037	
90%	1.282	Pavimentos de concreto
95%	1.645	0.30-0.40
99%	2.327	

TABLA 02

FUENTE: APUNTES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS, ESPECIALIDAD EN GEOTECNIA F.I. UNAM, ING. ROBERTO SOSA GARRIDO.

- c) MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO (M_R): con base en pruebas de laboratorio, realizadas en materiales a utilizar en la capa subrasante (Método AASHTO T-274).

El módulo de resiliencia “estacional” será obtenido alternadamente por correlaciones con propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc. Después de realizar dicho procedimiento deberá obtenerse un “módulo de resiliencia efectivo”, que es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales.

Existen dos procedimientos para la obtención de los módulos: uno, obteniendo la relación en el laboratorio entre el módulo de resiliencia y el contenido de humedad de diferentes muestras en diferentes estaciones del año y el segundo método es utilizando algún equipo para medición de deflexiones sobre carreteras en servicio durante diferentes estaciones del año.

- d) PÉRDIDA DE ÍNDICES DE SERVICIO: El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario. Donde se establece la siguiente ecuación:

$$\Delta IS = IS - ISR$$

Ec. 02

Donde:

ΔIS = Pérdida de índice de servicio

IS = Índice de servicio inicial

ISR = Índice de servicio terminal

e) DETERMINACIÓN DEL ESPESOR POR CAPA

La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y sub-base, haciéndose notar que el actual método de AASHTO, versión 1993, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y sub-base.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad \text{Ec. 03}$$

a_1, a_2, a_3 = Coeficientes de capa representativos de la carpeta, base y sub-base respectivamente.

D_1, D_2, D_3 = Espesor de carpeta, base y sub-base respectivamente.

m_2, m_3 = Coeficiente de drenaje para base y sub-base respectivamente.

En las Tablas 03 y 04 se muestran los valores para la obtención de los factores de drenaje y estructurales, de acuerdo a la remoción del agua y tipo de estructuración del pavimento respectivamente.

CALIDAD DE DRENAJE	REMOCIÓN DEL AGUA	PORCENTAJE DE TIEMPO AL CUAL ESTA EXPUESTA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMA A LA SATURACIÓN (m_2 y m_3)			
		< 1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 Horas	1.4-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1 Día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1 Semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1 Mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	> 1 Mes	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

TABLA 03

FUENTE: APUNTES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS, ESPECIALIDAD EN GEOTECNIA F.I. UNAM, ING. ROBERTO SOSA GARRIDO.

CORRELACIONES ESTRUCTURALES DERIVADAS DE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE LA AASHTO COEFICIENTES ESTRUCTURALES (a)			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	a (1/cm)	VALORES LÍMITE DE a	
		Mín. 1/cm	Máx. 1/cm
Carpetas (c, a₁):			
Concreto asfáltico con polímeros (ca+p)	$0.0665 \ln M_R - 0.6937$	0.122	0.182
Concreto asfáltico (ca)	$0.0665 \ln M_R - 0.6937$	0.120	0.178
Mezcla en frío (ml)	$0.0665 \ln M_R - 0.6937$	0.118	0.164
Bases (b, a₂):			
Agregados triturados (bg)	$0.0098 \ln CBR + 0.0095$	0.052	0.059
Tratada con cal (btl)	$0.0009 f'_c + 0.037$	0.040	0.060
Asfáltica, mezcla en frío (bta)	$0.130 \log E_{mrs}^* - 0.2526$	0.049	0.126
Asfáltica, concreto asfáltico (bca)	$0.0565 \ln M_R - 0.6013$	0.049	0.134
Tratada con cemento (btc)	$0.0009 f'_c + 0.037$	0.055	0.100
Sub-base hidráulicas (sb, a₃)	$0.0086 \ln CBR + 0.0158$	0.049	0.053
Subrasante (sr)	-----	-----	-----
(*)E _{mrs} es la estabilidad Marshall, medida en kg			

TABLA 04

FUENTE: APUNTES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS, ESPECIALIDAD EN GEOTECNIA F.I. UNAM, ING. ROBERTO SOSA GARRIDO.

Por otro lado, a raíz de los tramos estructurales, la AASTHO realizó correlaciones del módulo de Resiliencia (M_R) de las capas del pavimento, considerando para la capa de base alternativas como lo son bases hidráulicas, tratadas con cemento asfáltico en frío y en caliente, tratadas con cal y cemento portland. Dichas correlaciones son mostradas en la Tabla 05.

CORRELACIONES ESTRUCTURALES DERIVADAS DE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE LA AASHTO MÓDULOS DE RIGIDEZ ELÁSTICA (M_R)			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	M _R (psi)	VALORES LÍMITE (Psi)	
		Mín.	Máx.
Carpetas (c, a₁):			
Concreto asfáltico con polímeros (ca+p)	477.74 Emrs -2916.80	212100	522600
Concreto asfáltico (ca)	477.74 Emrs -2916.80	212100	450000
Mezcla en frio (ml)	468.63 Emrs +4028.70	206900	378000
Bases (b, a₂):			
Agregados triturados (bg)	-0.9696CBR ² +272.39CBR+12947	28500	31700
Tratada con cal (bti)	15185 f _c - 76941	30500	105000
Asfáltica, mezcla en frio (bta)	468.63 Emrs + 4028.70	206900	378000
Asfáltica, concreto asfáltico(bca)	477.74 Emrs - 2916.80	100000	450000
Tratada con cemento (btc)	7448.40 f _c + 403682	560000	925000
Sub-base hidráulicas (sb,a₃)	-1.3125CBR ² +244.43CBR+8546.7	18100	19800
Subrasante (sr)	-15.673CBR ² +1011.8CBR+1059.6	5700	15000
(*)E _{mrs} es la estabilidad Marshall, medida en kg			

TABLA 05

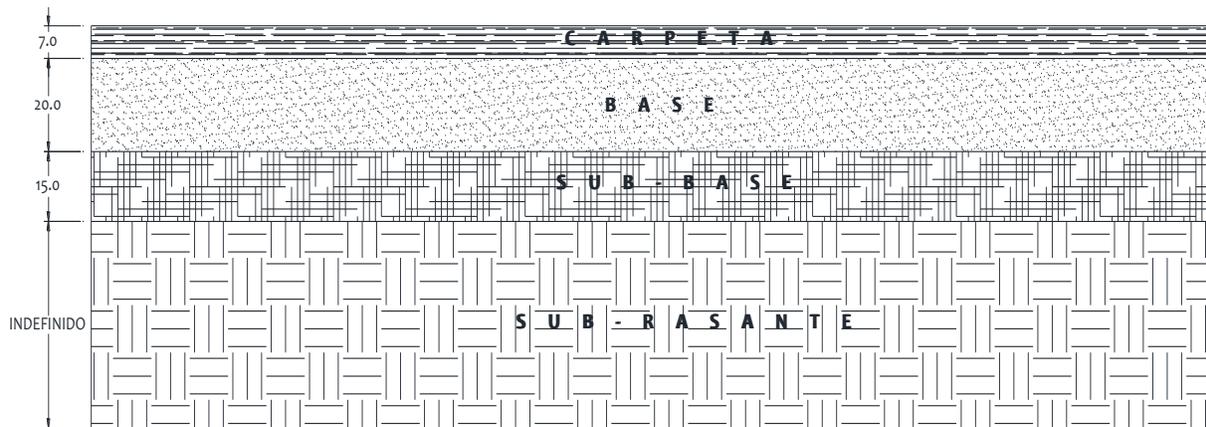
FUENTE: APUNTES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS, ESPECIALIDAD EN GEOTECNIA F.I. UNAM, ING. ROBERTO SOSA GARRIDO.

