



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – GEOTÉCNIA

**“ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA
LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS
EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS”**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. PÉREZ MADRIGAL DOMINGO

TUTOR PRINCIPAL

ING. SOSA GARRIDO ROBERTO
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE DE 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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I DEMÉNEGUI COLINA AGUSTÍN
Secretario: M.I. MAGAÑA DEL TORO ROBERTO
Vocal: ING. SOSA GARRIDO ROBERTO
1^{er.} Suplente: DRA. OSSA LÓPEZ ALEXANDRA
2^{do.} Suplente: M.I. ZEA CONSTANTINO CARMELINO

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: MÉXICO, D.F. Y ESTADO DE VERACRUZ

TUTOR DE TESIS:

ING. SOSA GARRIDO ROBERTO

FIRMA

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi papa el Ing. Domingo Pérez Verdejo por darme su apoyo económico y psicológico para terminar la maestría. Además por hacer que las fechas especiales sean maravillosas, por el apoyo incondicional cuando más lo necesito y por celebrar conmigo mis triunfos. Eres mi modelo a seguir como profesionista en el área de la Ingeniería Civil y en la especialidad de la Mecánica de Suelos.

- A mi mamá la Sra. Luvia Madrigal López porque siempre me enseñó desde pequeño a ser responsable con mis responsabilidades de la escuela y también por todos tus consejos acerca de la vida.

- A mis hermanos y a mi familia porque todos siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

- Ing. Roberto Sosa Garrido, catedrático de la Facultad de Ingeniería y Posgrado de la UNAM, por su asesoría, comentarios y su disposición de su valioso tiempo, en la elaboración del trabajo de tesis.

- Al jurado asignado: M.I Deménegui Colina Agustín, M.I. Magaña del Toro Roberto, DRA. Ossa López Alexandra y M.I. Zea Constantino Carmelino por sus acertadas recomendaciones, correcciones y sugerencias.

- Al Ing. Diego Gómez Rodríguez por haberme revisado y hacerme sus observaciones en este trabajo.

- A la empresa Yutave Ingeniería S.A de C.V el cual es Director General es mi papa el Ing. Domingo Pérez Verdejo por la disposición de los equipos para la evaluación de pavimentos utilizados en la elaboración de esta tesis.



ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN	PÁGINA
1.1 Objetivos.....	(09)
1.2 Justificación.....	(10)
1.3 Alcances.....	(11)
2. ANTECEDENTES	
2.1 Problemática general de la red nacional de carreteras.....	(12)
2.2 La conservación de carreteras en México.....	(14)
2.3 Costos de ciclo de vida en una carretera.....	(17)
3. ESTADO DEL ARTE DE LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	
3.1 Introducción.....	(20)
3.2 Evaluación Superficial.....	(21)
3.2.1 Regularidad Superficial.....	(21)
3.2.2 Índice de Servicio Actual.....	(29)
3.2.3 Deterioros superficiales de la capa de rodamiento.....	(31)
3.2.4 Resistencia al deslizamiento (Fricción).....	(33)
3.3 Evaluación Estructural.....	(35)
3.3.1 Deflexiones.....	(36)
3.3.1.1 Mediciones de deflexión estática.....	(36)
3.3.1.2 Mediciones de deflexiones debidas a carga dinámica o repetida....	(38)
3.3.1.3 Mediciones de deflexiones debidas a cargas de caída libre.....	(40)
3.3.2 Valor Soporte de California (CBR).....	(42)



4. FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN UN TRAMO CARRETERO (CASO PRÁCTICO: CARRETERA JALAPA-VERACRUZ)

4.1 Antecedentes.....	(44)
4.2 Entorno Geográfico.....	(45)
4.3 Inventario de deterioros.....	(49)
4.4 Medición de la regularidad superficial (ISA e IRI).....	(51)
4.5 Medición de las condiciones estructurales del pavimento (FWD).....	(54)
4.6 Estructura del pavimento existente.....	(56)
4.7 Pruebas de Laboratorio en la sección estructural del camino y del terreno de cimentación.....	(58)
4.8 Medición del Índice de Fricción.....	(60)
4.9 Estudio de tránsito.....	(62)
4.10 Análisis de la estructura del pavimento.....	(64)
4.10.1 ELMOD 6 (Evaluation of layer moduli and overlay design).....	(64)
4.10.2 Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM (DISPAV 5).....	(66)
4.10.3 Análisis comparativo estructural (DISPAV 5) entre FWD Y CBR Crítico.....	(74)
4.10.4 ASSHTO 1993.....	(79)

5. ANÁLISIS DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR EN EL TRAMO ANALIZADO

5.1 Generalidades.....	(85)
5.2 Consideraciones importantes para el análisis de costos de operación.....	(87)
5.3 Análisis del costo operación vehicular usando la metodología del IMT.....	(90)
5.4 Comparación de los costos de operación del estado superficial entre ISA e IRI.....	(97)



6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

6.1 Propuesta de las alternativas de solución.....	(99)
6.2 Justificación de las alternativas de solución.....	(101)
6.3 Análisis económico de las alternativas de solución propuesta.....	(103)
6.4 Comparación entre los análisis económicos desde el punto de vista estructural (Módulos elásticos y CBR críticos).....	(107)

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.....	(108)
7.2 Recomendaciones.....	(110)
7.3 Líneas de investigación futuras.....	(111)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	(112)
---------------------------------	-------

ANEXOS.....	(116)
-------------	-------



RESUMEN

Una administración eficiente de una red de carreteras requiere, entre otros aspectos, la aplicación de acciones de conservación oportunas y eficaces que permitan, por una parte, mantener el patrimonio vial invertido impidiendo un deterioro no controlado del pavimento y, por otro lado, reducir los costos de operación a los usuarios de estas vías.

La evaluación de la capacidad estructural y funcional utilizando ensayos no destructivos se presenta como una alternativa complementaria a las tradicionales, pues permite evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento como un conjunto de capas, reflejando las propiedades de cada una de ellas y la interacción entre las mismas, además de evaluarlas con sus propiedades en terreno.

En México, como en otros países del mundo, la conservación de carreteras es deficiente, dando lugar a economías bajas por causas económicas y por la capacidad técnica del personal. El impacto negativo en la economía por una deficiente conservación de carreteras conlleva a una pérdida en el crecimiento del país.

El problema expuesto, plantea la inquietud de estudiar alternativas de conservación que permitan mantener a los pavimentos en un adecuado nivel de servicio para los usuarios y, de igual manera, a un mínimo los impactos económicos que se producen durante la materialización de estas acciones.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación en el que se busca analizar y promover los métodos de auscultación no destructivos de pavimentos asfálticos, todo esto con el fin de encontrar las soluciones más eficaces para la conservación de carreteras, lo que se traduce en mejoras en el ámbito técnico y económico.



ABSTRACT

An efficient management of a network of roads requires, among other things, the implementation of actions timely and effective conservation that allow, on the one hand, maintain the road assets invested preventing uncontrolled pavement deterioration and, on the other hand, reduce operating costs to the users of these pathways.

The evaluation of the structural and functional performance using non-destructive testing is presented as a complementary alternative to traditional, it allows evaluating the performance of the pavement structure as a set of layers, reflecting the properties of each layer as well the interaction between them addition to evaluating their properties in the field.

In Mexico, as in other countries, road maintenance is poor, leading to low economies for economic reasons and the technical capacity of staff, creating tiny economies. The negative impact on the economy by poor road maintenance leads to a loss in growth.

The problem at hand, raises the concern of studying conservation alternatives that maintain pavements at an adequate level of service for users and, similarly, at minimal economic impacts that occur during the realization of these actions.

This work is part of a research project that seeks to analyze and promote methods of nondestructive asphalt pavement auscultation, all this in order to find the most effective road maintenance solutions, which translates to improved technical and economic level.



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

- a) Presentar un resumen de los principales conceptos que se manejan en la evaluación del estado superficial y estructural de pavimentos en carreteras.

- b) Comparar los diferentes métodos (ISA vs IRI y CBR vs Módulos elásticos), para la formulación de dictámenes técnicos en la conservación de carreteras.

- c) Estudiar y analizar las alternativas de conservación, en un caso práctico, que permitan mantener al pavimento en un adecuado nivel de servicio para los usuarios.

- d) Promover el uso de equipos de auscultación no destructivos para pavimentos, ya que hasta la fecha se usaban principalmente los métodos tradicionales (CBR) sin complementarse con los equipos de auscultación no destructivos.



1.2 Justificación

La justificación de la elección de este tema de tesis se basa en la necesidad de dejar atrás las explicaciones subjetivas y empíricas sobre el comportamiento de los pavimentos en las condiciones actuales y futuras. Fomentar el uso de los equipos no destructivos para la evaluación de comportamiento del pavimento, ya que estos se basan en conceptos analíticos y no empíricos.

Los problemas que se enfrentan en la ejecución de los trabajos de conservación de carreteras, plantean la inquietud de estudiar nuevas alternativas de conservación que permitan mantener los pavimentos en un adecuado nivel de servicio al usuario, y de igual manera reducir a un mínimo, los impactos económicos que se producen durante la materialización de estas acciones.

Al analizar y comparar los métodos tradicionales (CBR e ISA) contra los métodos nuevos (FWD e IRI) se tendrá un diagnóstico más certero de los parámetros más importantes y, con esto, se contará con alternativas de solución más eficaces, lo que se traduce en mejoras en el ámbito técnico y económico.

Definitivamente no es bueno hacer comparaciones entre las mediciones subjetivas con las objetivas en la evaluación de pavimentos, pero fue la finalidad de este tema de investigación, actualmente gran parte de las empresas de consultoría aún realizan la evaluación de pavimentos de manera subjetiva, que continúan basándose en indicadores como el ISA y el CBR; lo cual, como podemos darnos cuenta debido al análisis realizado en éste trabajo de investigación profesional, se reflejará finalmente en la economía de nuestro país.



1.3 Alcances

- Obtener un protocolo para la formulación de dictámenes técnicos en la conservación de carreteras que servirá para seleccionar el método o los métodos de conservación óptimos, desde el punto de vista técnico y económico.
- Comparar los métodos tradicionales con los nuevos avances tecnológicos, tanto en la evaluación, como en el diseño y revisión estructural de los pavimentos en operación.
- Presentar un caso práctico de un diagnóstico de las condiciones superficiales y estructurales de un pavimento flexible en operación, así como presentar las alternativas de los trabajos de conservación necesarios para mantenerlo en un adecuado nivel de servicio.



CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

2.1 Problemática general de la red nacional de carreteras

Se ha visto en México que si se cuenta con una infraestructura adecuada, el país es más productivo, ya que por estas se mueve un porcentaje muy alto de productos y de personas, por lo que si se mantienen en óptimas condiciones, los gastos generados, tanto para los usuarios, como para las dependencias encargadas de su conservación será mucho menor y tendrán una vida económica mayor.

La red de carreteras mexicanas nació y se desarrolló a principios de siglo con el objetivo básico de integrar el país, fase que aún no termina; sin embargo, debido a que todo nuestro sistema de transporte terrestre depende fundamentalmente del estado físico de la red carretera, actualmente se requiere que el transporte opere con base en otros parámetros de eficiencia.

¿En qué estriba la importancia del estado físico de nuestra red carretera?

Porque a través de nuestra red de carreteras fluye el 80% de las cargas que se mueven en el territorio nacional y es la encargada de aproximadamente el 98% del traslado de pasajeros, también ha sido uno de los elementos básicos para la transformación y desarrollo de nuestro país. (SCT, Subsecretaría de Infraestructura 2013)

La estructura del pavimento y terracerías de la red básica de carreteras generalmente datan de las épocas de 1920 a 1930 y de 1950 a 1970, en la que la red carretera tuvo un desarrollo importante. En esas épocas el vehículo más pesado que recorría las carreteras nacionales llegaba a pesar de 7 a 8 toneladas, en la actualidad los vehículos que circulan superan las 60 toneladas; además los aforos vehiculares que se tenían eran de 2,000 a 3,000 vehículos diarios, de los cuales el 10% fueron camiones de carga. Hoy en día es común ver, en la red básica de carreteras, de 4 hasta 8 veces más el número de vehículos y



la proporción aumentó considerablemente a los niveles de 30 o 40% de camiones de carga.

Debido a lo anterior, es necesario un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos, acorde con las necesidades creadas por el aumento de las solicitudes de carga.

En términos generales, la mayoría de las carreteras del país han sido sub diseñadas tanto geométricamente como estructuralmente, lo cual ha hecho que se requiera su ampliación y reforzamiento para satisfacer las crecientes necesidades del tránsito moderno.

En el actual contexto del país, México no puede rezagarse en cuanto al tema de infraestructura vial, deberá hacer un gran esfuerzo del que sea capaz, para ocupar el lugar que le corresponde dentro de la dinámica del cambio mundial.

Por lo anterior, es importante mencionar algunos de los requerimientos más importantes de la infraestructura carretera para las próximas dos décadas; basándose en el proyecto de gran visión "México 2030" y, tomando como referencia el año 2012, se menciona lo siguiente: Dentro del ámbito de las carreteras, la red pavimentada deberá alcanzar los 150,000 km y se requerirán alrededor de 12,000 km adicionales de autopistas y carreteras de altas especificaciones. Deberá de incrementarse la inversión destinada a la conservación y modernización de la red. Se deben diseñar las carreteras con las especificaciones requeridas para garantizar su seguridad, economía y durabilidad, utilizando materiales y productos con especificaciones que tomen en cuenta su comportamiento a largo plazo. (SCT, Subsecretaría de Infraestructura 2013)

Las carreteras que ya existen deberán reforzarse y ampliarse para dar cabida al volumen de tránsito, principalmente, pesado ya que estos son los que producen mayores esfuerzos y, en consecuencia, podrían generar mayor deterioro en las vías terrestres.



2.2 La conservación de carreteras en México

Toda obra de ingeniería aún antes de ser concluida, requiere de un monitoreo constante y mantenimiento preventivo. Naturalmente las carreteras no son una excepción, ya que por sus características quedan expuestas al ataque permanente de agentes naturales y el efecto de las cargas que soportan sus elementos estructurales.

Una administración eficiente de una red de caminos requiere de la aplicación de conservaciones oportunas y eficaces. La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista funcional, como estructural, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas.

Toda obra de conservación, especialmente cuando se trata de rehabilitaciones mayores, produce importantes inconvenientes operacionales y de seguridad a los usuarios así como impactos negativos al comercio, servicios, etc.

El problema expuesto en el párrafo anterior, plantea la inquietud de estudiar alternativas de conservación que permitan mantener a los pavimentos en un adecuado nivel de servicio para los usuarios y, por otra parte, reducir a un mínimo los impactos económicos que se producen durante la materialización de estas acciones.

La Dirección General de Conservación de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes atiende en nuestro país las carreteras libres de peaje, mismas que tienen para el 2013 una longitud de 40,563 km, la cual está conformada por 14 corredores troncales que son las principales vías del país tiene una longitud de 9,898 km.



Figura 2.1. Los principales ejes troncales de México hasta el año 2013 (Fuente: DGCC, SCT).

Los problemas que afectan la buena conservación de carreteras y en particular los corredores troncales son principalmente los siguientes:

- Falta de oportunidad de los trabajos, los cuales se realizan, con frecuencia, aún en temporada de lluvias o se realizan cuando los pavimentos se encuentran muy deteriorados.
- No se respetan las especificaciones de diseño de mezclas asfálticas, y se construyen capas asfálticas con vacíos altos lo cual favorece el deterioro de estas capas.
- El empleo de materiales pétreos de baja calidad o de productos asfálticos inadecuados.
- Otro factor es el incumplimiento de las condiciones de calidad de capas de base, sub base y otras.
- Utilización de procedimientos constructivos obsoletos, como lo son la elaboración de mezclas asfálticas en el lugar, con el empleo de motoconformadora y el uso de asfaltos rebajados, lo cual produce carpetas asfálticas de baja calidad, con



comportamiento deficiente, alto costo y desperdicio de recursos no renovables y un efecto no menos importante, de contaminación ambiental.