2.4 INFORMACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

La nueva caseta de Acatlán II ubicada anteriormente, cuenta con un pavimento existente el cual se encuentra estructurado por una capa de 42 cm de espesor, constituida por una carpeta de 7 cm, una base asfáltica de 20 cm y una sub-base de 15 cm, con un CBR de 65%, Figura 07.

Esta estructura se encuentra apoyada sobre capas de suelos de espesores desconocidos.

Recientemente se realizaron mediciones de deflexiones con el dispositivo FWD, por parte de la empresa SEM Materials, para definir los módulos elásticos (M_R) de las capas constitutivas de la capa asfáltica y de la capa de apoyo (subrasante), cuyos resultados se presentan en la Tabla 06.



ESTRUCTURA ACTUAL

PAVIMENTO ASFÁLTICO

FIGURA 07

2.4.1 DEFLEXIONES PARA EL DISEÑO

Los resultados obtenidos en la Tabla 06 de deflexiones muestran los esfuerzos aplicados y las distancias D_0 , D_{200} , D_n , a las que fueron tomadas las lecturas, así como las superficie y temperatura de aplicación del ensaye.

Después de aplicar las ecuaciones para obtención de los módulos de rigidez tanto de la carpeta y subrasante, al observar dichos resultados se percata dispersión de estos, por tanto se realiza la elaboración de valores característicos que proporcionen cierto nivel de confianza, escogiendo para ello un coeficiente de student (t) de 1.282, correspondiente a un nivel de confianza (Q_u) del 90%

TABLA 06. OBTENCIÓN DE MÓDULO MR MEDIANTE EL USO DEL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO "FDW"

ENSAYE	ESFUERZO	CARGA	D0* (mm)	D200 (mm)	D300 (mm)	D450 (mm)	D600 (mm)	D900 (mm)	D1200 (mm)	SUP	AIRE	ASPECTOS DE	MÓDULO (Mpa)					
	(kPa)	(kPa)										TEMPERATURA °C	CAPA ASFÁLTICA	SUBRASANTE				
1	700	49	707	525	380	246	175	110	87	31.50	26.20	27.73	1007	48				
2	700	49	361	282	233	184	153	103	73	32.10	26.20	28.04	4755	50				
3	700	49	347	267	222	180	145	93	61	31.70	26.10	27.83	4961	52				
4	700	49	343	270	232	190	156	104	69	32.20	26.00	28.09	5791	48				
5	700	49	344	283	243	201	163	109	74	31.40	26.00	27.68	4820	58				
6	700	49	427	330	280	222	180	117	88	31.00	25.90	27.47	3284	54				
7	700	49	348	268	235	194	158	107	77	30.90	25.80	27.42	4569	60				
8	700	49	334	260	229	187	154	107	78	31.00	25.80	27.47	4999	62				
9	700	49	377	292	246	198	159	107	79	30.30	25.60	27.11	4444	47				
10	700	49	370	282	247	196	157	107	80	30.60	25.60	27.26	4712	47				
11	700	49	333	254	213	171	137	90	69	30.50	25.50	27.21	5095	54				
12	700	49	351	287	239	197	160	106	71	30.90	25.60	27.42	5045	47				
13	700	49	395	296	251	199	159	98	71	30.50	25.60	27.21	3940	48				
14	700	49	346	281	241	192	153	96	72	30.80	25.60	27.37	4994	48				
15	700	49	327	253	224	183	147	99	74	31.00	25.60	27.47	6190	49				
16	700	49	398	318	275	224	180	115	75	30.40	25.80	27.16	3743	52				
17	700	49	224	172	152	133	116	86	62	29.30	25.80	26.59	-	62				
18	700	49	296	237	208	170	141	92	60	29.40	25.80	26.64	6402	53				
19	700	49	290	231	201	168	138	92	59	29.30	25.80	26.59	6803	53				
20	700	49	789	577	412	260	176	106	87	29.00	25.70	26.44	767	45				
21	700	49	272	194	166	138	116	79	55	29.00	25.30	26.44	6420	66				
22	700	49	212	147	127	105	86	63	43	28.10	25.30	25.97	7742	92				
23	700	49	418	340	291	241	204	147	110	28.80	25.20	26.33	4291	45				
24	700	49	503	380	304	234	189	123	82	29.00	25.10	26.44	1998	53				
25	700	49	297	220	184	146	119	75	50	28.50	25.00	26.18	6108	52				
26	700	49	427	318	269	213	173	103	66	28.40	24.90	26.13	3272	46				
<table border="1"> <tr> <td>NOTAS:</td> <td>VALOR CARACTERÍSTICO</td> </tr> <tr> <td>(*) D0, D200, D300, D450, Etc, corresponden a la distancia en cm del punto de aplicación de la carga al transductor que mide la deformación.</td> <td>$\hat{X} = \bar{X}(t) \frac{S_0}{\bar{X}}$</td> </tr> </table>												NOTAS:	VALOR CARACTERÍSTICO	(*) D0, D200, D300, D450, Etc, corresponden a la distancia en cm del punto de aplicación de la carga al transductor que mide la deformación.	$\hat{X} = \bar{X}(t) \frac{S_0}{\bar{X}}$	PROMEDIO (X)	4,646.08	53.50
												NOTAS:	VALOR CARACTERÍSTICO					
(*) D0, D200, D300, D450, Etc, corresponden a la distancia en cm del punto de aplicación de la carga al transductor que mide la deformación.	$\hat{X} = \bar{X}(t) \frac{S_0}{\bar{X}}$																	
ESVIACIÓN ESTANDAR (S₀)	1,678.09	9.66																
NIVEL DE CONFIANZA "Q_u"	90	90																
"t" STUDENT	1.282	1.282																
\bar{X} Mpa =	4,646.54	53.73																
\bar{X} Kg/cm ² =	47,379.41	547.88																
\bar{X} PSI =	673,735	7,791																

2.4.2 TRÁNSITO DEL PROYECTO

Los datos de tránsito se realizaron del kilómetro 0+000 al 69+100, los cuales se presentan en la Tabla 07.

DATOS DE TRÁNSITO			
Del km	0+000	33+000	64+300
Al km	33+000	64+300	69+100
TDPA ₂	8570	8684	11920
R	4%	4%	4%
A	75.4%	75.6%	72.7%
B	4.6%	4.4%	3.3%
C ₂	4.0%	3.9%	6.6%
C ₃	3.5%	3.8%	5.5%
T3S2	3.7%	3.6%	4.7%
T3S3	1.5%	1.5%	3.3%
T3S2R4	7.3%	7.2%	4.5%
D	0.517	0.509	0.506
K	0.075	0.096	0.079

TABLA 07 DATOS OBTENIDOS EN EL SITO DEL PROYECTO

La determinación del tránsito acumulado en ejes estándar de 8.2 ton se calculó para los tres tramos (Tabla 08, 09 y 10), considerando una proyección a 15 años a partir de año 2014. Sin embargo para el diseño del pavimento de la caseta Acatlán II se utilizará el tránsito correspondiente a la ubicación de la misma, por tanto se procedió a utilizar los datos del Kilómetro 0+000 al 33+000. En la Tabla 08 se muestran los resultados procedentes del cálculo del tránsito.

**TABLA 8. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO ACUMULADO (EJES ESTÁNDAR DE 8.2 t.)
TRÁNSITO PARA EL km 0+000 AL 33+000**

A. DATOS:							
TDPA(2) en el año	2014	% vehículos vacíos (V_v):				12%	
D =	0.517	% vehíc. c/sobrecarga (V_{sc}):				15%	
Año inicial de operaciones:		sobrecarga máxima:				30%	
TDPAi (1)	HORIZ	r	LANES	COMPOSICIÓN (%)			
(vehículos)	(años)	(%)	/SENT	Ap+Ac	B2+B3	C2+C3	T-S
8,570	20	4.0	2	75.40%	4.60%	7.50%	12.50%

B. EJES EQUIVALENTES PROPORCIONALES							
VEHICULO	%/DSL _N	COMPOS	FEC _v	FEC _t	FEC _{sc}	FEC _{lp}	FEC _{cp}
Ap	0%	60.00%	0.0004	0.0008	0.0012	0.000	0.000
Ac	50%	15.40%	0.0019	0.0611	0.0802	0.005	0.004
B2	60%	1.60%	0.6117	3.5033	4.6814	0.034	0.033
B3	60%	3.00%	0.1729	2.9164	3.9559	0.052	0.051
C2	80%	4.00%	0.1799	3.5033	10.7073	0.112	0.165
C3	80%	3.50%	0.0836	2.9164	3.8086	0.082	0.077
T2-S1	80%	0.00%	0.1077	5.6559	11.8893	0.000	0.000
T2-S2	80%	0.00%	0.1219	5.3692	9.4001	0.000	0.000
T3-S2	80%	3.70%	0.0877	4.7823	7.1956	0.142	0.142
T3-S3	80%	1.50%	0.0834	4.1414	8.1949	0.050	0.057
C3-R2	100%	0.00%	0.1693	7.2216	10.2000	0.000	0.000
T3S2R4	100%	7.30%	0.0959	6.0704	11.0700	0.443	0.487
Sumas	100.0%					0.919	1.017

$$FEC_{cp} = \%DSL_N \times COMPOS \times (V_v \times FEC_v + (1 - V_v - V_{sc}) \times FEC_t + V_{sc} \times FEC_{sc})$$

$$TDAP_n = TDAP_{n-1} \times (1 + r)$$

$$CAT = 365 \times ((1 + r)^n - 1) / r$$

$$\Sigma L = TDAP_i \times CAT \times FEC_p$$

%DSL_N= Composición porcentual por sentido

COMPOS= Composición porcentual de vehículos

FEC= Factor de Equivalencia de Carga

C. TRÁNSITO EN MILES DE EJES ACUMULADOS (SL)					
AÑO	TDAP _n	CAT	Σ L _{cl}	Σ L _{cc}	
0	2014	8570	-	-	-
1	2015	8913	365	2875	3181
2	2016	9269	745	5864	6489
3	2017	9640	1,139	8973	9929
4	2018	10026	1,550	12207	13507
5	2019	10427	1976.96	15570	17228
6	2020	10844	2,421	19067	21098
7	2021	11278	2,883	22705	25122
8	2022	11729	3,363	26488	29308
9	2023	12198	3,863	30422	33661
10	2024	12686	4382.23	34513	38188
11	2025	13193	4,923	38768	42897
12	2026	13721	5,484	43194	47793
13	2027	14270	6,069	47796	52886
14	2028	14840	6,677	52583	58182
15	2029	15434	7308.61	57561	63690
16	2030	16051	7,966	62738	69418
17	2031	16694	8,650	68122	75376
18	2032	17361	9,361	73721	81571
19	2033	18056	10,100	79545	88015
20	2034	18778	10869	85601	94716

TDAP_n = Tránsito Diario Anual Promedio

r = Tasa de crecimiento

Σ L = Eje Equivalente

**TABLA 9. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO ACUMULADO (EJES ESTÁNDAR DE 8.2 t.)
TRÁNSITO PARA EL km 33+A38+000 AL 64+300**

A. DATOS:							
TDPA(2) en el año	2014	% vehículos vacíos (V_v):					12%
D =	0.509	% vehic. c/sobrecarga (V_{sc}):					15%
Año inicial de operaciones:		sobrecarga máxima:					30%
TDPAi (1)	HORIZ	r	LANES	COMPOSICIÓN (%)			
(vehículos)	(años)	(%)	/SENT	Ap+Ac	B2+B3	C2+C3	T-S
8,684	20	4.0	2	75.60%	4.40%	7.70%	12.30%

B.	EJES EQUIVALENTES PROPORCIONALES						
VEHICULO	%/DSL _N	COMPOS	FEC _v	FEC _t	FEC _{sc}	FEC _{lp}	FEC _{cp}
Ap	0%	60.00%	0.0004	0.0008	0.0012	0.000	0.000
Ac	50%	15.60%	0.0019	0.0611	0.0802	0.005	0.004
B2	60%	1.40%	0.6117	3.5033	4.6814	0.029	0.029
B3	60%	3.00%	0.1729	2.9164	3.9559	0.052	0.051
C2	80%	3.90%	0.1799	3.5033	10.7073	0.109	0.161
C3	80%	3.80%	0.0836	2.9164	3.8086	0.089	0.084
T2-S1	80%	0.00%	0.1077	5.6559	11.8893	0.000	0.000
T2-S2	80%	0.00%	0.1219	5.3692	9.4001	0.000	0.000
T3-S2	80%	3.60%	0.0877	4.7823	7.1956	0.138	0.138
T3-S3	80%	1.50%	0.0834	4.1414	8.1949	0.050	0.057
C3-R2	100%	0.00%	0.1693	7.2216	10.2000	0.000	0.000
T3S2R4	100%	7.20%	0.0959	6.0704	11.0700	0.437	0.481
Sumas	100.0%					0.909	1.005

$$FEC_{cp} = \%DSL_N \times COMPOS \times (V_v \times FEC_v + (1 - V_v - V_{sc}) \times FEC_t + V_{sc} \times FEC_{sc})$$