Con la conservación de carreteras se persiguen los siguientes objetivos:

- 1) Preservar el patrimonio carretero nacional.
- 2) Proporcionar las condiciones de seguridad y comodidad para el traslado de pasajeros (los usuarios).
- 3) Facilitar el intercambio de bienes y servicios entre las diversas regiones del país.

En México como en otros países del mundo, la conservación de carreteras es deficiente dando lugar a economías bajas, por causas económicas y por la capacidad técnica del personal. El impacto negativo en la economía por una deficiente conservación de carreteras conlleva una pérdida en el crecimiento del país, por lo tanto se deben tener planes y estrategias para evitarlo, haciendo gran énfasis en el financiamiento, la planeación y la tecnología a la hora de ejecutarlos.



2.3 Costos de ciclo de vida en una carretera

El sistema primario de costos para el análisis del ciclo de vida incluye: **los costos de construcción, de conservación y los costos de operación vehicular.**

El análisis de costo del ciclo de vida es una herramienta fundamental para evaluar proyectos de inversión y aplica el concepto de tasa de actualización a los costos del ciclo de vida de dos o más alternativas, que pueden integrar un proyecto dado. Generalmente el LCCA (Life-Cycle Cost Analysis por sus siglas en inglés) es usado por analistas que buscan minimizar el costo del ciclo de vida, es decir, no sólo los costos iniciales, sino también los costos futuros durante la vida útil del proyecto.

Aplicaciones del análisis de costos del ciclo de vida

A continuación se presentan las principales aplicaciones del análisis del costo del ciclo de vida.

- Diseño, selección y documentación de las opciones más redituables para la ejecución de un proyecto o el logro de un objetivo.
- Evaluación de estrategias de conservación de pavimentos.
- Planeación e implementación de proyectos, especialmente al considerar diferentes áreas de trabajo.
- Debe hacerse notar que en todos los casos anteriores, se trata de evaluar diferentes propuestas con iguales grados de servicio. Si se tratara de alternativas en los que existe una diferencia en el nivel de servicios, la herramienta a usar podría ser un análisis de costo beneficio.



Al aplicar esta herramienta, el analista debe tomar en cuenta un periodo de tiempo suficiente para que la tasa de descuento funcione correctamente. El no abarcar un periodo suficiente en el análisis, así como el incluir costos que difieren significativamente entre las diferentes alternativas, puede producir resultados poco precisos. Por ejemplo, el periodo de tiempo al evaluar proyectos de conservación de carreteras puede ser de 20 a 40 años.

Los costos más importantes a tomar en cuenta en el costo de ciclo de vida son los siguientes:

- Costos iniciales de construcción, que implican la realización de un proyecto.
- Costos de conservación, que son aquellos que abarcan las inversiones para mantener el camino en buenas condiciones, así como de conservar la calidad de servicio para el usuario, enfrentando el probable crecimiento en la demanda.
- Costos de operación, que se producen cotidianamente por la circulación de los vehículos por dicho camino.

Cuando se evalúan alternativas con objetivos idénticos, es común que algunos de sus costos sean iguales en cantidad y en tiempo de aplicación, por lo cual pueden no ser evaluados. En este caso el análisis de costos de ciclo de vida se debe concentrar principalmente en aquellos costos que difieren de una propuesta a otra.

Otros costos a tomar en cuenta son los llamados “Costos del Usuario”, que son los costos en los que los usuarios incurren al hacer uso del proyecto carretero. Estos costos sí pueden variar significativamente entre una y otra opción (alternativas de conservación propuestas) y más al hablar de los requerimientos de las diferentes zonas de trabajo en la construcción o rehabilitación.



En la tabla 2.1 se mencionan algunos de los costos más comunes y su clasificación.

Tabla 2.1 - Principales costos de agencia y costos de usuario (Fuente: Elaboración propia).

COSTOS DE LA DEPENDENCIA	COSTOS DEL USUARIO
Diseño e Ingeniería	Retrasos
Adquisición de terreno	Accidentes
Construcción	Costos de Operación de los vehículos
Rutinas de mantenimiento/Preservación	
Rehabilitación/ Reconstrucción	

Existe una controversia al evaluar los costos de la Dependencia los costos del usuario, ya que muchas compañías prefieren relegar estos últimos, pues es difícil estimarlos al hablar, por ejemplo, de retrasos en las áreas de trabajo. Sin embargo, esta práctica de relegar los costos del usuario puede resultar inconveniente para el análisis del costo de ciclo vida.

Algunas de las herramientas usadas en el análisis de costo de ciclo de vida, son hojas de cálculo y técnicas de análisis de riesgo. El Análisis del Ciclo de Vida del proyecto, es uno de los pilares del funcionamiento del sistema HDM-4, (Highway Development and Management System, por sus siglas en inglés) que es un modelo de gestión de carreteras, ya que permite visualizar el comportamiento del pavimento, año con año, hasta el final de su vida útil.



CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE DE LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

3.1 Introducción

La evaluación o auscultación de pavimentos para autopistas, aeropistas o vialidades urbanas, consiste en la valoración de su comportamiento, tanto superficial, como estructural, con un enfoque fundamentalmente geotécnico, ya que se consideran a todas las capas del pavimento, incluyendo su cimentación, como si fueran estratos de suelo que interactúan entre sí.

La evaluación de pavimentos proporciona información que permite desarrollar programas de inversión y mantenimiento, fases dentro del sistema de administración de pavimentos mediante las cuales se determinan las diferencias en secciones de pavimentos y por lo tanto se identifican las necesidades de rehabilitación.

En el caso de pavimentos nuevos, la información procedente de la evaluación sirve como retroalimentación para el diseño y la construcción de mejores pavimentos, así también para conocer su estado inicial de operación, como punto de partida. Es por esta razón, que la evaluación es esencial para una buena administración de pavimentos, ya que está íntimamente ligada con todas las fases: inversión/programación, diseño, construcción, mantenimiento e investigación.

Los objetivos de la evaluación de pavimentos son los siguientes:

- Detectar signos premonitorios de posibles fallas.
- Analizar el comportamiento de los pavimentos con vistas a confirmar o modificar los criterios de diseño utilizados.



- Determinar la necesidad y establecer prioridades para trabajos de conservación.
- Determinar la necesidad de una evaluación estructural y funcional detallada para el proyecto de obras de rehabilitación.

3.2 Evaluación Superficial

La evaluación funcional o superficial del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la seguridad, el servicio e incrementan los costos del usuario.

3.2.1 Regularidad Superficial

La regularidad superficial está determinada por la geometría del perfil longitudinal e influye de manera importante en la seguridad, la comodidad de los usuarios y en la economía de la conservación de pavimentos.

En México no ha sido una práctica común la rehabilitación de caminos por problemas de regularidad superficial. Afortunadamente, esta situación está cambiando y cada vez se le da mayor importancia a esta característica, ya que influye sobre tres factores relacionados con el tránsito.

- Vehículos
- Usuarios
- Carretera



En efecto, una mala regularidad superficial produce movimientos verticales del vehículo, que pueden verse incrementados según la forma de las irregularidades de las carreteras.

Estos movimientos indeseables producen, en el vehículo, un desgaste mecánico anormal, un mayor consumo de combustible y una disminución de la adherencia del vehículo con el pavimento y, en casos extremos, accidentes.

Para los ocupantes del vehículo significan una incomodidad, que puede afectar en mayor o menor medida la seguridad como consecuencia del cansancio, especialmente del conductor y la pérdida de atención necesaria en el manejo del vehículo. Esta circunstancia es en tanto más grave cuanto mayor sea la velocidad del vehículo.

La sensación de comodidad de los ocupantes del vehículo depende de las aceleraciones experimentadas por frecuencias determinadas. Estudios realizados han demostrado que la incomodidad producida a los usuarios por los movimientos inducidos debido a las irregularidades de la superficie del pavimento, dependen de las aceleraciones que producen estas irregularidades y de la frecuencia de los movimientos de tipo oscilatorio que se genera.

Las frecuencias más molestas para los ocupantes de los vehículos están comprendidas entre 2 y 5 Hz. En estas frecuencias, aceleraciones comprendidas entre 0.4 y $1 \left(\frac{m}{s^2}\right)$ producen sensaciones molestas para los viajeros. Aceleraciones superiores a $2 \left(\frac{m}{s^2}\right)$ producen desordenes físicos en los usuarios del vehículo. Estos movimientos verticales producen acciones dinámicas que inducen a aceleraciones verticales de los vehículos con el pavimento, reduciendo de manera considerable la vida útil de un vehículo, ya que se genera un desgaste mecánico anormal; así mismo, con la acumulación de estos impactos se amplifican los deterioros superficiales, exigiendo inversiones en conservación superior y con mayor frecuencia. (Dr. Erwin Kohler, Curso sobre IRI, *Dynatest*, 2008)



Figura. 3.1. Perfil irregular exagerado de una carretera (Fuente: Dr. Erwin Kohler, Dynatest, 2008).

En la figura 3.2 se ilustra el efecto que tiene la velocidad de operación de los vehículos en la vida útil del pavimento. Para una irregularidad superficial inicial dada (punto 1), si la velocidad de operación es baja (punto 2), resultará una vida útil determinada en el pavimento (punto 3). Cuando la velocidad de operación aumenta (punto 4), habrá una reducción en su vida útil (punto 5) debido al efecto dinámico mencionado que, en general, reduce la capacidad estructural (en la parte superior) del pavimento. He ahí la importancia de la evaluación superficial de carácter geotécnico.

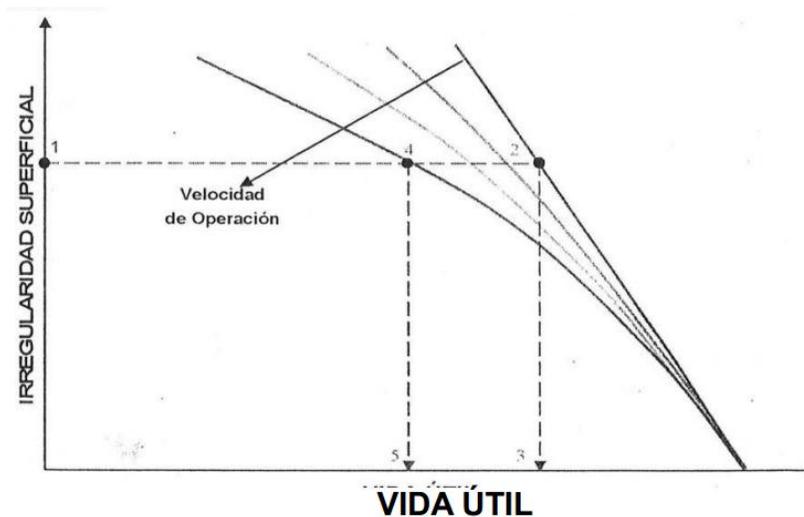


Figura. 3.2. Efecto de la velocidad de operación en la vida de un pavimento (Fuente: Orozco-Santoyo, 1999).



Índice de Irregularidad Superficial (IRI)

La gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial y los numerosos índices y escalas existentes para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, llevaron a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Debido a que cada país contaba con un equipo propio, no se podía especificar un solo equipo a todos y tampoco se podía impedir las futuras mejoras de los equipos existentes o el desarrollo de nuevos equipos.

Debido a lo anterior, a partir de 1986, el Banco Mundial establece como parámetro universal el IRI (en inglés: *International Roughness Index*), como medición de la regularidad de la superficie. Aunque la traducción exacta del término "Roughness" es "rugosidad", se ha adoptado "irregularidad" como un calificativo más adecuado a la hora de definir el IRI.

Éste parámetro se define como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodamiento de un tramo carretero, entre la longitud del mismo y sus unidades son **m/km**.

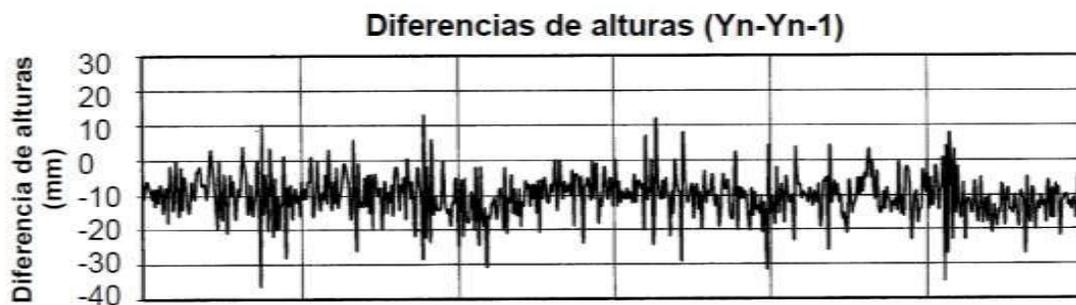


Figura.3.3 Diferencias de alturas para explicar el concepto de IRI (Fuente: Publicación Técnica N°108, IMT 1998).



En México es conveniente evaluar en todos los casos el Índice de Irregularidad Internacional en ciertos tramos para conocer el estado actual de la red y estimar el rango de valores en que se encuentran las carreteras y , de esta manera , proponer una zona o umbral de alerta con respecto a la escala del IRI, esto permitirá conocer cuáles son los tramos, que en ese momento, requieren de un estudio más detallado para conocer las causas de su deterioro y poder programar su reparación y en cuales tramos, por ese año, no se requieren conservación (tramos que no entran en esa zona).

A una gran porción de la red carretera nacional en donde se han realizado cálculos del IRI, se observan valores comprendidos entre 1.6 y 8 m/km, siendo los más comunes y representativos, los tramos que resultaron con valores entre 3 y 6 m/km.

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mí.
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.
- Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente general de la carretera, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente en segmentos relativamente pequeños. Los valores del IRI más usuales y las características del pavimento se muestran en la figura 3.4.

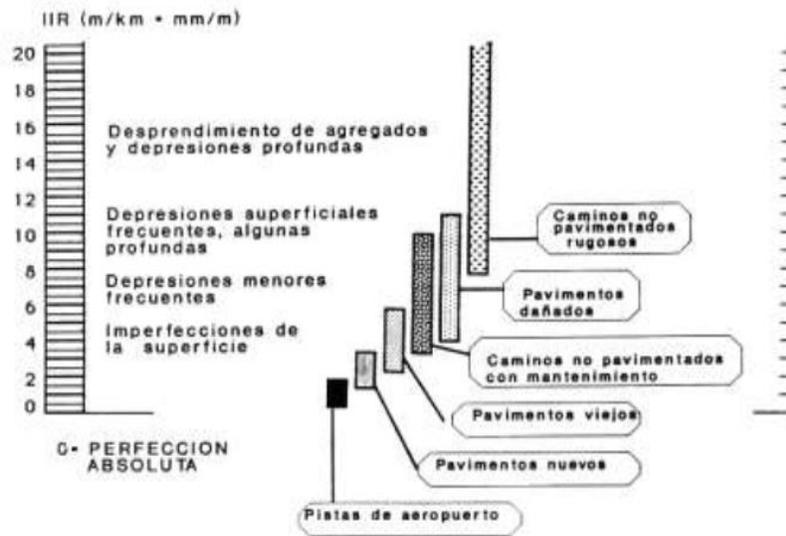


Figura. 3.4. Valores de IRI dependiendo las características del pavimento (Publicación Técnica 108, IMT, 1998).

Es muy importante señalar que el perfil longitudinal no es lo mismo que el IRI, ya que el perfil se mide por medio de dispositivos topográficos y el IRI se calcula a partir del perfil longitudinal de un camino. El cálculo del Índice de Irregularidad Superficial se basa en un modelo matemático llamado cuarto de carro normalizado (Quarter-Car), llamado así por corresponder a la cuarta parte de un auto dibujado en planta a lo que le corresponde: una llanta, una parte proporcional de masas de carrocería, suspensión, amortiguador, etc.

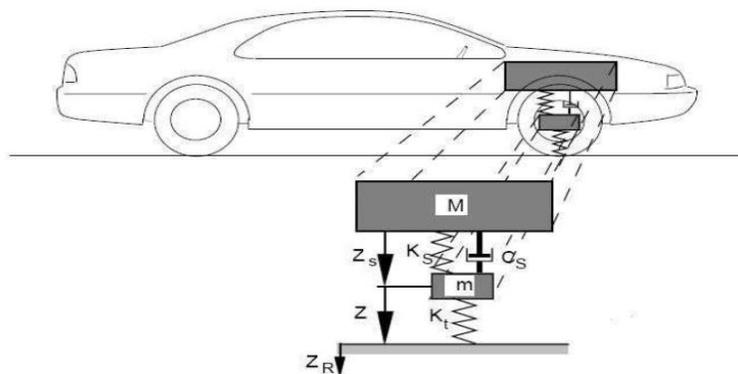


Figura. 3.5.- Modelo Cuarto de Carro (Fuente: Dr. Erwin Kohler, Dynatest, 2008).



En la figura 3.5, se puede observar la cota del perfil longitudinal igual a “Z_r”, éste corresponde al dato de entrada del modelo matemático.

Para éste modelo existen ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento de esta estructura, cuya solución se programó en lenguaje Basic y se le asignó el nombre de “¼ de coche” tanto al software como al modelo matemático que simula al vehículo.

Por medio de éste programa se obtienen las diferencias relativas entre las masas (Z_s y Z) para luego obtener el IRI al dividir estas sumas de diferencias relativas por una longitud determinada.

Por lo tanto, el cálculo del IRI se establece con la siguiente expresión (1)

$$IRI = \frac{\sum |Z_s - Z|}{L} \dots \dots \dots (1)$$

Los equipos para la evaluación del IRI pueden ser clasificados en cinco grandes categorías, tales como:

- Nivel y estatal.
- Equipos Dipstick.
- Equipos de tipo respuesta.
- Perfilógrafos de rueda sensible.
- Perfilómetros inerciales o de alto rendimiento.

En este caso, el equipo en que nos enfocaremos por su exactitud y su versatilidad es el perfilómetro inercial o láser, a continuación se presenta una breve explicación de su funcionamiento.

El perfilómetro láser o RSP (Road Surface Profilometer) produce medidas continuas, a velocidades de autopistas, de los perfiles longitudinales y transversales de una carretera, incluyendo la irregularidad superficial y el ahuellamiento en tiempo real. Las mediciones pueden ser hechas con referencia a un sistema lineal (kilómetros o millas) o de GPS (Figura 3.6).



Figura. 3.6. Perfilómetro láser en operación (Fuente: Yutave Ingeniería S.A de C.V, 2013).

La medición del perfil longitudinal está basado en el método "South Dakota". Este equipo posee un acelerómetro como referencia inercial mismo que es usado para obtener el movimiento vertical del vehículo, y un sensor láser que es usado para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento, tal como se muestra en la figura 3.7.

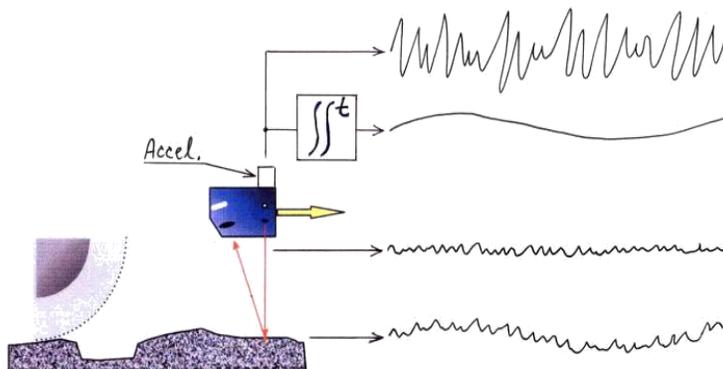


Figura 3.7. Principio de medición del perfil longitudinal (Fuente: Curso de operación de RSP, Dynatest).



Las mediciones del perfil son obtenidas entonces al sumar el movimiento del vehículo con el desplazamiento entre el vehículo y la superficie. El IRI es calculado de acuerdo con las especificaciones del Banco Mundial.

El perfil obtenido con el RSP cumple con la precisión y el sesgo de un equipo de clase 1 según la norma ASTM E-950. El perfil transversal y/o el ahuellamiento son medidos con 11 sensores láser que están en la barra delantera del equipo (Rut Bar). Esta información puede ser usada para estimar la calidad y verificación de los requisitos de un recubrimiento, si es aplicable.

Para concluir, es importante mencionar que para el caso de las autopistas de cuota que conforman los corredores troncales del país, el nivel de rechazo es del IRI es de **2.81 m/km**. Una vez alcanzado este valor será necesario realizar estudios para definir los trabajos de rehabilitación, reconstrucción de la carretera. Adicionalmente se deberá definir las zonas donde se requieran trabajos de conservación (valores menores de **2.81 m/km**).

3.2.2 Índice de Servicio Actual (ISA)

La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentran los pavimentos, principalmente, la capa de rodamiento y los elementos que constituyen la seguridad vial. Los pavimentos que experimentan un deterioro relativamente acelerado son los que requieren la mayor inversión, por lo que, con el desarrollo masivo de las carreteras pavimentadas, las entidades responsables de la conservación debieron plantearse las interrogantes de cuando intervenir y de cómo medir el nivel de deterioro.

La serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito con comodidad, seguridad y economía, para el cual fue diseñado. Por otro lado, para evaluar la calidad de la superficie de las carreteras en México, durante muchos años, se



utilizó el método desarrollado en los años 60's por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), el cual toma en cuenta un parámetro denominado Valor Presente de Serviciabilidad (Present Serviciability Rating, PSR). Este método es mejor conocido en México como Índice de Servicio Actual (ISA).

El índice de servicio actual consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación y es determinado por un grupo o panel de evaluadores de manera subjetiva.

Es de suma importancia mencionar que la calificación actual toma en cuenta exclusivamente el estado de la superficie de rodamiento en el momento de la inspección, sin que influya en la misma el conocimiento que tenga el observador de posibles condiciones futuras del pavimento. Tampoco influyen en la calificación actual aspectos del camino tales como: diseño geométrico, diseño del pavimento, estado de los acotamientos, taludes, etc.

En el método ISA, cada evaluador debe calificar el camino de una manera subjetiva en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie perfecta, respectivamente.

Tabla 3.1 Criterio de calificación del método ISA (Fuente: Elaboración Propia)

CALIFICACIÓN	CONDICIÓN SUPERFICIAL
5	Excelente
4-5	Muy buena
3-4	Buena
2-3	Regular
1-2	Mala
0-1	Muy mala



El resultado de cada sección de pavimento deberá ser reportado por separado, como el promedio del valor asignado por el grupo de evaluadores. Éste método ha ayudado a estimar de una manera subjetiva las condiciones en las que se encontraban algunos tramos carreteros en nuestro país en épocas anteriores, con rapidez y sin interrumpir el flujo de vehículos.

3.2.3 Deterioros superficiales de la capa de rodamiento

Los deterioros superficiales son aquellos defectos que se manifiestan en la superficie del pavimento, se pueden determinar mediante estudios cuantitativos sin la necesidad de utilizar equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan la falla o el deterioro.

Es importante, por lo tanto, efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección visual y detallada empleando formatos diseñadas especialmente para este efecto. Estos formatos según la importancia del proyecto pueden ser elaborados con diferentes grados de detalle.

Un pavimento perfecto tiene una superficie continua sin irregularidades; en contraste, un pavimento dañado puede estar fracturado, distorsionado o desintegrado. Estas últimas 3 categorías básicas se pueden seguir subdividiendo; por ejemplo, las fracturas se pueden considerar como grietas en la superficie de rodamiento. Las grietas pueden describirse como, transversales, longitudinales, en fragmentos o pequeños polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo y/o en bloques semejantes a la subdivisión política en un mapa.

Una distorsión del pavimento se puede poner en evidencia debido a baches o el corrugado de la superficie de rodamiento. La desintegración del pavimento se puede observar como

desmoronamiento o pérdida de la estructura del pavimento desde las capas inferiores y cambios en el acabado de la superficie de rodamiento.



Figura 3.8 Agrietamiento en bloque (Fuente: Apuntes de ingeniería de pavimentos Ing. Fernando Sánchez Sabogal. 2012)

Generalmente una carga monótonica no genera grietas en el pavimento, pero las repeticiones de dichas cargas pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortante y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la formación de micro grietas. Estas micro grietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar grietas visibles. Este proceso se llama fatiga.



Figura. 3.9 Bache producido por el agrietamiento por fatiga (Carretera Libre Tepic- Guadalajara Km. 16+200, 2012)

Se han usado diferentes métodos de prueba, a través del mundo, para medir la fatiga en laboratorio. Sin embargo se consideró que la prueba de flexión repetida reproduce con mejor representatividad las condiciones de campo, y además es una prueba fácil de



ejecutar. En la norma AASHTO T 321 “Standard Test for Determination of the Fatigue Life of Compacted HMA Subjected Repeated Flexural Bending” se siguen a detalle la forma adecuada para la ejecución de esta prueba.

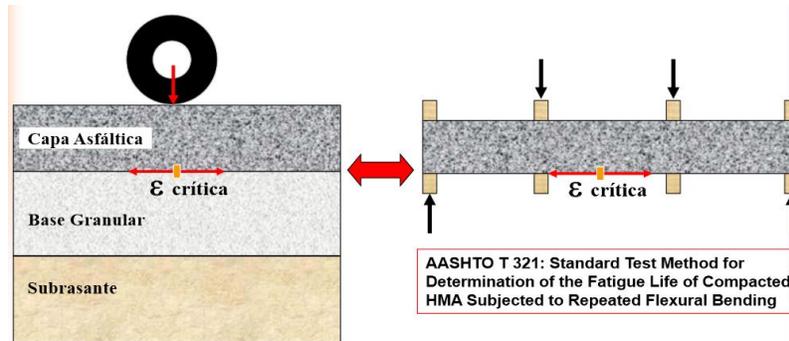


Figura.3.10 Representación la prueba a flexión para medir la fatiga en laboratorio (Fuente: Apuntes de pavimentos Ing. Fernando Sánchez Sabogal)

3.2.4 Resistencia al deslizamiento (Fricción)

Los accidentes que ocurren en el sistema carretero de México son un factor que afecta drásticamente la calidad y eficiencia del servicio de las carreteras, y que se refleja en los tiempos y costos de operación. Por lo anterior, existe un gran interés en conocer y entender los factores que contribuyen a generar accidentes viales y en la forma en que se puede evaluar, simular y definir ciertos parámetros que garanticen la seguridad en las carreteras.

Las características de fricción en el pavimento juegan un papel importante en la seguridad de la carretera. La superficie de rodamiento del pavimento debe proporcionar un adecuado nivel de fricción en la interfaz: neumático – pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos.

La información relacionada con la resistencia al deslizamiento es recolectada para evaluar la eficiencia que tiene un pavimento para evitar o reducir los accidentes relacionados con el deslizamiento o fricción. El coeficiente de fricción al deslizamiento, entre una rueda y el pavimento depende de factores como las condiciones climáticas, la textura del pavimento, el estado del neumático y la velocidad de circulación.



Los dispositivos más comunes para medir el coeficiente de fricción en carreteras son los **Mu-meter** y **Dynamic Friction Testes (DFT)** los cuales básicamente se anclan de un remolque y realizan un recorrido en línea recta sobre una superficie mojada, con ambas ruedas frenadas e inclinadas a una velocidad dictaminadas por normatividad mostradas posteriormente . Esta prueba es conocida como Dynamic Friction Tester (Prueba de Fricción Dinámica) trata de simular las condiciones de un vehículo en movimiento en la condición más crítica que sucede cuando el vehículo está frenando en un pavimento mojado y en zona de curvas.



Figura. 3.11 Dynamic Friction Tester (DFT) en prueba de fricción dinámica (Fuente: Yutave Ingeniería S.A de C.V, 2009).

Según la Norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes denominada como, **N.CSV.CAR.3.02.005/06**, la resistencia a la fricción de un pavimento asfáltico **debe ser igual o mayor a seis décimas (0.60)**, medida con un equipo especial a una velocidad promedio de 75 km/hr, por lo menos en la huella de la rodada externa de cada línea de tendido. El contratista hará esta verificación mediante el método utilizado para la medición del Índice de Fricción, indicado en la norma: **ASTM E 670 “Método Estándar de Prueba Fuerza de Fricción Lateral en Superficies Pavimentadas Utilizando el Mu-Meter”**.



3.3 Evaluación Estructural

La evaluación estructural del pavimento tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural genera en éste un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, lo cual requiere de trabajos correctivos de mayor índole.

La adecuación estructural del pavimento se mide, ya sea con métodos no destructivos en donde se obtiene la deflexión bajo cargas estáticas o dinámicas, o con pruebas de falla que se realizan en laboratorio; debido a que no es objetivo profundizar en éste tipo de ensayos, sólo se mencionan como una opción de análisis.

En la figura 3.12 se ilustra el efecto de la velocidad de operación de los vehículos en la vida útil del pavimento. Para una capacidad estructural inicial dada (punto 1), si la velocidad de operación es baja (punto 2), resultará una vida útil determinada en el pavimento (punto 3). Pero, cuando la velocidad de operación aumenta (punto 4), también aumentará la vida útil (punto 5), como ocurre en los carriles de alta velocidad; es decir, el tiempo de aplicación de las cargas es menor y, por ende, la duración del pavimento será mayor, además de otros parámetros que influyen en ésta. Entre estos, hay que tomar en cuenta que se presenta un efecto dinámico, ya que al aumentar la velocidad de tránsito se incrementa la frecuencia de vibración, la cual causa menor daño a los materiales térreos en general.

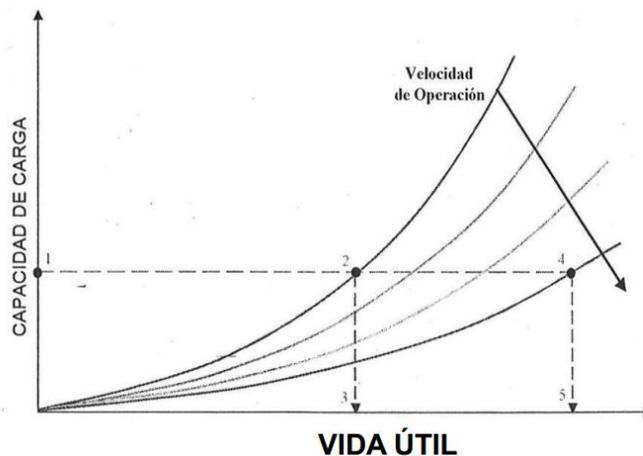


Figura 3.12 Efectos de la velocidad de operación en la vida de un pavimento (Fuente: Orozco-Santoyo ,1999).