$$TDAP_n = TDAP_{n-1} \times (1 + r)$$

$$CAT = 365 \times ((1 + r)^n - 1) / r$$

$$\Sigma L = TDAP_i \times CAT \times FEC_p$$

%DSL_N= Composición porcentual por sentido

COMPOS= Composición porcentual de vehículos

FEC= Factor de Equivalencia de Carga

C. TRÁNSITO EN MILES DE EJES ACUMULADOS (ΣL)					
AÑO	TDAP _n	CAT	ΣL_{cl}	ΣL_{cc}	
0	2014	8684	-	-	
1	2015	9031	365	2882	
2	2016	9393	745	5879	
3	2017	9768	1,139	8995	
4	2018	10159	1,550	12237	
5	2019	10565	1976.96	15608	
6	2020	10988	2,421	19114	
7	2021	11428	2,883	22760	
8	2022	11885	3,363	26552	
9	2023	12360	3,863	30496	
10	2024	12854	4382.23	34598	
11	2025	13369	4,923	38863	
12	2026	13903	5,484	43300	
13	2027	14459	6,069	47913	
14	2028	15038	6,677	52712	
15	2029	15639	7308.61	57702	
16	2030	16265	7,966	62891	
17	2031	16916	8,650	68289	
18	2032	17592	9,361	73902	
19	2033	18296	10,100	79740	
20	2034	19028	10869	85811	

TDAP_n = Tránsito Diario Anual Promedio

r = Tasa de crecimiento

ΣL = Eje Equivalente

**TABLA 10. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO ACUMULADO (EJES ESTÁNDAR DE 8.2 t.)
TRÁNSITO PARA EL km 64+300 AL 69+100**

A. DATOS:							
TDPA(2) en el año	2014	% vehículos vacíos (V_v):				12%	
D =	0.517	% vehíc. c/sobrecarga (V_{sc}):				15%	
Año inicial de operaciones:		sobrecarga máxima:				30%	
TDPAi (1)	HORIZ	r	LANES	COMPOSICIÓN (%)			
(vehículos)	(años)	(%)	/SENT	Ap+Ac	B2+B3	C2+C3	T-S
8,570	20	4.0	2	72.70%	3.30%	12.10%	12.50%

B. EJES EQUIVALENTES PROPORCIONALES							
VEHICULO	%/DSL	COMPOS	FEC _v	FEC _l	FEC _{sc}	FEC _{lp}	FEC _{cp}
Ap	0%	57.00%	0.0004	0.0008	0.0012	0.000	0.000
Ac	50%	15.70%	0.0019	0.0611	0.0802	0.005	0.004
B2	60%	1.30%	0.6117	3.5033	4.6814	0.027	0.027
B3	60%	2.00%	0.1729	2.9164	3.9559	0.035	0.034
C2	80%	6.60%	0.1799	3.5033	10.7073	0.185	0.273
C3	80%	5.50%	0.0836	2.9164	3.8086	0.128	0.121
T2-S1	80%	0.00%	0.1077	5.6559	11.8893	0.000	0.000
T2-S2	80%	0.00%	0.1219	5.3692	9.4001	0.000	0.000
T3-S2	80%	4.70%	0.0877	4.7823	7.1956	0.180	0.181
T3-S3	80%	3.30%	0.0834	4.1414	8.1949	0.109	0.125
C3-R2	100%	0.00%	0.1693	7.2216	10.2000	0.000	0.000
T3S2R4	100%	4.50%	0.0959	6.0704	11.0700	0.273	0.300
	Sumas	100.6%				0.943	1.065

$$FEC_{cp} = \%DSL_N \times COMPOS \times (V_v \times FEC_v + (1 - V_v - V_{sc}) \times FEC_l + V_{sc} \times FEC_{sc})$$

$$TDAP_n = TDAP_{n-1} \times (1 + r)$$

%DSL_N= Composición porcentual por sentido

TDAP_n = Transito Diario Anual Promedio

$$CAT = 365 \times ((1 + r)^n - 1) / r$$

COMPOS= Composición porcentual de vehículos

r= Tasa de crecimiento

$$\sum L = TDAP_i \times CAT \times FEC_p$$

FEC= Factor de Equivalencia de Carga

$\sum L$ = Eje Equivalente

C. TRÁNSITO EN MILES DE EJES ACUMULADOS (SL)					
AÑO	TDAP _n	CAT	$\sum L_{cl}$	$\sum L_{cc}$	
0	2014	8570	-	-	
1	2015	8913	365	2949	
2	2016	9269	745	6016	
3	2017	9640	1,139	9205	
4	2018	10026	1,550	12522	
5	2019	10427	1976.96	15972	
6	2020	10844	2,421	19560	
7	2021	11278	2,883	23291	
8	2022	11729	3,363	27172	
9	2023	12198	3,863	31208	
10	2024	12686	4382.23	35405	
11	2025	13193	4,923	39770	
12	2026	13721	5,484	44310	
13	2027	14270	6,069	49031	
14	2028	14840	6,677	53941	
15	2029	15434	7308.61	59048	
16	2030	16051	7,966	64359	
17	2031	16694	8,650	69882	
18	2032	17361	9,361	75626	
19	2033	18056	10,100	81600	
20	2034	18778	10869	87813	

2.4.3 CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

De acuerdo a los datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto (FDW) se lograron los Módulos de Resiliencia (M_R), en la carpeta y en la subrasante los cuales se utilizaran para el diseño, sin embargo los valores obtenidos del M_R en la carpeta sobrepasa el valor máximo de diseño; por tanto se opta por tomar un valor de 449, 981 Psi, arrojando un valor de Estabilidad Marshall (E_{mrs}) de 948 kg.

Los Módulos de Resiliencia (M_R) correspondientes a bases hidráulicas, estabilizadas y sub-bases estarán dados por los CBR que para este caso se suponen (no se tienen pruebas de laboratorio), estas suposiciones basadas en los parámetros mínimos y máximos que establecen las normas de calidad de la SCT.

La carpeta asfáltica será de granulometría densa con una Estabilidad Marshall (E_{mrs}) mínima para un tránsito equivalente de 8.2 Ton de $10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ de 1800 lbf, o' 816 kgf., (Manual de Calidad de los Materiales, IMT, N-CMT-4-05-003/02) Tabla 11.

Los módulos correspondientes a las capas de base y sub-base se obtendrán con ayuda de las correlaciones descritas en la Tabla 05.

De igual forma al carecer de datos de CBR se suponen valores en base, sub-base y subrasante de 100, 85 y 40% respectivamente, los cuales están dentro de los parámetros de calidad, (Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, IMT, Documento Técnico 01), reflejados en la Tabla 12,13 y 14

Los coeficientes de drenaje que se utilizaran son de 0.90, considerando un tiempo de saturación de pavimento de entre 5 y 25%, con una calidad de drenaje regular, Tabla 3.

Por último los coeficientes estructurales de igual forma se obtuvieron de las correlaciones de la Tabla 4.

Características	Número de ejes equivalente de diseño Σ_L ^[1]	
	$\Sigma_L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma_L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (Ib _f), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10 ⁻² in)	2 – 4 (8 – 16)	2 – 3,5 (8 – 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC);%	3 - 5	3 - 5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA);%	65 - 78	65 - 75
[1] Σ_L = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento		
[2] Para tránsitos mayores de 10 ⁷ ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla		

TABLA 11 CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA

FUENTE: Características de los Materiales N-CMT-4-05-003/02, Internet: <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-003-02.pdf>

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D DESEABLE ADECUADA	
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.2)	1- 2	1- 3
Tamaño Máximo (mm)	38	51
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	10 máx	15 máx
Límite Líquido (LL %)	25 máx	30 máx
Índice Plástico (IP %)	6 máx	6 máx
Equivalente Arena (%)	50 mín	40 mín.
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín
V. R. S. (%) (Compact. Dinámica) ⁽¹⁾	100 mín	80 mín
Desgaste Los Angeles (%)	40 máx	40 máx.

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

TABLA 12 CALIDAD DE MATERIALES EN LA BASE

FUENTE: Manual de Calidad de los Materiales en secciones Estructurales de pavimentos Carreteros, editado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), DOCUMENTO TÉCNICO 01, Internet: <http://www.imt.mx/publicaciones@imt.mx>

**VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE
Y REVESTIMIENTO**

CARACTERÍSTICA	DESEABLE		C A L I D A D A D E C U A D A		REVESTIMIENTO	
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.1)	1- 2		1- 3		1- 3	
Tamaño Máximo (mm)	51		51		76	
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	15	máx	25	máx	10	mín
					20	máx
Límite Líquido (LL)	25	máx	30	máx	40	máx
(%)						
Índice Plástico (IP)	6	máx	10	máx	15	máx
(%)						
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín		100 mín		95 mín AAsHTO Est.	
Equivalente Arena (%)	40	mín	30	mín		
V. R. S. (%) (Compact. dinámica)(1)	40	mín	30	mín	30	mín
Desgaste Los Angeles (%)	40	máx	-----		-----	

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

TABLA 13 CALIDAD DE MATERIALES EN LA SUB-BASE

FUENTE: Manual de Calidad de los Materiales en secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, editado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), DOCUMENTO TÉCNICO 01, Internet: <http://www.imt.mx> publicaciones@imt.mx

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D			
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE	
Granulometría Tamaño Máximo (mm)	76	76		
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	25 máx	35 máx	40 máx	
Límite Líquido (LL) (%)	30 máx	40 máx	50 máx	
Índice Plástico (IP) (%)	10 máx	20 máx	25 máx	
Compactación (%) (AASHTO Est.) (1)	100 mín	100 +- 2	100 +- 2	
V. R. S. (%) (Compact. dinámica) (2)	30 mín	20 mín	15 mín	

- (1) Con humedad de compactación hasta 3 % mayor a la óptima
(2) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5 m de profundidad

TABLA 14 CALIDAD DE MATERIALES EN LA SUBRASANTE

FUENTE: Manual de Calidad de los Materiales en secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, editado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), DOCUMENTO TÉCNICO 01, Internet: <http://www.imt.mx/publicaciones@imt.mx>

2.5 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Al sintetizar los datos recabados en campo (deflexiones y tránsito) se tomó en consideración para el análisis valores característicos del Modulo de Resiliencia tanto de carpeta como de subrasante, considerando un nivel de confianza del 90%. En lo que refiere al tránsito se tomo los resultados calculados de la Tabla 8, ya que en éste tramo es donde se ubicará la nueva caseta.

Para la solución de la problemática se estableció el análisis para conocer el volumen de tránsito que podia soportar el pavimento en su estado actual, una vez conocido el tránsito se establecieron 3 propuestas, para el primer caso una base de agregados triturados (bg), la segunda y la tercera base estabilizada con asfalto (bca), proyectando los espesores de capas acontinuación mostrados.

Cabe mencionar que para la propuesta de bca se considera reutilizar la carpeta y la base existente, mediante la disgregacion y mezclado de los materiales. En caso de no cumplir con la granulometría se adicionará material de banco para lograr que la capa se encuentre dentro de los estandares de calidad vigente.

Los resultados a los que se llegó mediante la aplicación del método AASTHO 1993 son los mostrados en las hojas siguientes.

Por otro lado para poder visualizar el impacto económico y por ende la solución mas rentable, se analizaron matrices de precios unitarios correspondientes a las capas de la estructura de pavimentos de las 3 propuestas planteadas (Análisis de Precios Unitarios 01, 02, 03 y 04).

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS "MÉTODO AASTHO 1993"

PAVIMENTO EXISTENTE

PROYECTO DE REPAVIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA VIDA REMANENTE
ARRETERA DEL PAVIMENTO EN LA CASETA DE ACATLÁN II (AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA).

TRAMO DEL km 7+280 AL 8+110

SECCIÓN NECESARIA PARA UNA VIDA ÚTIL DE 15 AÑOS

DATOS

TRANSITO Σ_L **6.37E+07** EJES

Q_U **0.90**

S_o **0.40**

t_{QU} **1.282**

CONDICIONES DE SERVICIO

ISA IRI

INICIAL (ISI) **4.50** 0.58

UMBRA DE REHABILITACIÓN (IS_{UR}) **3.00** 2.81

TERMINAL (ISR) **2.50** 3.81

ΔIS 2.00

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

SUBRASANTE CBR= **40**

SUB-BASE CBR= **85** M3= 0.90

BASE TIPO CBR= **100** M2= 0.90

CARPETA **ca** E_{mrs} (kg)= **948**

$$\log \Sigma_L = -t_{QU} x S_o + 9.93 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$A = -t_{QU} x S_o$$

$$B = 9.93 \log(SN + 1) - 0.2$$

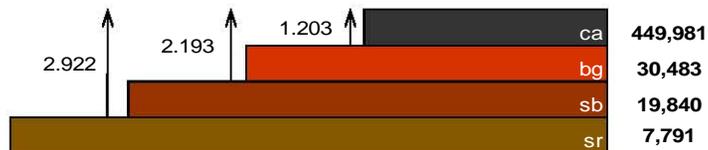
$$C = + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$D = 2.32 \log M_R - 8.07$$

	A	B	C	D	Log Σ_L
ca	-0.513	3.012	-0.007	2.333	4.825
bg	-0.513	4.520	-0.043	1.900	5.864
sb	-0.513	5.356	-0.100	0.958	5.702

NÚMEROS ESTRUCTURALES (SNr) REQUERIDOS AL NIVEL DE CADA CAPA

M_R



	d	a_n	ΣSN_n	Σ_L (miles)
	7.00	0.172	1.203	6.68E+04
	20.00	0.055	2.193	7.32E+05
	15.00	0.054	2.922	5.03E+05
$\Sigma =$	42.00			

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS "MÉTODO AASTHO 1993"

BASE HIDRÁULICA

PROYECTO DE REPAVIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA VIDA REMANENTE
ARRETERA DEL PAVIMENTO EN LA CASETA DE ACATLÁN II (AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA).