3.3.1 Deflexiones

Las pruebas de deflexión superficial se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante la aplicación de carga con dispositivos especiales. Estas deflexiones desaparecen una vez que se retira la carga aplicada

Los tres métodos básicos para la medición de deflexiones son:

- Mediciones de deflexión debida a carga estática.
- Mediciones de deflexiones debidas a carga dinámica o repetida.
- Mediciones de deflexiones debidas a cargas de caída libre (cargas por impacto).

3.3.1.1 Mediciones de deflexión debidas a carga estática

Uno de los métodos que aún se usa en forma extensa en México para medir deflexiones estáticas es la Viga Benkelman, llamada así en honor al Ing. A. C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO RoadTest. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona. Este tipo de mediciones de deflexión debidas a carga estáticas se usa en pavimentos de concreto asfáltico.

Consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que trasmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador (Figura 3.13). La viga de Benkelman se utiliza con un camión, generalmente, cargado aproximadamente a 80 kN (18,000 libras, 8,164 kg) en un eje sencillo con neumáticos duales inflados a una presión de entre 480 a 550 kpa (70 a 80 PSI).

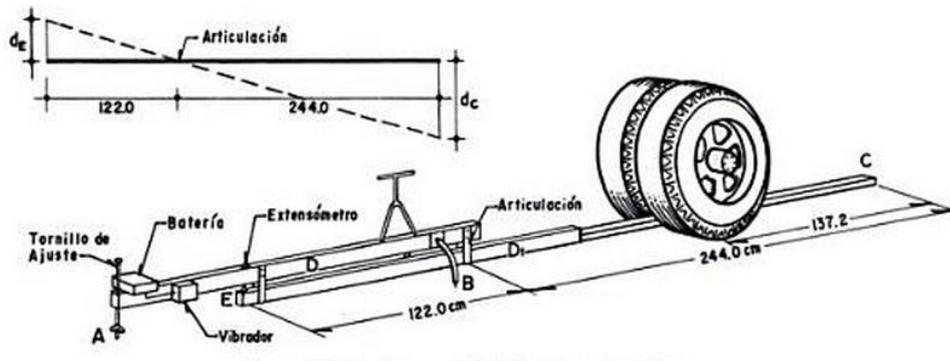


Figura. 3.13 Esquema operacional de la Viga Benkelman (Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres, Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo, 1974).

La base matemática de la viga Benkelman, lo constituye el Modelo de Hogg, (Hogg 1944). Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa.

La metodología interpretativa de la viga Benkelman consiste básicamente en comparar las curvas de deflexiones medidas con las curvas de deflexiones teóricas, obtenidas "cargando" el modelo de Hogg con la misma configuración y magnitud de carga utilizada en los ensayos de campo.

La concordancia entre una curva experimental con algunas de las teóricas, corresponde generalmente a una única combinación de parámetros elásticos del modelo, que de esa manera pasan a caracterizar al pavimento evaluado.

La metodología se complementa con otros conceptos de la teoría de capas elásticas y con observaciones experimentales para determinar ciertas propiedades de ingeniería de los materiales que pueden usarse para establecer las necesidades de refuerzo.

La descripción del método de prueba con la viga Benkelman se encuentra en las especificaciones:

- AASHTO T 256: Medidas de la deflexión del pavimento.
- ASTM D 4695: Medidas generales de la deflexión de un pavimento.



Figura 3.14.- Medición de deflexiones con Viga Benkelman (Fuente: Camineros.com, 2008).

3.3.1.2 Mediciones de deflexiones debidas a carga dinámica o repetida

El método más común es de la carga dinámica para medir deflexiones de un pavimento es el método que desarrolló la empresa Dynaflect, que consiste básicamente en un generador dinámico de fuerza cíclica montado en un remolque de 2 ruedas, una unidad de control y una unidad calibrador del sensor.

Éste método proporciona mediciones rápidas y precisas de deflexiones de la carpeta, que en esta prueba se deben a fuerzas generadas por volantes desbalanceados que giran en direcciones contrarias.

En esta prueba se produce una fuerza vertical de 1,000 lb (453.59 kg) en las ruedas de carga y las deflexiones se miden en 5 puntos sobre la superficie del pavimento los cuales están separados a 1 pie (30.48 cm) de distancia.



Figura 3.15.- Dynaflect en el laboratorio de Vías Terrestres (Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM, 2014).

El equipo está debe permanecer inmóvil cuando las medidas se toman con el generador de fuerza (contador giratorio de pesos) encendido y los geófonos colocados a la superficie del pavimento. Un geófono es un transductor en este caso de desplazamiento que convierte el movimiento del suelo producidas por ondas sísmicas en impulsos eléctricos. En la figura 3.16, que se presenta a continuación, se muestra un diagrama de la fuerza típica de salida de éste equipo.

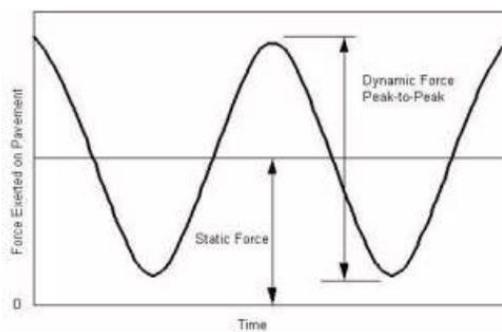


Figura 3.16- Diagrama de salida de fuerza del Dynaflect (Fuente: camineros.com).



3.3.1.3 Mediciones de deflexiones de cargas de caída libre (cargas por impacto)

Todos los equipos de medición por carga de impacto entregan una carga transitoria de impulso a la superficie del pavimento. La respuesta subsecuente del pavimento es medida por una serie de geófonos.

Existe 2 tipos de deflectómetros de impacto, el FWD (Falling Weight Deflectometer) y el HWD (Heavy Weight Deflectometer). Nos enfocaremos a estudiar el FWD ya que se usa más para carreteras mientras que el HWD tiene mayor uso en pistas de aterrizajes de aeropuertos. El equipo FWD, se encarga de crear un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa a partir de alturas variables sobre un sistema de resortes o caucho.



Figura 3.17.- Falling Weight Deflectometer Dynatest (Fuente: Yutave Ingeniería S.A de C.V., .2010).

El uso de deflectómetros de impacto permite determinar la cuenca de deflexión causada por una carga controlada, con una exactitud y resolución superior a los otros métodos de ensayo existentes ya que cuenta con 9 geófonos los cuales tienen la función de medir el desplazamiento del suelo para luego calcular las deflexiones de la superficie del pavimento. Los deflectómetros de impacto producen una carga de impulso dinámico instantáneo la cual simula la carga de una rueda en movimiento en lugar de una carga estática o vibratoria.

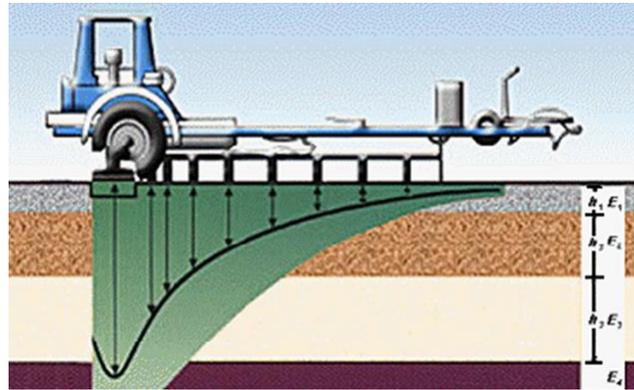


Figura 3.18.- Cuenca de deflexiones típica de un pavimento flexible (Fuente: Dynatest).

La deflectometría de impacto analiza las estructuras de los pavimentos de la misma forma que otras estructuras de ingeniería civil usando métodos basados en teorías mecanicistas tales como la elasticidad. Los datos generados con el equipo FWD, combinado con los espesores de las capas, pueden ser usados con confianza para calcular los módulos de elasticidad, de las distintas capas que conforman la estructura de un pavimento. Esta información puede ser usada en un análisis estructural para determinar la capacidad portante de un pavimento, estimar la vida remanente y calcular el espesor del refuerzo estructural en términos de una sobrecarpeta, en caso de que se requiera para conseguir una vida determinada.

La primera ventaja de este método es que el sistema de aplicación de la carga es similar al de las cargas dinámicas producidas por los vehículos reales que afectan y dañan una carretera. La escasa duración del impacto (del orden de 20/30 milisegundos) se aproxima bastante al efecto de un vehículo circulando a 60 o 70 km/h.

La segunda ventaja es que mediante las pruebas de deflectometría de impacto se mide las deformaciones alrededor del punto de aplicación de carga (normalmente se mide en 6, 7 o 9 puntos situados secuencialmente a distancias entre 20 cm y 180 cm del punto de impacto). Estas deflexiones asociadas permiten estudiar la superficie de rodamiento a través de concepto de estructura multicapa (serie de capas de varios espesores y módulos).



La tercera ventaja de un equipo de medición de respuesta a la carga por impacto, sobre un equipo de medición de la deflexión en estado fijo, es que la medida se realiza más rápidamente; además, la carga de impacto puede ser variada fácilmente.

Actualmente en el diseño de pavimentos flexibles el parámetro de resistencia empleado es el módulo de rigidez, el cual se obtiene mediante el retro análisis (solución del problema de manera inversa), partiendo de las deflexiones obtenidas con el Deflectómetro de Impacto FWD. La descripción del método de prueba de éste equipo, se encuentra descrito en la especificación.

- ASTM D 4694: Método de prueba estándar para la medición de Deflexiones con Falling Weight Deflectometer.

3.3.2 Valor Soporte de California (CBR)

El Valor de Soporte de California, cuyas siglas CBR viene de California Bearing Ratio es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo.

La prueba consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material bajo estudio, con diferentes energías de compactación y un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad; someter a cada espécimen a un proceso de saturación para obtener su cambio volumétrico, y una vez saturado, introducir en él un pistón de penetración de acero, con el propósito de cuantificar las cargas necesarias para lograr magnitudes de penetración específicas.



La descripción detallada de esta prueba se encuentra en la norma M-MMP-1-11/08 de la SCT: Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en laboratorio.

El CBR Crítico es una de las variables de proyecto más importantes y el proyectista debe poner mucho cuidado en su estimación de manera que sea representativo de las condiciones esperadas en el camino durante la vida de servicio de la obra vial, ya que a partir de este valor se diseñan los espesores de los pavimentos que se requieren para un tránsito de diseño.

En el caso de la terracería, un CBR muy bajo implica un terreno de cimentación que requiere estudios geotécnicos especiales para diseñar la sección estructural de la carretera. En este caso es posible que existan problemas serios de drenaje, o un nivel freático alto, que causen consolidación de la sección estructural de la carretera y problemas en el comportamiento del pavimento.

Una calidad indeseable de la terracería ocasiona problemas no considerados en el método de diseño (como consolidación, expansión y otros) y no resulta adecuado diseñar si no se corrigen previamente estos problemas.



4. FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN UN TRAMO CARRETERO (CASO PRÁCTICO: CARRETERA JALAPA-VERACRUZ)

4.1 Antecedentes

Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio para un determinado número de años (como mínimo), llamado “horizonte de proyecto” o “vida útil” de la obra y al concluir éste tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan y/o se reconstruyen con el objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

El transporte carretero permite la comunicación y el intercambio, tanto cultural, como comercial entre regiones y es así como en México, el transporte carretero, representa el principal modo para el desplazamiento de pasajeros y bienes a través del territorio nacional, lo que lo convierte en un instrumento básico para la integración del país. Todos los sectores de la economía se ven beneficiados por el transporte carretero: el agrícola, el ganadero, el industrial, el comercial, el turístico y el energético; pues como podemos darnos cuenta, las carreteras son uno de los principales ejemplos de infraestructura que propician el crecimiento económico y la integración social de un país y es, en ésta medida, en la que se busca ampliar su cobertura y se mejorar su estado físico; por ende, los tiempos de viaje se reducen, la seguridad y la comodidad se incrementan y, en consecuencia, se generan importantes beneficios para todos.

El presente diagnostico o dictamen técnico tiene como objetivo fundamental dar las recomendaciones pertinentes para la realización de los trabajos que sean convenientes, para de esta forma garantizar un tránsito seguro, confortable y a su vez proporcionar al público un servicio eficiente.



4.2 Entorno Geográfico



Figura 4.1 Mapa del estado de Veracruz (Fuente: INEGI, 2014).

Veracruz de Ignacio de la Llave, generalmente conocido como **Veracruz**, es uno de los 31 estados que junto con el Distrito Federal conforman las 32 entidades federativas de México. El estado se localiza en el oriente de México y colinda al norte con Tamaulipas, al sur con Oaxaca y Chiapas, al oriente con el Golfo de México, al Poniente con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla y al sureste con Tabasco.

Veracruz comprende una larga franja de tierra de bordes irregulares delimitada por el mar y por montañas. Tiene una extensión territorial de 71.699 km² y una población de 7'643,194 habitantes según cifras del Censo de Población y Vivienda 2010. El estado goza de climas muy variados que van desde el tropical y subtropical (en las extensas zonas costeras), hasta el frío (en las zonas serranas y de montaña, pasando por el templado (en la zona montañosa central). La precipitación media estatal es de 1,500 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre; en la región colindante con Tabasco se presentan todo el año.

La superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Oriental, Llanura Costera del Golfo Norte, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala y Cordillera Centroamericana. Existen sierras formadas por rocas sedimentarias, ígneas intrusivas, ígneas extrusivas o volcánicas y metamórficas, la



elevación más alta la representa el volcán Pico de Orizaba o Citlaltépetl, con 5,747 metros sobre el nivel del mar (msnm) y la menor son todas sus playas que están al nivel del mar. Su territorio es atravesado por numerosos ríos, entre los que destacan: en el norte, el Pánuco, el Tuxpan, el Cazones, el Tecolutla y el Nautla; en el centro el Actopan, la Antigua y el Jamapa; y en el sur, el Papaloapan y el Coatzacoalcos. Cuenta también con lagunas importantes, una de las más grandes, incluso del país, es la de Tamiahua y la laguna de Catemaco.

La temperatura media anual es de 23°C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32°C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13°C y se presenta en el mes de enero.

Ubicación de la zona de estudio

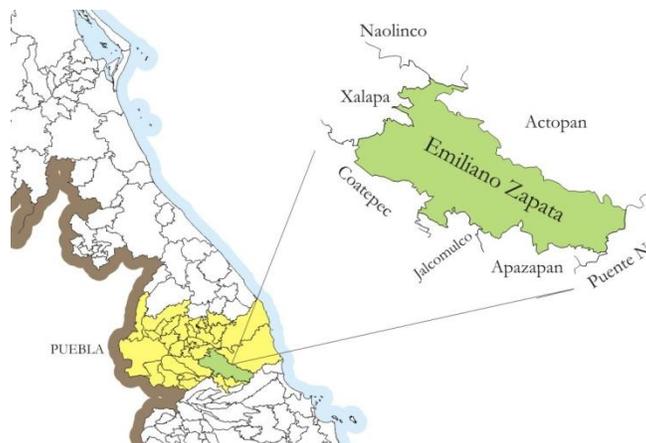


Figura 4.2 Ubicación del municipio del tramo de estudio (Fuente: INEGI, 2014)

En particular donde se encuentra ubicada la zona de estudio es en el municipio de **Emiliano Zapata** que se encuentra ubicado en la zona central del estado de Veracruz en la región de la Capital, es uno de los 212 municipios de la entidad. Está ubicado en las coordenadas 19°29” latitud norte y 96°48” longitud oeste, y cuenta con una altura que va desde los 750 metros hasta los 940 metros. El municipio lo conforman 132 localidades en las cuales habitan 49,476 personas (Según datos del INEGI del 2014).