TRAMO DEL km 7+280 AL 8+110

SECCIÓN NECESARIA PARA UNA VIDA ÚTIL DE 15 AÑOS

DATOS

TRANSITO Σ_L **6.37E+07** EJES

Q_U **0.90**

S_o **0.40**

t_{QU} **1.282**

CONDICIONES DE SERVICIO

ISA IRI

INICIAL (ISI) **4.50** 0.58

UMBRA DE REHABILITACIÓN (IS_{UR}) **3.00** 2.81

TERMINAL (ISR) **2.50** 3.81

ΔIS 2.00

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

SUBRASANTI CBR= **40**

SUB-BASE CBR= **85** M3= 0.90

BASE TIPO CBR= **100** M2= 0.90

CARPETA **ca** E_{mrs} (kg)= **948**

$$\log \Sigma_L = -t_{QU} \times S_o + 9.93 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$A = -t_{QU} \times S_o$$

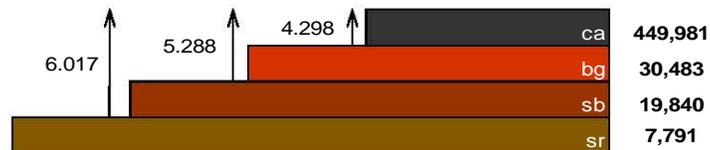
$$B = 9.93 \log(SN + 1) - 0.2$$

$$C = + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$D = 2.32 \log M_R - 8.07$$

	A	B	C	D	Log Σ_L
ca	-0.513	6.578	-0.221	2.333	8.177
bg	-0.513	7.274	-0.272	1.900	8.389
sb	-0.513	7.720	-0.293	0.958	7.872

NÚMEROS ESTRUCTURALES (SNr) REQUERIDOS AL NIVEL DE CADA CAPA M_R



	d	a_n	ΣSN_n	Σ_L (miles)
	25.00	0.172	4.298	1.50E+08
	20.00	0.055	5.288	2.45E+08
	15.00	0.054	6.017	7.45E+07
$\Sigma =$	60.00			

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS "MÉTODO AASTHO 1993"

BASE TRATADO CON CONCRETO ASFÁLTICO (SOLUCIÓN 1)

PROYECTO DE REPAVIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA VIDA REMANENTE
ARRETERA DEL PAVIMENTO EN LA CASETA DE ACATLÁN II (AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA).

TRAMO DEL kg 7+280 AL 8+110

SECCIÓN NECESARIA PARA UNA VIDA ÚTIL DE 15 AÑOS

DATOS

RANSITO Σ_L **6.37E+07** EJES

Q_U **0.90**

S_o **0.40**

t_{ou} **1.282**

CONDICIONES DE SERVICIO

ISA

INICIAL (ISI) **4.50**

UMBRA DE REHABILITACIÓN (IS_{UR}) **3.00**

TERMINAL (ISR) **2.50**

ΔIS **2.00**

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

SUBRASANTE CBR= **40**

SUB-BASE CBR= **85** M_3 = **0.90**

BASE TIPO **bca** E_{mrs} (kg)= **800**

CARPETA **ca** E_{mrs} (kg)= **948**

$$\log \Sigma_L = -t_{ou} x S_o + 9.93 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$A = -t_{ou} x S_o$$

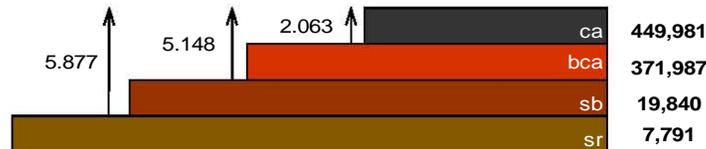
$$B = 9.93 \log(SN + 1) - 0.2$$

$$C = + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$D = 2.32 \log M_R - 8.07$$

	A	B	C	D	Log Σ_L
ca	-0.513	4.351	-0.035	4.854	8.656
bg	-0.513	7.183	-0.267	1.900	8.303
sb	-0.513	7.638	-0.290	0.958	7.794

NÚMEROS ESTRUCTURALES (SNr) REQUERIDOS AL NIVEL DE CADA CAPA M_R



d	a_n	ΣSN_n	Σ_L (miles)
12.00	0.172	2.063	4.53E+08
25.00	0.123	5.148	2.01E+08
15.00	0.054	5.877	6.22E+07
Σ =	52.00		

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS "MÉTODO AASTHO 1993"

BASE TRATADO CON CONCRETO ASFÁLTICO (SOLUCIÓN 2)

PROYECTO DE REPAVIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA VIDA REMANENTE
ARRETERA DEL PAVIMENTO EN LA CASETA DE ACATLÁN II (AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA).

TRAMO DEL kg 7+280 AL 8+110

SECCIÓN NECESARIA PARA UNA VIDA ÚTIL DE 15 AÑOS

DATOS

TRANSITO Σ_L **6.37E+07** EJES

Q_U **0.90**

S_o **0.40**

t_{ou} **1.282**

CONDICIONES DE SERVICIO

ISA **4.50**

INICIAL (ISI) **4.50**

UMBRA DE REHABILITACIÓN (IS_{UR}) **3.00**

TERMINAL (ISR) **2.50**

ΔIS **2.00**

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

SUBRASANTE CBR= **40**

SUB-BASE CBR= **85**

BASE TIPO **bca** E_{mrs} (kg)= **800**

CARPETA **ca** E_{mrs} (kg)= **948**

M_3 = **0.90**

$$\log \Sigma_L = -t_{ou} x S_o + 9.93 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$A = -t_{ou} x S_o$$

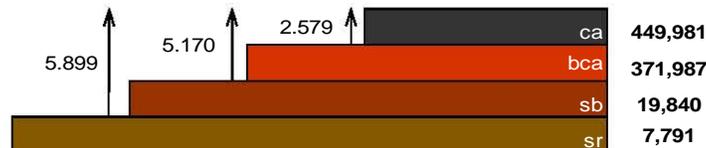
$$B = 9.93 \log(SN + 1) - 0.2$$

$$C = + \frac{\log\left(\frac{\Delta IS}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$D = 2.32 \log M_R - 8.07$$

	A	B	C	D	Log Σ_L
ca	-0.513	4.983	-0.070	4.854	9.254
bg	-0.513	7.197	-0.268	1.900	8.317
sb	-0.513	7.651	-0.291	0.958	7.806

NÚMEROS ESTRUCTURALES (SNr) REQUERIDOS AL NIVEL DE CADA CAPA M_R



d	a_n	ΣSN_n	Σ_L (miles)
---	-------	---------------	--------------------

15.00	0.172	2.579	1.79E+09
21.00	0.123	5.170	2.07E+08
15.00	0.054	5.899	6.40E+07

Σ = 51.00

Análisis de Precios Unitarios 01

Descripción

Clave: Pav-01

Suministro y colocacion de carpeta asfaltica de espesor variable, incluye: preparación de la superficie, riegos de emulsión asfáltica, mazcla asfáltica, materiales, equipo, mano de obra y herramienta.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
-------	-------------	--------	----------	-----------	-------

Materiales

MEZASF	MEZCLA ASFÁLTICA	m ³	1.00000	2068.00	2068.00
ACAASF	ACARREO DE ASFALTO	m ³ /km	25.00000	5.50	137.50
1358-11	EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA IMPREGNACIÓ	L	11.43000	7.75	88.58
RIFR-3	EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA TIPO FR-3	L	7.14000	6.72	47.98
Total de Materiales					2,342.06

Mano de Obra

02-0020	CUADRILLA No.2 (2 PEONES)	JOR	0.00550	601.51	3.31
Total del Mano de Obra					3.31

Equipo

H 03-5040	APLANADORA DOS RODILLOS COMPACTO- HUBER CD-810 8T, 73 H.P.	HORA	0.07200	830.63	59.81
H 03-5041	PAVIMENTADORA BARBER-GREEN COMPLETA SB-131 130 H.P.	HORA	0.07200	1306.79	94.09
H 03-5042	APLANADORA 3 RODILLOS COMPACTO- HUBER DE 10 A 14 T 73 H.P.	HORA	0.07200	493.11	35.50
H 03-5043	COMPACTADOR DE LLANTAS NEUMÁTICAS DUO-PACTOR 30 TON 105 H.P. CON TAMBORES DE CUCHILLAS DE 1.28 M	HORA	0.07200	606.10	43.64
H 03-5044	CAMIÓN PETROLIZADORA FAMSA DE 6000 LTS MOTOR DIESEL 130 H.P.	HORA	0.03200	574.24	18.38
Total del Equipo					251.41

Costo Directo	2,596.78
Indirectos (2.82%)	73.23
Indirectos de Campo (7.12%)	184.89
Subtotal	2,854.91
Financiamiento (0.27%)	7.71
Subtotal	2,862.61
Utilidad (6.67%)	190.94
Subtotal	3,053.55
Cargos Adicionales (0.50%)	12.98
Subtotal	3,066.53
Precio Unitario	3,066.53

**** TRES MIL SESENTA Y SEIS PESOS 53/100 M.N.****

Análisis de Precios Unitarios 02

<i>Descripción</i>

Clave: Pav-02

Suministro de material y conformación de capa Sub-base de diferentes espesores con calidad según normatividad vigente (SCT), incluye: material, agua necesaria para su compactación, material, equipo, mano de obra y herramienta.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
 Materiales 					
0302-50	GRAVA CONTROLADA EN PLANTA	m ³	1.20000	95.00	114.00
303-40	AGUA	m ³	0.20000	48.00	9.60
Total de Materiales					123.60
 Mano de Obra 					
02-0010	CUDRILLA No 1 (1 PEON)	m ³	0.01250	300.75	3.76
Total de Materiales					3.76
 Equipo 					
H 03-5001	MOTOCONFORMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 120 H, DE 140 H.P.	HORA	0.04060	604.61	24.55
H 03-5011	COMPACTADOR VIBRATORIO DE RODILLO LISO DE 127 H.P. MCA MULLER MOD. VAP- 701	HORA	0.04060	269.16	10.93
Total del Equipo					35.48
Subtotal					70.95
Financiamiento (0.27%)					0.19
Subtotal					71.14
Utilidad (6.67%)					4.75
Subtotal					75.89
Cargos Adicionales (0.50%)					0.12
Subtotal					76.01
Precio Unitario					76.01

** SETENTA Y SEIS PESOS 01/100 M.N.**

Análisis de Precios Unitarios 03

<i>Descripción</i>

Clave: Pav-03

Suministro de material y conformación de capa base (bg) de diferentes espesores con calidad según normatividad vigente (SCT), incluye: material, agua necesaria para su compactación, material, equipo, mano de obra y herramienta.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
-------	-------------	--------	----------	-----------	-------

Material

0302-50	GRAVA CONTROLADA EN PLANTA	m ³	1.20000	102.00	122.40
303-40	AGUA	m ³	0.20000	48.00	9.60
Total de Materiales					132.00

Mano de Obra

02-0010	CUDRILLA No 1 (1 PEON)	m ³	0.01250	300.75	3.76
Total de Materiales					3.76

Equipo

H 03-5001	MOTOCONFORMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 120 H, DE 140 H.P.	HORA	0.04060	604.61	24.55
H 03-5011	COMPACTADOR VIBRATORIO DE RODILLO LISO DE 127 H.P. MCA MULLER MOD. VAP- 701	HORA	0.04060	269.16	10.93
Total del Equipo					35.48

Costo Directo	171.23
Indirectos (2.82%)	4.83
Indirectos de Campo (7.12%)	12.19
Subtotal	188.26
Financiamiento (0.27%)	0.51
Subtotal	188.76
Utilidad (6.67%)	12.59
Subtotal	201.35
Cargos Adicionales (0.50%)	0.86
Subtotal	202.21
Precio Unitario	202.21

** DOSCIENTOS DOS PESOS 21/100 M.N. **

Análisis de Precios Unitarios 04

<i>Descripción</i>

Clave: Pav-04

Suministro de material y conformación de capa base (bca) estabilizada con asfalto porcentaje segun diseño y de diferentes espesores con calidad según normatividad vigente (SCT), incluye: material, agua necesaria para su compactación, material, equipo, mano de obra y herramienta.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
 Materiales 					
0302-50	GRAVA CONTROLADA EN PLANTA	m ³	1.10000	102.00	112.20
0300-03	ASFALTO DE PENETRACIÓN 60-70	L	8.00000	7.75	62.00
303-40	AGUA	m ³	0.20000	48.00	9.60
Total de Materiales					183.80

Mano de Obra

02-0010	CUDRILLA No 1 (1 PEON)	m ³	0.01250	300.75	3.76
Total de Materiales					3.76

Equipo

H 03-5001	MOTOCONFORMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 120 H, DE 140 H.P.	HORA	0.02860	604.61	17.29
H 03-5011	COMPACTADOR DYNAPAC CA251 119 HP	HORA	0.05710	302.22	17.26
Total del Equipo					34.55

Costo Directo	222.11
Indirectos (2.82%)	6.26
Indirectos de Campo (7.12%)	15.81
Subtotal	244.19
Financiamiento (0.27%)	0.66
Subtotal	244.84
Utilidad (6.67%)	16.33
Subtotal	261.18
Cargos Adicionales (0.50%)	1.11
Subtotal	262.29
Precio Unitario	262.29