Ubicación y coordenadas geográficas del tramo en estudio

El tramo de estudio se localiza en el municipio de **Emiliano Zapata** y es ubicado, aproximadamente, entre las coordenadas 19°47'44.41"N y 96°78'69.67"O y las coordenadas 19°44'19.58"N y 96°70'91.92"O, a una altura que va descendiendo desde los 935 m a los 625 m sobre el nivel del mar.

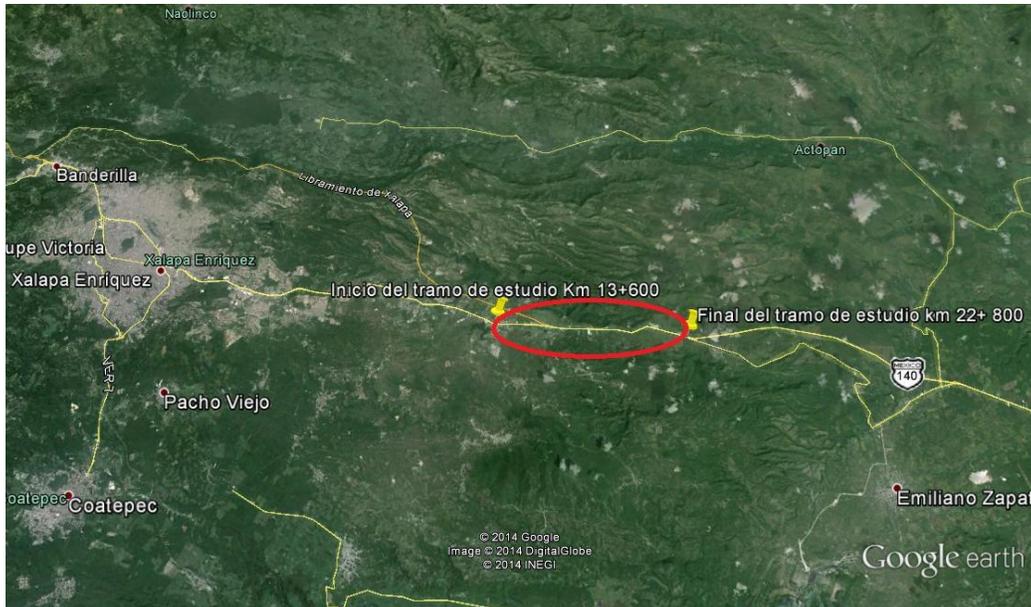


Figura 4.3 Ubicación satelital del tramo de estudio (Fuente: Google Earth, 2014)

Datos Generales

Carretera: Jalapa- Veracruz

Tramo: Jalapa- Ciudad Cardel

Subtramo: Jalapa-Cerro Gordo

Cadenamiento: 13+600 al 22+800

Cuerpos A y B

Topografía

Dentro del territorio se localizan en mayor parte con un 45% zonas de lomerío con llanuras, el resto de la superficie está formado por sierra baja y valle típico en un 32% y 23% respectivamente.



Hidrografía

Se encuentra regado por varios Arroyos y pequeños ríos como el del Castillo, Dos Ríos, Plan del Río, El Aguaje, Paso de la Milpa, todos ellos tributarios del río Actopan.

Geología

Su suelo es de tipo luvisol y rendzina, el primero presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y es susceptible a la erosión; el segundo contiene una capa superficial rica en materia orgánica, es poco profundo y moderadamente susceptible a la erosión.

Clima

Su clima es templado-húmedo-regular con una temperatura promedio de 25.2° C.; su precipitación pluvial media anual es de 2,779.1 milímetros.



4.3 Inventario de deterioros

Uno de los aspectos más importantes en la evaluación del pavimento es la descripción del tipo de deterioros presentes en la superficie de rodamiento, debiendo entender como deterioro a toda condición que signifique una pérdida de las características de su condición de servicio para las cuales fue diseñado, pudiendo ser tanto de tipo funcional como estructural.

Los deterioros que se contemplaron para los fines señalados se clasifican en los siguientes seis grandes grupos:

- Agrietamientos.
- Deformaciones.
- Fallas (Baches)
- Segregados
- Defectos varios.
- Mantenimiento realizado (baches abiertos o deficientemente reparados).

Se realizó un levantamiento de las manifestaciones de deterioro o daños actuales en la superficie de rodamiento a lo largo del tramo; éste levantamiento se hizo kilómetro por kilómetro, calificando en cada uno de ellos la severidad que se observó en los tipos de deterioro. Todo lo anterior con el fin de tener un diagnóstico del principal problema por corregir.

Las principales fallas encontradas en el tramo de estudio son:

Las afectaciones que se pueden observar, de manera general, son debidas, principalmente, a la fatiga en la carpeta asfáltica, su desprendimiento y la exposición y pérdida del agregado pétreo.



De igual manera, se presentan: roderas, agrietamiento longitudinal en los bordes del pavimento, agrietamiento muy severo en pequeños polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo y en bloques semejantes a la subdivisión política en un mapa, estos últimos en roderas, periferia de baches y en los bordes del pavimento.

El resumen de los resultados obtenidos del levantamiento de deterioros se presenta en el Anexo A “Levantamiento de Deterioros”.



4.4 Medición de la regularidad superficial (ISA e IRI)

Obtención del ISA

Como se vio en el Capítulo 3 de esta tesis el Índice de Servicio Actual (ISA), nos permite conocer de manera subjetiva la calidad que registra actualmente la superficie de rodamiento; es decir, el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por éste tramo carretero en estudio y en ambos sentidos de circulación, se obtuvieron las calificaciones para cada kilómetro, apoyándose en los lineamientos de la AASHTO.

El resumen de los valores de ISA de la carretera: Jalapa-Veracruz, en el estado de Veracruz, está indicada en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Tabla resumen del ISA del tramo de estudio

Del Km.	Al Km.	Cuerpo	ISA (Promedio)
13+600	22+800	Cuerpo A	3.4
13+600	22+800	Cuerpo B	3.2

Del levantamiento en campo, cuyos registros se presentan en el Anexo B, se obtuvieron calificaciones que varían entre 3.0 y 3.8 en el cuerpo A, mientras que en el cuerpo B varían entre 2.8 y 3.4

Los resultados obtenidos del ISA se muestran con detalle en el Anexo B “Obtención del ISA”



Obtención del IRI

El equipo utilizado para la obtención del ÍRI y RODERAS es un **PERFILÓMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)**, los sistemas RSP (Road Surface Profiler) han sido diseñados para ser muy flexibles, incorporando un concepto modular que permite una variedad de combinaciones de sensores y configuraciones.

El corazón del sistema Mark III está basado en un Perfil de Sistema Board (PSB), que puede recoger y procesar los datos de una variedad de combinaciones de la matriz de sensores. Estas combinaciones pueden variar de un acelerómetro y un sensor de desplazamiento láser a tres acelerómetros, de hasta 21 sensores láser y un sensor de tres ejes de movimiento inercial (IMS) (incorporando los giroscopios de estado sólido, etc.) El PSB es único en la industria de la elaboración de perfiles y elimina la necesidad de grandes cajas voluminosas electrónicas usadas típicamente en perfiladores.

Este modelo utiliza un RSP PC portátil compatible con IBM para recoger y almacenar todos los datos medidos. Un programa de campo basado en Windows se proporciona para controlar las operaciones de prueba y calibración del teclado del PC. El programa de campo transfiere todos los ajustes de configuración necesarios para la electrónica en el arranque. Se reciben todos los datos procesados de la electrónica, se muestran en la pantalla del PC, y los almacena en el disco duro del PC.

Los sistemas de RSP son operables por una persona, desde la cabina de conducción del auto. El RSP puede recoger datos a velocidades de hasta 110 km / h (70 mph). Los sensores láser, acelerómetros y la unidad opcional de IMS para el sistema Mark III están montados en el alojamiento de aluminio rígido (Unidad transductor o "Bar Rut") en la parte delantera del vehículo.

Un Bar Rut básico tiene es típicamente 1,83 m de longitud (o ancho como se ve desde la parte delantera). La barra puede ser ampliada en cada extremo con un "ala" de aprox. 0,3 m



de longitud, lo que hace una longitud total aproximada de 2,4 m. Cada ala tiene capacidad para hasta 4 sensores de láser, uno de los cuales puede ser montado verticalmente, que aumenta efectivamente la anchura de medición por aprox. 0,3 a 0,4 m en ambos lados. La anchura total efectiva, está entonces típicamente en el intervalo de 2,9 a 3,2 m con los dispositivos laser instalados en ambos extremos de la barra de base.

El resumen de los valores de IRI de la carretera: Jalapa-Veracruz, en el estado de Veracruz, está indicada en la siguiente tabla (4.2):

Tabla 4.2 Tabla resumen del IRI del tramo de estudio

Del Km.	Al Km.	Observaciones	IRI Promedio (m/km)		
			Derecho	Centro	Izquierdo
13+600	22+800	Cuerpo A	4.59	3.54	4.67
13+600	22+800	Cuerpo B	5.06	4.11	5.22

El resumen de los valores de roderas de la carretera: Jalapa-Veracruz, en el estado de Veracruz, está indicada en la siguiente tabla (4.3):

Tabla 4.3 Tabla resumen de las roderas del tramo de estudio

Del Km.	Al Km.	Observaciones	Rodera Derecha Promedio(mm)	Rodera Izquierda Promedio(mm)
13+600	22+800	Cuerpo A	3.9	4.0
13+600	22+800	Cuerpo B	2.6	3.1

Los resultados obtenidos a cada 100 m del IRI y de Roderas se muestran con detalle en el Anexo C y D “Obtención del IRI y Medición de Roderas”

4.5 Medición de las condiciones estructurales del pavimento (FWD)

La medición de las deflexiones se realizó con una separación de 500 m entre lecturas y se presentan los resultados de dichas lecturas determinadas en nueve sensores (SD1, SD2 ...SD9), que es el número con los que cuenta el equipo es así como las mediciones efectuadas por cada uno de los geófonos, permite obtener un esquema de la cuenca de deflexiones producida por el impacto de la carga aplicada, indicándose además el cadenamiento y magnitud de la carga impuesta en cada estación de lectura.

El equipo con el que se realizó el estudio fue un **Falling Weight Deflectometer FWD marca Dynatest modelo 8200** que cuenta con las siguientes equipos adicionales: GPS (latitud, longitud y elevación), Instrumento de medición de distancia (DMI), Sensores de temperatura del aire y de la superficie del pavimento.

A continuación se muestra la configuración de los 9 geófonos:

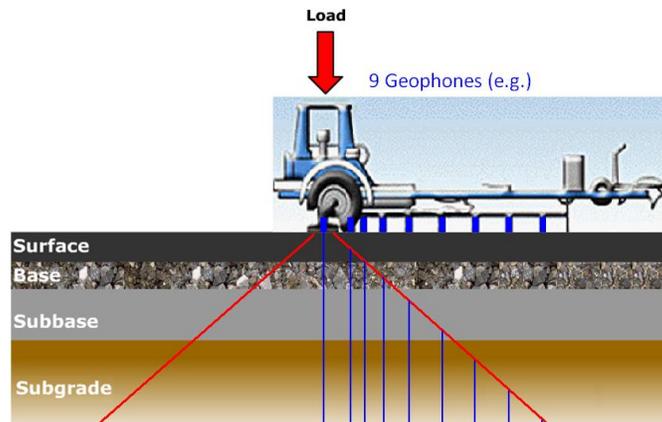


Figura 4.4 Arreglo de los sensores del FWD (Fuente, Dynatest 2008)

La separación de geófonos es opcional, pero se adoptó por la separación de estos a las siguientes distancias: 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500 y 1800 mm, y el diámetro del plato de carga es de 300 mm.



Para efectos de notificar en el sistema de administración de pavimentos HDM-4 la respuesta del pavimento a través de la deflexión, es necesario que la magnitud de ésta, se referencie a un esfuerzo constante (700 kPa), para que las respuestas (deflexiones) tengan un indicador fijo. Durante la ejecución de las pruebas de medición de deflexiones se mantiene constante el peso del lastre, así como la altura de caída libre que impacta sobre la placa de carga, con el objeto de inducir un esfuerzo muy cercano a 700 kPa, sin embargo, la respuesta que da el pavimento como principal factor, la pendiente longitudinal y transversal, entre otros, no permiten que esta condición se cumpla cabalmente, razón por la cual es necesario efectuar un simple cálculo de interpolación o extrapolación.

En la tabla 4.4 se presenta un resumen de los resultados de las deflexiones obtenidas en cada uno de los tramos.

Tabla 4.4 Resumen de las deflexiones determinadas en la carretera Jalapa - Veracruz

Tramo	Subtramo		Deflexiones Normalizadas a 700 kPa (micras)		
	Del km.	Al km.	Promedio	Mínimo	Máximo
Jalapa- Ciudad Cardel, cuerpo A	13+600	22+800	775	515	1146
Jalapa- Ciudad Cardel, cuerpo B	13+600	22+800	713	308	917

Los resultados obtenidos de la medición de deflexiones se muestran con detalle en el Anexo E “Medición de deflexiones”



4.6 Estructura del pavimento existente

El programa de exploración y muestreo consistió en la excavación de 20 pozos a cielo abierto, mismos realizados a cada 1000 metros, aproximadamente, 10 del cuerpo A y 10 del cuerpo B, esto a través de la estructura del pavimento actual de manera alternada en ambos lados del tramo carretero. Esto con el fin de medir sus espesores y definir su perfil estratigráfico. Los resultados de la medición de espesores se muestran a continuación en la tabla 4.5 y 4.6.

Tabla 4.5 Espesores obtenidos del cuerpo A de la Carretera Jalapa - Veracruz

Nº SONDEO	UBICACIÓN	LADO	ESPESORES EN cm			
			CARPETA ASFÁLTICA	BASE HIDRÁULICA	SUB-BASE	SUB-RASANTE
PCA 1	km 13+600	DERECHO	15	28	51	82
PCA 2	km 14+500	IZQUIERDO	14	30	53	85
PCA 3	km 15+550	DERECHO	15	30	22	80
PCA 4	km 16+600	IZQUIERDO	17	32	51	78
PCA 5	km 17+560	DERECHO	16	32	52	81
PCA 6	km 18+500	IZQUIERDO	14	30	48	77
PCA 7	km 19+600	DERECHO	12	26	43	75
PCA 8	km 20+500	IZQUIERDO	10	25	45	76
PCA 9	km 21+600	DERECHO	10	25	43	76
PCA 10	km 22+800	IZQUIERDO	11	26	45	70
PROMEDIO			13	28	45	78

En términos generales, la estructura actual del pavimento en el cuerpo A está compuesta por espesores que van de 10 a 17 cm de carpeta de concreto asfáltico, se detectó una base hidráulica con espesores de 25 a 32 cm, también se encontró una sub-base con espesores de 43 cm a 53 cm. En cuanto a las capas inferiores (terracerías), la estructura del pavimento se aloja sobre una capa sub rasante, con espesores que van de los 70 cm a los 82 cm.