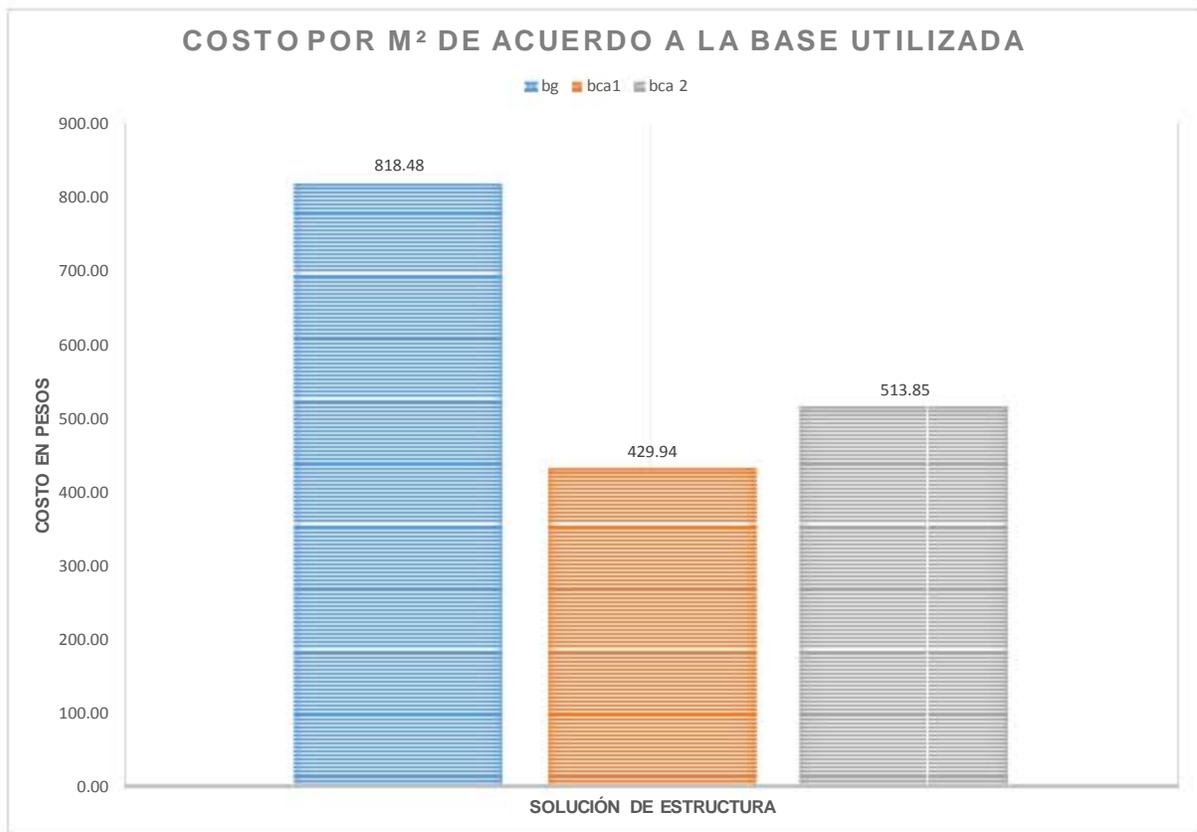
** DOSCIENTOS SESENTA Y DOS PESOS 29/100 M.N.**

COMPARATIVA DE SOLUCIONES DE ACUERDO CON SU COSTO

BASE HIDRÁULICA				
CAPA	ESPESOR (cm)	CANTIDAD (m³)	P.U.	TOTAL
Carpeta	25.00	0.25	3,066.53	766.63
Base (bg)	20.00	0.20	202.21	40.44
Sub-base	15.00	0.15	76.01	11.40
			TOTAL	818.48

BASE TRATADA CON ASFALTO (bca 1)				
CAPA	ESPESOR (cm)	CANTIDAD (m³)	P.U.	TOTAL
Carpeta	12.00	0.12	3066.53	367.98
Base (bca)	25.00	0.25	202.21	50.55
Sub-base	15.00	0.15	76.01	11.40
			TOTAL	429.94

BASE TRATADA CON ASFALTO (bca 2)				
CAPA	ESPESOR (cm)	CANTIDAD (m³)	P.U.	TOTAL
Carpeta	15.00	0.15	3066.53	459.98
Base (btc)	21.00	0.21	202.21	42.46
Sub-base	15.00	0.15	76.01	11.40
			TOTAL	513.85



GRAFICA 1 COSTO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

Como se puede observar en la gráfica la solución más rentable es la base estabilizada con asfalto 1, sin embargo este precio puede variar de acuerdo a la constante alza del petróleo.

CONCLUSIONES

Esta investigación arrojó resultados tales como la insuficiencia estructural ya que se requiere una capacidad tránsito en las capas de $6.37E+07$ de ejes equivalentes y se tiene actualmente $6.68E+04$, $7.32E+05$ y $5.03E+05$ de ca, bg y sb respectivamente, en el tramo carretero de Acatlán, correspondiente a la autopista Guadalajara-Colima.

Por ende y después de realizar el análisis del pavimento y los costos por metro cuadrado del mismo, se llega a la conclusión de que es necesario la reconstrucción de las capas, pudiendo utilizar el material existente para que con ello disminuya los costos de acarreo de mismo, teniendo en cuenta que es necesario hacer las pruebas pertinentes de los materiales que actualmente están constituyendo el pavimento y consecuentemente adecuarlos a las normas vigentes para cada capa.

La solución más rentable consta de la propuesta de base tratada con asfalto 1, en donde se utilizarían 5 cm de la carpeta actual, disgregándola previamente y mezclándola con el material de base existente que consta de 20 cm, llegando al espesor calculado de 25 cm, consecuentemente la realización de una carpeta de 12 cm de espesor. La capa de subrasante se quedaría con el mismo espesor, solo que se recomienda realizar pruebas de laboratorio para garantizar que cumpla con las características de la normatividad vigente; así mismo se recomienda un revisión rutinaria una vez concluida la obra, para dar el mantenimiento oportuno del pavimento el cual puede consistir en el calafateo de grietas, riegos de sello, bacheo, entre otros.

Por otra parte se puede construir el pavimento en etapas, si es que no se cuenta con el capital necesario para hacerlo en una. Esto consiste en realizar los espesores de las capas de base y sub-base tal y como lo arroja el análisis, sin embargo en la carpeta se puede suministrar un espesor inferior con una vida útil de 7 años cercano al umbral de rehabilitación (IS_{UR}), después de ese tiempo se fresara el material aproximadamente 3 cm y colocar el espesor restante (a modo de llegar al espesor de diseño) aumentando los 3 cm del fresado, elevando con ello el índice de servicio actual (ISA) y cumpliendo con la vida útil de proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [Http://www.autopistaguadalajaracolima.com/](http://www.autopistaguadalajaracolima.com/)
- <http://cuentame.inegi.org.mx/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/jalisco>
- <http://intranet.capacitacion.inegi.gob.mx/>, regiones naturales y biogeografía de México.
- <http://www.sieg.gob.mx/contenido/municipios/cuadernillos/acatlandejarez.pdf>
- <http://mapserver.sgm.gob.mx>
- <Http://www.cprengenharia.com.br/equipamentos.php> (imagen del fwd)
- <Www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/atlas/iv-10-01.jpg>
- http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/estados/geologia/colima_jalisco.html
- Características de los materiales n-cmt-4-05-003/02, internet: <http://normas.imt.mx/normativa/n-cmt-4-05-003-02.pdf>
- Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros, editado por el instituto mexicano del transporte (imt), documento técnico 01, internet: http://www.imt.mx_publicaciones@imt.mx
- Uso y calibración de deflectómetros de impacto en la evaluación estructural de pavimentos, imt, publicación técnica no. 252, sanfandila gro, 2004., internet: http://www.imt.mx_publicaciones@imt.mx
- Pavimentos flexibles problemática, metodologías de diseño y tendencias, imt, publicación técnica no. 104, sanfandila gro, 1998, internet: http://www.imt.mx_publicaciones@imt.mx