Tabla 4.6 Espesores obtenidos del cuerpo B de la Carretera Jalapa - Veracruz

Nº SONDEO	UBICACIÓN	LADO	ESPESORES EN cm			
			CARPETA ASFÁLTICA	BASE HIDRÁULICA	SUB-BASE	SUB-RASANTE
PCA 1	km 13+600	DERECHO	10	33	50	77
PCA 2	km 14+550	IZQUIERDO	10	32	55	80
PCA 3	km 15+600	DERECHO	11	31	52	78
PCA 4	km 16+550	IZQUIERDO	11	32	54	79
PCA 5	km 17+600	DERECHO	10	33	52	81
PCA 6	km 18+600	IZQUIERDO	11	35	55	78
PCA 7	km 19+600	DERECHO	10	32	53	77
PCA 8	km 20+550	IZQUIERDO	13	32	52	82
PCA 9	km 21+600	DERECHO	12	33	56	80
PCA 10	km 22+800	IZQUIERDO	13	30	58	85
PROMEDIO			11	32	54	80

En términos generales, la estructura actual del pavimento en el cuerpo B está compuesta por espesores que van de 10 a 13 cm de carpeta de concreto asfáltico, se detectó una base hidráulica con espesores de 30 a 33 cm, también se encontró una sub-base con espesores de 50 cm a 58 cm. En cuanto a las capas inferiores (terracerías), la estructura del pavimento se aloja sobre una capa sub rasante, con espesores que van de los 77 cm a los 85 cm.

En estos pozos a cielo abierto, se registraron los espesores de las diferentes capas y se obtuvieron muestras alteradas representativas de cada estrato del pavimento y terracería. Las muestras obtenidas se protegieron contra la pérdida de humedad, se identificaron y se empacaron cuidadosamente para su posterior envío al laboratorio de mecánica de suelos.

Los pozos a cielo abierto se excavaron de manera gradual, por capas, y en cada una de ellas, después de medir su espesor y definir su perfil estratigráfico, se determinó su peso volumétrico por medio de una cala.



4.7 Pruebas de laboratorio en la sección estructural del camino y del terreno de cimentación.

A continuación, se enlistan las pruebas y ensayos de calidad realizados a las muestras alteradas, donde se obtuvieron las propiedades índices y mecánicas, necesarias, para la revisión y el diseño de la estructura del pavimento.

En capa de base, sub-base y terracerías:

- Granulometría.
- Límites de consistencia.
- Contracción lineal.
- Clasificación SUCS.
- CBR.
- Expansión.
- Equivalente de arena.
- Peso volumétrico seco máximo.

De acuerdo a los sondeos realizados, la sección del pavimento está constituida de la siguiente manera general para tanto el cuerpo A como para el cuerpo B:

- Una superficie de rodamiento a base de carpeta de concreto asfáltico.
- El material de la base hidráulica presenta, aproximadamente, la misma calidad en todo el tramo y está constituido por una Grava limosa (GM); el cual tiene un CBR estándar entre 98% y 129%, equivalente de arena de 49 % a 78%, Limite Líquido de 17.25% a 21.83%, además el análisis granulométrico indica que se cuenta con un porcentaje de finos del orden de 12% al 16%.
- El material que constituye la sub-base hidráulica presenta, aproximadamente, la misma calidad en todo el tramo y está constituido por una Grava Limosa (GM); el cual tiene un CBR estándar entre 58% y 92%, equivalente de arena de 28 % a 39%, Limite Líquido de 23.65% a 36.51%, además el análisis granulométrico indica que se cuenta con un porcentaje de finos del orden de 13% al 17%.



- Las terracerías existentes, a lo largo del tramo, son prácticamente constantes; con respecto a la capa sub rasante, está constituida por una arena limosa (SM) y presenta un CBR estándar entre 17% y 48%, Límite Líquido de 30.21 % a 42.32%, no presenta plasticidad, además el análisis granulométrico indica que se cuenta con un porcentaje de finos del orden del 12% al 31%.
- El terreno natural existente es constante y está constituido por un limo y arcilla de baja plasticidad (ML y CL) que presenta un CBR estándar entre 5 % y 13%, Límite Líquido de 44.36% a 48.13%, un Índice Plástico de 12.41% a 24.12%, además el análisis granulométrico indica que se cuenta con un porcentaje de finos del orden del 56% al 64%.

Cabe mencionar que para obtener dichos resultados se realizaron los respectivos análisis de calidad, de los cuales: 10 (Cuerpo A) y 10 (Cuerpo B) fueron realizados al suelo que constituye la capa de base hidráulica, 10 (Cuerpo A) y 10 (Cuerpo B) fueron realizados al suelo que constituye la capa de sub-base hidráulica , 10 (Cuerpo A) y 10 (Cuerpo B) realizados al suelo que constituye la capa sub rasante, 5 (Cuerpo A) y 5 (Cuerpo B) al suelo que conforma el terreno natural.

El resumen de los parámetros de calidad de las capas del pavimento se encuentra en el Anexo F “Resumen de Parámetros de Calidad”



4.8 Medición del Índice de Fricción

El método utilizado para la medición del Índice de Fricción es el indicado en la norma ASTM E 670 “Método estándar de prueba de fuerza de fricción lateral en superficies pavimentadas utilizando el Mu-Meter o DFT”.

El equipo utilizado para la obtención del Índice de Fricción es un Dynamic Friction Tester (NAC1000-0001). El DFT puede grabar y archivar las pruebas de hasta 10000 m. (30000 pies). Adicionalmente sensores instalados en él, pueden grabar la temperatura del suelo, temperatura ambiente, presión de los neumáticos opcionales y datos del GPS. Un tanque de 132 galones (500 litros) la capacidad de acero inoxidable está montado en el DFT y es suficiente para probar más de 27.000 pies (8,300 m.) con una película de agua de 1 mm de espesor sin recarga.

Las características generales de dicho equipo son las siguientes:

Dimensiones: Largo 2200 mm, ancho 1000 mm, altura del chasis 750 mm, altura de la parte superior del tanque 1300 mm.

Medición: Rodamientos de Fricción 12%, (Deslizamiento μ), Rolling (μ roll) Rotación libre.

Especificación de los neumáticos: ASTM E1551-93 bis (1998) Especificaciones Standard para fines especiales, para neumáticos de huella suave.

Velocidades de prueba: Mínimo 24 km/h, máximo 96 km/h.

Rangos de temperatura: componentes montados en cabina -10 C a +50 C, componentes montados en DFT -50 °C a +60 °C.



Voltaje de operación: Batería de tablero 2 X 12 V CC, Batería de abastecimiento “Marina Baterías”

Ordenador de recolección de datos: cualquier sistema de Microsoft Windows CE o XP puede ser utilizado para recoger y mostrar los datos. Contacto NAC Dynamics para el último modelo utilizado. El software para el DFT se suministra de forma gratuita para el cliente.

El resumen de los valores de Índice de Fricción está dado en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Medición del Índice de fricción de la Carretera Jalapa - Veracruz

Del Km.	Al Km.	Cuerpo	Lectura Mínima	Lectura Máxima	Promedio
13+600	22+800	A	0.57	0.80	0.69
13+600	22+800	B	0.41	0.77	0.61

De acuerdo a los valores obtenidos y según la Norma N.CSV.CAR.3.02.005/06, la resistencia a la fricción **debe ser igual o mayor a seis décimas (0.60)**.

Los resultados obtenidos a cada 200 m. se muestran con detalle en el Anexo G “Obtención del Índice de Fricción.



4.9 Estudio de tránsito

El conocimiento del volumen y tipo de vehículo que circulan en la red de carreteras, permite determinar el grado de ocupación y las condiciones en que opera cada segmento de la red; el análisis de su evolución histórica es fundamental para definir las tendencias de su crecimiento y para planear con oportunidad las acciones que mejoren el nivel de servicio que demanda el tránsito.

De acuerdo con la información disponible de aforos viales emitidos por La Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (DGST) del año 2014, se realizó un análisis del tránsito tomando en consideración los datos para ambos sentidos de circulación de las diferentes estaciones de aforo, ubicadas en los tramos analizados.

En la tabla 4.8 se presenta el TDPA y tasa de crecimiento anual vehicular.

Tabla 4.8. TDPA y Tasa de crecimiento anual del tramo: Jalapa-Ciudad Cardel

Estación de Aforo	TDPA (Vehículos)	Tasa de crecimiento anual calculada (%)
Corral Falso Km. 17+400 Cuerpo A	9,382	5.63
Corral Falso Km. 17+400 Cuerpo B	10,099	8.99



En las tablas 4.9 y 4.10 se muestran la distribución vehicular del tramo de estudio:

Tabla 4.9 Distribución vehicular del cuerpo A del tramo de estudio

TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCIÓN	%
A	Automóviles	83.5
B	Autobuses	3.4
C2	Camiones Unitarios de dos ejes	5.0
C3	Camiones Unitarios de tres ejes	1.6
T3-S2	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes	2.8
T3-S3	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes	1.4
T3-S2-R4	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes	1.8
Otros	Otros	0.5

Tabla 4.10 Distribución vehicular del cuerpo B del tramo de estudio

TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCIÓN	%
A	Automóviles	81.4
B	Autobuses	3.6
C2	Camiones Unitarios de dos ejes	5.5
C3	Camiones Unitarios de tres ejes	2.0
T3-S2	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes	3.4
T3-S3	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes	1.6
T3-S2-R4	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes	2.0
Otros	Otros	0.5

Los resultados obtenidos de la tasa de crecimiento anual se muestran con detalle en el Anexo H” Tasa de crecimiento anual de vehículos”



4.10 Análisis de la estructura del pavimento

4.10.1 ELMOD 6 (Evaluation of layer moduli and overlay design)

Una vez contando con la información obtenida de campo (los datos de la medición de deflexiones), conociendo los datos de tránsito vehicular traducidos en número de ejes equivalentes de 8.2 ton (ESAL) y determinada la estructura del pavimento actual, adicionalmente a ellos, con el empleo del programa de cómputo **ELMOD** es posible determinar los módulos elásticos de las diferentes capas del pavimento, incluyendo el de la capa subrasante; así mismo, se puede identificar la capa más desfavorable, efectuar un pronóstico de vida remanente y, finalmente, en caso necesario, definir el espesor, en términos de una sobrecarpeta de concreto asfáltico como refuerzo del pavimento para un horizonte de proyecto analizado.

En la siguiente tabla (4.11) se presentan los valores promedio de los módulos de elasticidad obtenidos en los tramos mencionados anteriormente.

Tabla 4.11. Módulos de elasticidad promedio del tramo Jalapa-Ciudad Cardel

Tramo	Subtramo		MÓDULOS ELÁSTICOS, MPa				
	DEL KM.	AL KM.	E1	E2	E3	E4	E5
Jalapa–Ciudad Cardel Cpo. A	13+600	22+800	1751	320	208	93	41
Jalapa–Ciudad Cardel Cpo. B	13+600	22+800	2745	485	293	82	58

De acuerdo con el cálculo de número de ejes acumulados ESAL en el periodo de análisis, en general, la vida remanente esperada para el pavimento en la Carretera **Jalapa – Veracruz**, se presentan diferentes zonas, las cuales quedan constituidas de la siguiente manera:



Los resultados de la vida remanente y espesor de refuerzo de carpeta promedio del tramo se presentan en la tabla siguiente (4.12).

Tabla 4.12. Vida remanente y refuerzo de la estructura en promedio del tramo: Jalapa – Veracruz

Tramo	Sub tramo		Vida Remanente, (Años)	Espesor de refuerzo, (mm)
	DEL KM.	AL KM.		
Jalapa–Ciudad Cardel Cpo. A	13+600	22+800	0	73
Jalapa–Ciudad Cardel Cpo. B	13+600	22+800	0	51

Los datos de los módulos de elasticidad de este tramo se presentan en el Anexo I, “Módulos elásticos” en donde se puede apreciar con detalle la variación de los módulos calculados, debido a la diversidad de espesores a lo largo del tramo.



4.10.2 Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM (DISPAV 5).

Desde hace aproximadamente tres décadas, los proyectistas de carreteras ha contado en México con un método de diseño para pavimentos flexibles, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a petición de la entonces Secretaría de Obras Públicas, luego SAHOP y ahora SCT. Éste método partió del análisis de datos experimentales en tramos de prueba, en carreteras en servicio, de investigación teórica y de experimentación en laboratorio en la pista circular de pruebas, que influyó más recientemente en sucesivos perfeccionamientos. En éste caso, se utilizó el programa computarizado llamado DISPAV 5.0 V.3.

CUERPO A

Información del sub tramo:

Autopista conformada de dos cuerpos A y B

Tipo de carretera: de altas especificaciones

Período de diseño (n): 15 años

Tasa de crecimiento (r): 5.63 %

Tránsito promedio diario anual (TPDA): 9,382 vehículos

Nivel de confianza: 85 %

Módulos elásticos obtenidos a partir del FWD

$$\text{Carpeta} = 17,855 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Base Hidráulica} = 3,265 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Sub-base Hidráulica} = 1,948 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Sub rasante} = 948 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Terracería} = 418 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$



Procedimiento para revisión

El procedimiento de revisión permite el cálculo de la vida previsible por deformación y fatiga de pavimentos previamente definidos, ya sean pavimentos actualmente construidos o en proyectos.

El procedimiento consiste en:

1. Entrada de datos: espesores, características mecánicas de cada capa como módulos de rigidez o (CBR críticos), relaciones de Poisson y nivel de confianza.
2. Cálculo de la vida por deformación permanente en la zona transitada.
3. Cálculo de la vida de agrietamiento debido a fatiga.
4. Posibilidad de cálculo de nuevas vidas por deformación y agrietamiento, haciendo modificaciones en los espesores o propiedades mecánicas de las capas introducidas originalmente.

Los datos requeridos para la revisión son similares a los solicitados para el diseño, ya que se toman en cuenta los datos actuales de la estructura del pavimento y el período de diseño.

Revisión de la estructura del pavimento del cuerpo A

Lo primero que se hizo es calcular la vida previsible de la estructura actual del pavimento con los datos obtenidos anteriormente y los resultados se presentan en la figura 4.5.



Figura 4.5. Vida previsible del pavimento actual del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5 (V3).



Luego se calculó el tránsito de proyecto con los datos de tránsito obtenidos y los resultados se muestran a continuación:

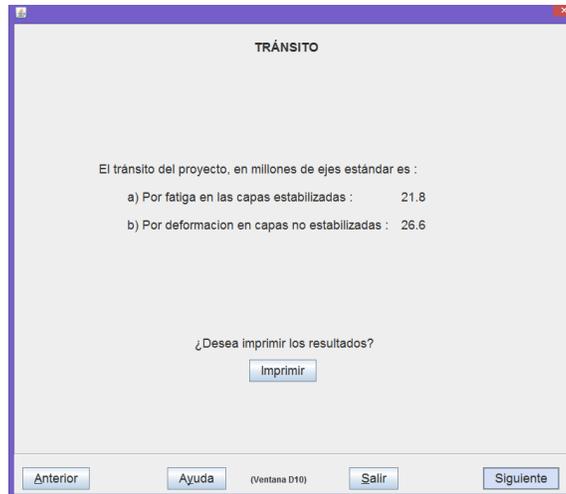


Figura 4.6. Transito del proyecto del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5(V3)

El resultado del sub tramo nos indica que la vida previsible del pavimento por fatiga tiene una vida útil de 3.47 millones ejes estándar y 21.18 millones de ejes estándar por deformación; estos valores son menores a los valores que demanda el tránsito en proyecto mostrados en la figura 4.6, por lo que la estructura del pavimento actual SI NECESITA REFUERZO.

Diseño de la estructura del pavimento

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño de la estructura del pavimento se presentan alternativas de solución mostradas a continuación:



Figura 4.7. Alternativa I del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5(V3)

De la alternativa I, mostrada en la figura 4.7 se pretende de la colocar una sobre carpeta de 8 cm de espesor en la estructura actual con un módulo de elasticidad de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.

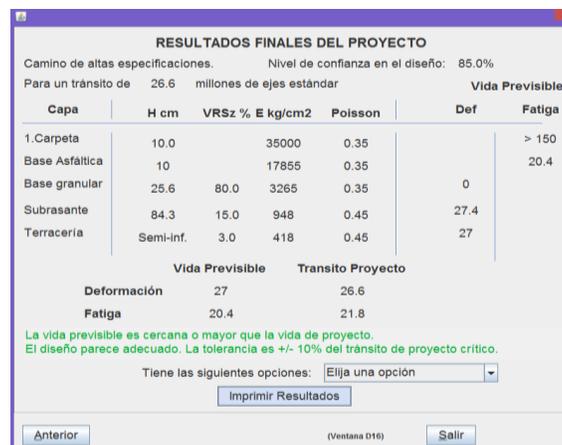


Figura 4.8. Alternativa II del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5(V3)

De la alternativa II mostrada en la figura 4.8 se pretende fresar 3 cm de la carpeta actual y colocar una sobre carpeta de 10 cm de espesor con un módulo de elasticidad de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.



Figura 4.9. Alternativa III del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5(V3)

En la alternativa III, mostrada en el figura 4.9, se propone retirar completamente la carpeta actual y poner una carpeta nueva de 15 cm de espesor con un módulo de elasticidad de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.

CUERPO B

Información de subtramo:

Autopista conformada de dos cuerpos A y B

Tipo de carretera: de altas especificaciones

Coefficiente direccional: 0.50

Período de diseño (n): 15 años

Tasa de crecimiento (r): 8.99 %

Tránsito promedio diario anual (TPDA): 10, 099 vehículos

Nivel de confianza= 85 %

Módulos elásticos obtenidos a partir del FWD

$$\text{Carpeta} = 27,991 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Base Hidráulica} = 4,945 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$



$$\text{Sub-base Hidráulica} = 2,988 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Sub rasante} = 836 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

$$\text{Terracería} = 591 \frac{(kg)}{(cm^2)}$$

Revisión de la estructura del pavimento del cuerpo B

Se realizó el mismo procedimiento que en el análisis anterior, pero ahora con la información determinada para el cuerpo B, los resultados se muestran en las figuras 4.10 y 4.11.



Figura 4.10. Vida previsible del pavimento actual del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5 (V3)



Figura 4.11. Tránsito del proyecto del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5(V3)



El resultado del sub tramo nos indica que la vida previsible del pavimento por fatiga tiene una vida útil de 16.07 millones ejes estándar y 18.7 millones de ejes estándar por deformación; estos valores son menores a los valores que demanda el tránsito en proyecto mostrados en la figura 4.11 por lo que la estructura del pavimento actual **SI NECESITA REFUERZO.**

Diseño de la estructura del pavimento

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño de la estructura del pavimento se presentan alternativas de solución mostradas a continuación:

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO
 Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%
 Para un tránsito de 41.5 millones de ejes estándar Vida Previsible

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
1.Carpeta	6.0		35000	0.35		> 150
Base Asfáltica	11		27991	0.35		65
Base granular	32	80.0	4945	0.35	0	
Subrasante	120	15.0	836	0.45	40.7	
Terracería	Semi-inf.	3.0	591	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	40.7	41.5
Fatiga	65	34.3

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto.
 El diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

Tiene las siguientes opciones:

Figura 4.12. Alternativa I del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5(V3)

De la alternativa I, mostrada en la figura 4.12 se pretende colocar una sobre carpeta de 6 cm de espesor en la estructura actual, con un módulo de elasticidad de 35,000 $\frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.



Figura 4.13. Alternativa II del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5(V3)

De la alternativa II, mostrada en la figura 4.13, se pretende fresar 1 cm de la carpeta actual y colocar una sobre carpeta de 7 cm de espesor con un módulo de elasticidad de 35,000 $\frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.

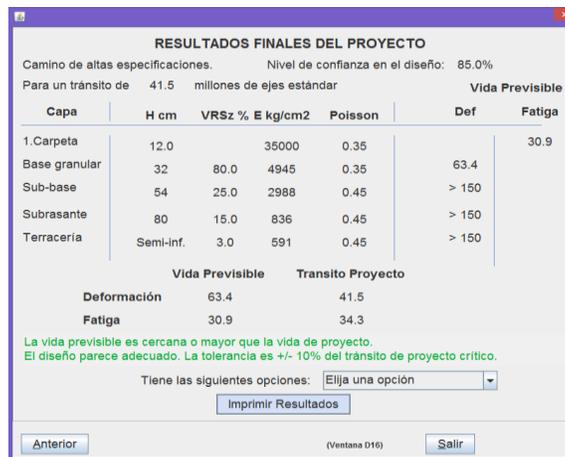


Figura 4.14. Alternativa III del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5(V3)

En la alternativa III, mostrada en la figura anterior (4.14), se propone retirar completamente la carpeta y poner una carpeta nueva de espesor de 12 cm de espesor con un módulo de elasticidad de 35,000 $\frac{(kg)}{(cm^2)}$, con esto se asegura que la vida previsible es cercana o mayor que la vida del proyecto.



4.10.3 Análisis comparativo estructural (DISPAV 5) entre FWD Y CBR Crítico

El cálculo de los CBR críticos se obtuvo de acuerdo al método del Instituto de Ingeniería de la UNAM con la siguiente expresión (2):

$$CBR\ crítico = \overline{CBR}(1 - 0.84v) \dots\dots (2)$$

Donde:

$v =$ Coeficiente de variación

Comparación de la estructura del pavimento utilizando CBR críticos cuerpo A

A continuación se muestran los CBR críticos obtenidos de la expresión anterior, los resultados se muestran en la siguiente tabla (4.13):

Tabla 4.13 CBR críticos obtenidos del cuerpo A de la Carretera Jalapa - Veracruz

CBR CRÍTICO (%) BASE HCA.	81
CBR CRÍTICO (%) SUBBASE HCA.	51
CBR CRÍTICO (%) SUBRASANTE	20
CBR CRÍTICO (%) TERRENO NATURAL	5

Utilizando los valores de CBR críticos mostrados en la tabla anterior (4.13) se utilizó las bases de la alternativas I, II y III del cuerpo A vistas en el capítulo anterior de esta tesis, pero se utilizaron como valores de entrada los CBR críticos tal y como se muestra a continuación.



Figura 4.15. Alternativa I del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos.

De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 1 cm más en la carpeta para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de carpeta asfáltica resultó de 8 cm. mientras que utilizando el módulo estimado por CBR críticos resultó de 9 cm.

A continuación se muestra el resultado de la comparación de la alternativa II en la figura 4.16.



Figura 4.16. Alternativa II del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos

De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 1 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 10 cm, mientras que utilizando el módulo estimado por CBR críticos resultó de 11 cm.



A continuación se muestra el resultado de la comparación de la alternativa III en la siguiente figura (4.17).

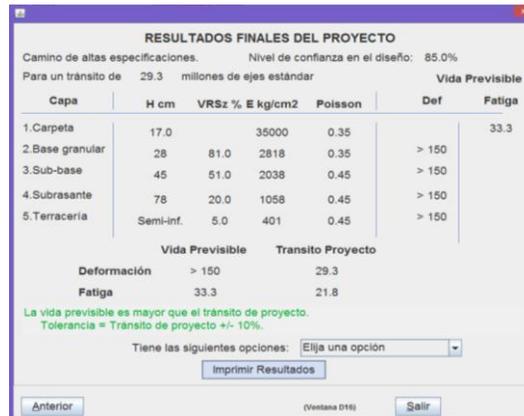


Figura 4.17. Alternativa III del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos

De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 2 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 15 cm, mientras que utilizando el módulo estimado por CBR críticos resultó de 17 cm.

Comparación de la estructura del pavimento utilizando CBR críticos cuerpo B

A continuación se muestran los CBR críticos obtenidos de la expresión 1, los resultados se muestran en la siguiente tabla (tabla 4.14):

Tabla 4.14 CBR Críticos obtenidos del cuerpo B de la Carretera Jalapa - Veracruz

CBR CRÍTICO (%) BASE HCA.	87
CBR CRÍTICO (%) SUBBASE HCA.	62
CBR CRÍTICO (%) SUBRASANTE	28
CBR CRÍTICO (%) TERRENO NATURAL	8



Utilizando los valores de CBR críticos mostrados en la tabla anterior (4.18) se utilizó las bases de la alternativa I, II y III del cuerpo B mostradas en el capítulo anterior, pero se utilizaron como valores de entrada los CBR críticos tal y como se muestra a continuación. :

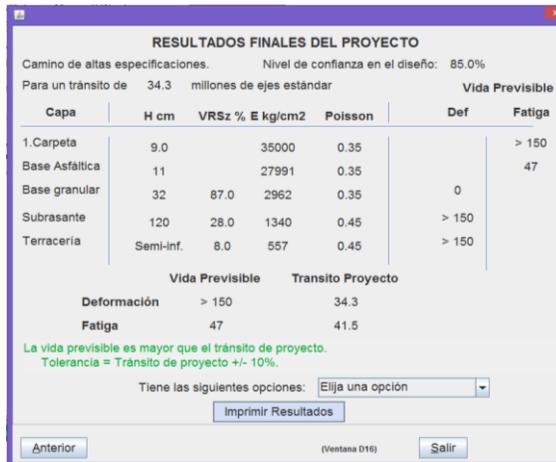


Figura 4.18. Alternativa I del cuerpo B obtenido con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos

De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 3 cm más en la carpeta para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de carpeta asfáltica resultó de 6 cm. mientras que por CBR críticos resultó de 9 cm. A continuación se muestra el resultado de la comparación de la alternativa II en la siguiente figura (4.19).



Figura 4.19. Alternativa II del cuerpo B obtenidos con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos



De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 3 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 7 cm., mientras que utilizando el módulo estimado por CBR críticos resultó de 10 cm.

A continuación se muestra el resultado de la comparación de la alternativa III en la siguiente figura (4.20).

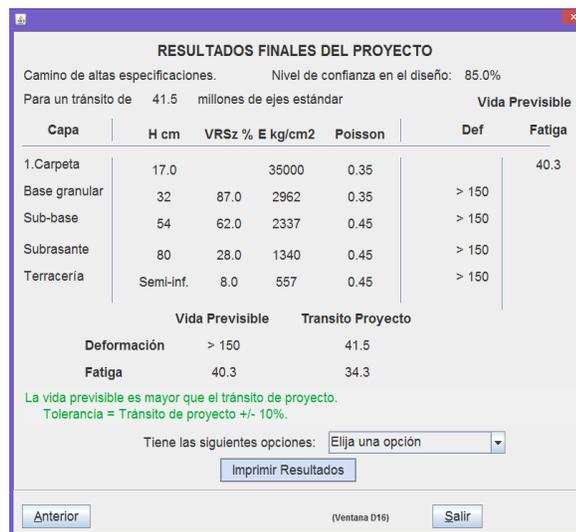


Figura 4.20. Alternativa III del cuerpo A obtenido con el DISPAV 5 (V3) utilizando CBR críticos

De la comparación se concluye que por CBR críticos se necesitara 5 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 12 cm., mientras que utilizando el módulo estimado por CBR críticos resultó de 17 cm.



4.10.4 AASHTO 1993

Para la aplicación y uso de éste método, nos remitimos a la guía AASHTO, “Diseño estructural de pavimentos flexibles”, donde establece que la superficie de rodamiento sólo se resuelve con concreto asfáltico y/o tratamientos superficiales, así como, que su soporte se encuentra en función del número de ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton; de igual manera, con éste método podemos calcular el refuerzo estructural mediante una sobre carpeta de concreto asfáltico.

Éste método está basado en encontrar un número estructural (SN) el cual pueda soportar el nivel de carga inducido por el tránsito; éste valor numérico, es un parámetro indicativo del espesor del pavimento y, una vez obtenido el número estructural, ya sea por medio de la ecuación general o mediante el empleo del nomograma, podremos determinar la sección multicapa del pavimento que en conjunto lo provea de suficiente capacidad de soporte y que deberá construirse de acuerdo a ello.

Se obtiene el número estructural (SN) sobre la capa sub rasante y de la misma manera, se deberá obtener el número estructural, pero ahora sobre la base (SN₁) y sub-base hidráulica (SN₂), según sea el caso; ahora bien, si trabajamos con las diferencias entre los números estructurales que se requieran sobre cada capa, y, así, el espesor mínimo de cualquiera de ellas puede ser calculado. De esta manera, es como el método de la AASHTO también puede ser aplicado para el cálculo del refuerzo estructural de un pavimento existente: con diferencia entre la capacidad estructural requerida (SN_{req}) para soportar el tránsito vehicular previsto durante el horizonte de proyecto del refuerzo y la capacidad estructural actual del pavimento existente.



REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL CUERPO A

Datos de entrada:

- Autopista conformada de dos cuerpos A y B
- Tipo de carretera: de altas especificaciones
- Coefficiente direccional: 0.50
- Coefficiente de distribución en el carril: 0.9
- Período de diseño (n): 15 años
- Tasa de crecimiento (r): 5.63 %
- Tránsito promedio diario anual (TPDA): 9,382 vehículos
- Módulos elásticos obtenidos a partir del FWD
- Carpeta= 253,961 psi
- Base Hidráulica= 40,756 psi
- Sub-base Hidráulica= 19,870 psi
- Subrasante= 13, 488 psi

Se calcula el número estructural requerido para el tránsito esperado (Figura 4.21) y éste es resulta de: **SN_{req}= 3.01, con una solicitud de Esal_{req}=19, 198,063.**



Figura 4.21. Número estructural requerido del cuerpo A obtenido con el programa AAASHTO 93

El número estructural actual sobre la base hidráulica resultó de SN_{actual}=1.79



Si el número estructural requerido es de $SN_{req} = 3.01$ y el número en la estructura actual sobre la base hidráulica es de $SN_{actual} = 1.79$; por lo tanto **SI REQUIERE REFUERZO.**

ALTERNATIVAS DE DISEÑO CUERPO A

En las alternativas de solución mostradas a continuación se procuró que las secciones del pavimento cumplieran con el número estructural requerido por el tránsito (SN_{req})



Figura 4.22. Alternativa I del cuerpo A obtenido con el programa AAASHTO 93

En la alternativa I se calculó una sobrecarpeta sobre la carpeta asfáltica actual y este espesor dio como resultado 2.61 pulgadas = 6.62 cm, considerando un módulo de sobre carpeta de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi)



Figura 4.23. Alternativa II del cuerpo A obtenido con el programa AAASHTO 93



En la alternativa II se decide fresar 3 cm de la carpeta actual y se calculó la sobrecarpeta de 3.46 pulgadas= 8.78 cm; considerando un módulo de sobre carpeta de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi)



Figura 4.24. Alternativa III del cuerpo A obtenido con el programa AAASHTO 93

En la alternativa III se decide retirar todo el espesor carpeta actual y se calculó la el espesor de carpeta nueva y este fue de 6.40 pulgadas= 16.25 cm; considerando un módulo de carpeta nueva de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi)

REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL CUERPO B

Datos de entrada:

Autopista conformada de dos cuerpos A y B

Tipo de carretera: de altas especificaciones

Coefficiente direccional: 0.50

Coefficiente de distribución en el carril: 0.9

Período de diseño (n): 15 años

Tasa de crecimiento (r): 8.99 %

Tránsito promedio diario anual (TPDA): 10, 099 vehículos

Módulos elásticos obtenidos a partir del FWD

Carpeta= 398, 129 psi

Base Hidráulica= 70,353 psi

Sub-base Hidráulica= 42,496 psi

Subrasante= 11,983 psi



Se calcula el número estructural requerido para el tránsito esperado (Figura 4.25) y éste resulta de: $SN_{req} = 2.58$, con una solicitud de $Esal_{req} = 27,375,449$.

Figura 4.25. Número estructural requerido del cuerpo B obtenido con el programa AAASHTO 93

El número estructural actual sobre la base hidráulica resultó de $SN_{actual} = 1.73$.

Si el número estructural requerido es de $SN_{req} = 2.58$ y el número en la estructura actual sobre la base hidráulica es de $SN_{actual} = 1.73$; por lo tanto SI REQUIERE REFUERZO.

ALTERNATIVAS DE DISEÑO CUERPO B

En las alternativas de solución mostradas a continuación se procuró que las secciones del pavimento cumplieran con el número estructural requerido por el tránsito (SN_{req})



Figura 4.26. Alternativa I del cuerpo B obtenido con el programa AASHTO 93



En la alternativa I se calculó una sobrecarpeta sobre la carpeta asfáltica actual y éste espesor dio como resultado 1.89 pulgadas = 4.62 cm, considerando un módulo de sobre carpeta de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi).



Figura 4.27. Alternativa II del cuerpo B obtenido con el programa AASHTO 93

En la alternativa II se decide fresar 1 cm de la carpeta actual y se calculó la sobrecarpeta de 2.15 pulgadas = 5.46 cm; considerando un módulo de sobre carpeta de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi)



Figura 4.28. Alternativa III del cuerpo A obtenido con el programa AASHTO 93

En la alternativa III se decide retirar todo el espesor carpeta actual y se calculó la el espesor de carpeta nueva y éste fue de 5.5 pulgadas = 13.97 cm; considerando un módulo de carpeta nueva de 35,000 (kg/cm²) que es equivalente a 497,818 (psi)

En el Anexo J “Metodo AASHTO “, se muestra a detalle los resultados de la revisión estructural del pavimento actual del cuerpo A y B.



5. ANÁLISIS DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR EN EL TRAMO ANALIZADO

5.1 Generalidades

El conocimiento de los costos de operación vehicular es fundamental en la planeación, diseño y aspectos operativos de los sistemas de transporte. En el caso de los sistemas de transporte carretero, el costo de operación de un vehículo automotor determinado es aquél en el que incurre el usuario para mantenerlo funcionando por unidad de longitud recorrida. El costo de operación consiste en el costo de recorrido más los costos fijos.

El criterio que debe orientar las decisiones en el área del transporte es minimizar los costos nacionales totales durante la vida útil del camino. Los costos de operación de los vehículos implican una atención especial debido a que estos superan a los otros dos (construcción y conservación), ocurren rutinariamente por el paso del tránsito de vehículos a lo largo de la carretera y tienen que ser pagados por los usuarios como resultado de la operación de dichos vehículos.

Los principales costos de operación son los siguientes:

- a) Combustible.
- b) Lubricantes.
- c) Llantas.
- d) Reparación y refacciones.
- e) Operador.
- f) Depreciación y reposición de vehículos.
- g) Intereses.
- h) Seguros.
- i) Tiempo de traslado de las mercancías.



La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación de los vehículos es significativa en condiciones óptimas de circulación, que se asocian con una carretera pavimentada bien conservada, recta, en terreno plano y sin problemas de tránsito, el costo de operación es mínimo. La presencia de baches o deficiencias en la superficie de rodamiento, de pendiente o grados de curvatura, así como la presencia de otros vehículos, afecta las condiciones de operación y por lo tanto, los costos correspondientes.

En términos de diseño y construcción iniciales, resulta también conveniente invertir más en la construcción de las carreteras para tener estructuras estables y pavimentos resistentes y, con ello, caminos más durables, con menos interrupciones al tránsito por trabajos de conservación y por lo tanto, más seguros y acumulativamente más económicos para los usuarios y el país en general, que destinar menos inversión inicial, buscando un ahorro fugaz y repercutiendo, posteriormente, en altos costos de conservación a la dependencia responsable y de operación a los usuarios y, por ende, al País en su conjunto durante toda la vida útil del camino.

En la figura 5.1, se muestra la importancia en costos de operación vehicular comparando acciones de conservación de carreteras y no hacer algo.

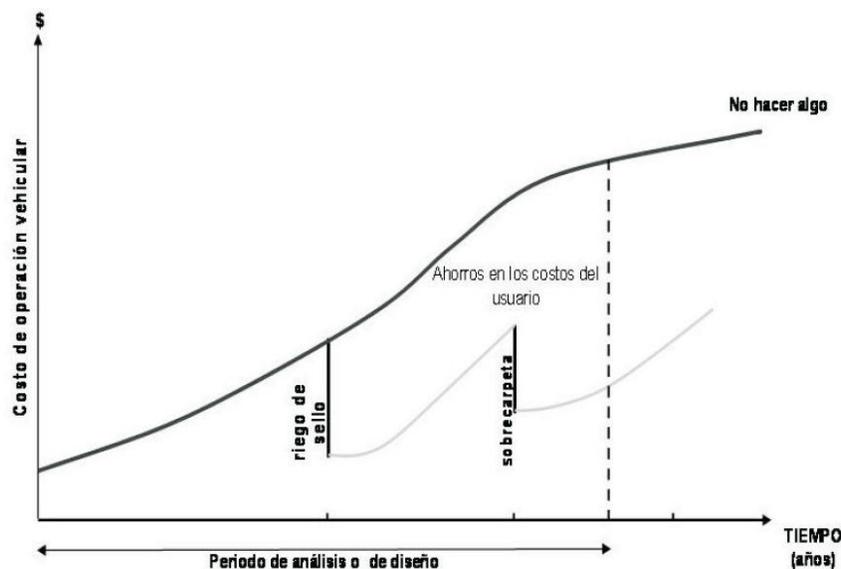


Figura 5.1: Costos de operación Vehicular Vs Acciones de conservación (Fuente: Publicación Técnica No. 368 del Instituto Mexicano del Transporte).



5.2 Consideraciones importantes para el análisis de costos de operación

En México el análisis de costos de operación que más se emplea toma como referencia la **Publicación Técnica No. 368 del Instituto Mexicano del Transporte llamada: “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012”**, que constituye la cuarta edición actualizada de los Costos de Operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano Mexicano, cuya idea original dio como resultado en 1991, la Publicación Técnica No. 30.

En el análisis se presentan datos sobre las características de la carretera (tipo de superficie; índice internacional de regularidad; pendiente; etc), del vehículo (peso; carga útil; potencia; velocidad; área frontal proyectada; número de kilómetros conducidos por año; vida útil promedio de servicio; costos unitarios; etc.), así como de los neumáticos (número de llantas por vehículo; costo de la llanta nueva; costo del renovado de la llanta; etc) para siete tipos de vehículos; y se calculan los respectivos costos de operación para condiciones ideales.

Las gráficas relacionan para los siete tipos de vehículos y tres tipos de terreno, la regularidad y el índice de servicio con el costo de operación, el cual se considera como 1 en un tramo recto de pendiente 0% y pavimento nuevo (Índice Internacional de Rugosidad = 1-2 m/km; Índice de Servicio = 4.5-5), de manera que los costos correspondientes a otras condiciones de rugosidad y de alineamiento horizontal y vertical, se expresan como un factor siempre mayor que 1; de esta forma se ha tratado de eliminar la referencia a un precio variable.

Los costos de operación que sirvieron de base para elaborar las gráficas y poder así obtener el factor del costo de operación base, se obtuvieron mediante la aplicación del programa adaptado para las condiciones de México por el IMT, denominado VOCMEX, el cual se aplicó para cada uno de los siete vehículos utilizados, en donde también se utilizaron datos de las características de la carretera.

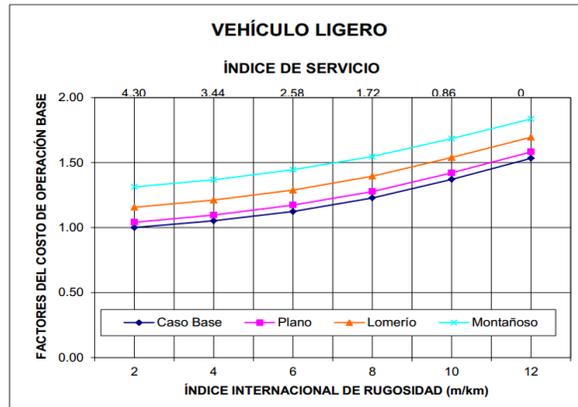


Figura 5.2: Gráfica elaborada para obtener los factores del costo de operación base de un vehículo ligero, relacionando la condición superficial expresada en IRI o ISA con la topografía del terreno (Fuente: publicación técnica No 368 del IMT, 2012).

Para que el uso común de la información contenida en las gráficas no dependa de la variación de los costos unitarios de los consumos y de los vehículos, se decidió, como se ha mencionado, el uso de factores de un costo base.

El costo de operación base se define como el costo por kilómetro de un vehículo que transita sobre una carretera recta y plana; esto es, con curvatura y pendiente iguales a cero, y con pavimento en muy buenas condiciones (Índice Internacional de Rugosidad igual a 2 m/km, Índice de Servicio igual a 4.3). Dicho costo se calcula como la suma de los productos de los diferentes consumos del vehículo en un kilómetro de recorrido, por sus respectivos costos unitarios.

Finalmente los costos de operación anuales por kilómetro para cada tipo de vehículo quedan definidos de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$COA = Fb \times CB \times TDPA \times 365$$

Dónde:

COA.- Costo de operación anual, por kilómetro para todos los vehículos de un mismo tipo.

Fb.- Factor del Costo de Operación Base, que se lee de las gráficas para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado superficial deseados.

CB.- Costo de Operación Base del vehículo, que se obtiene en el apartado correspondiente



de la dicha publicación.

TDPA.- Tránsito Diario Promedio Anual del vehículo.

365.- Número de días en el año.



5.3 Análisis del costo operación vehicular en los tramos analizados usando la metodología del IMT

El presente análisis de costos de operación en los tramos analizados toma como referencia la Publicación Técnica No. 368 del Instituto Mexicano del Transporte llamada: **“Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012”**

Se decidió tomar como base esta publicación ya que se puede decir que la aproximación a la realidad de los resultados de dicho trabajo del IMT ha sido buena por haber tomado como referencia la información real que valida los mismos.

Se procedió a calcular los costos de operación base para cada uno de los vehículos, multiplicando los consumos en un kilómetro de los insumos (Combustibles, lubricantes, llantas, refacciones, mantenimiento, etc.) por sus respectivos precios unitarios (se realizó una investigación de precios en el mercado local durante Abril y Mayo del 2014 y se obtuvieron precios unitarios promedios de algunos insumos y otros se obtuvieron de la publicación técnica No 368 del IMT del 2012 actualizados al 2014), con lo cual se obtuvieron los costos de operación base para siete tipos de vehículos que se presenta en el Anexo K “ Análisis del costo de operación”



CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO:

CUERPO A

Carretera: Jalapa- Veracruz

Tramo: Jalapa- Ciudad Cardel

Subtramo : 13+600 al 22+800

La composición del tránsito vehicular para éste camino se tomó de los datos de la SCT del año 2013, en donde la clasificación vehicular y el TDPA son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.1 Clasificación vehicular del cuerpo A (Datos Viales 2013).

TIPO DE VEHÍCULO	%	NÚMERO DE VEHICULOS
Vehículo ligero (A)	83.5	7,834
Autobús (B)	3.4	319
Camión de 2 ejes (C2)	5.0	469
Camión de 3 ejes (C3)	1.6	150
Camión articulado (T3-S2)	2.8	263
Camión articulado (T3-S3)	1.4	131
Camión articulado (T3-S2-R4)	2.3	216
TDPA		9,382

Índice de Irregularidad Superficial promedio (IRI): 4.26 m/km. La topografía que atraviesa el camino es de tipo lomerío.

Tasa anual de incremento vehicular: 5.63 %.

Para IRI de estado superficial bueno= 2 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.16	1.37	1.4	1.49	1.4	1.48	1.57
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	7,834	319	469	150	263	131	216
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	12,786,157.70	1,836,402.14	1,636,575.71	756,289.51	1,733,698.12	1,031,978.39	2,244,132.88
						TOTAL C.O.A(\$/KM)	22,025,234.45



Para IRI de estado superficial medido del tramo=4.26 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.24	1.44	1.55	1.61	1.53	1.6	1.69
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	7,834	319	469	150	263	131	216
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	13,667,961.68	1,930,232.91	1,811,923.11	817,198.73	1,894,684.38	1,115,652.31	2,415,658.96
TOTAL C.O.A(\$/KM)							23,653,312.07

Para IRI de estado superficial malo =6 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.29	1.49	1.66	1.69	1.6	1.67	1.76
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	7,834	319	469	150	263	131	216
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	14,219,089.17	1,997,254.88	1,940,511.20	857,804.88	1,981,369.28	1,164,462.10	2,515,715.84
TOTAL C.O.A(\$/KM)							24,676,207.35

De acuerdo con los resultados de éste trabajo de investigación, aplicado para éste tramo de la carretera Jalapa-Veracruz del km 13+600 al 22+800, de los costos de operación vehicular obtenidos por kilómetro y en un año, se pueden calcular los sobrecostos que se han generado y que se deberán gastar, de acuerdo a lo siguiente:

Al pasar de un estado actual bueno (IRI=2.0 m/km) al que se midió con el perfilómetro láser (IRI=4.26 m/km), se originará un incremento en los costos de operación de: **\$ 1,628, 077. 62 / km /año (6.88%)**. Si se calculan para todo el tramo los costos de operación serán de **\$ 14, 978,314.13** por cada año, tomando en cuenta que entre más pasa el tiempo el IRI medido se ira deteriorando cada vez más.

Y, por otro lado, al pasar del IRI medido (IRI=4.26 m/km) a un estado con mayor grado de deterioro en la superficie de rodamiento (IRI=6 m/km), se generará otro incremento en los



costos de operación de: **\$ 1, 022,895.28/ km / año (4.14%)**. Si se calculan para todo el tramo los costos de operación serán de **\$ 9,410, 636.552** por cada año.



CUERPO B

La composición del tránsito vehicular para éste camino se tomó de los datos de la SCT del año 2013, en donde la clasificación vehicular y el TDPA son los que se muestran en la siguiente tabla (5.2).

Tabla 5.2 Clasificación vehicular del cuerpo B (Datos Viales 2013).

TIPO DE VEHÍCULO	%	NÚMERO DE VEHICULOS
Vehículo ligero (A)	81.4	8221
Autobús (B)	3.6	364
Camión de 2 ejes (C2)	5.5	555
Camión de 3 ejes (C3)	2	202
Camión articulado (T3-S2)	3.4	343
Camión articulado (T3-S3)	1.6	162
Camión articulado (T3-S2-R4)	2.5	252
TDPA		10,099

Índice de Irregularidad Superficial promedio (IRI): 4.79 m/km.

La topografía que atraviesa el camino es de tipo lomerío.

Tasa anual de incremento vehicular: 8.99 %.

Para IRI de estado superficial bueno=2 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.16	1.37	1.4	1.49	1.4	1.48	1.57
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	8,221	364	555	202	343	162	252
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	13,417,794.55	2,095,455.73	1,936,672.75	1,018,469.87	2,261,058.77	1,276,187.01	2,618,155.02
						TOTAL C.O.A(\$/KM)	24,623,793.71



Para IRI de estado superficial medido del tramo=4.26 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)	
Fb	1.25	1.45	1.58	1.63	1.54	1.61	1.7	
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13	
TDPA	8,221	364	555	202	343	162	252	
DIAS	365	365	365	365	365	365	365	
C.O.A (\$/KM)	14,458,830.33	2,217,818.11	2,185,673.53	1,114,165.03	2,487,164.65	1,388,284.52	2,834,944.93	
							TOTAL C.O.A(\$/KM)	26,686,881.10

Para IRI de estado superficial malo =6 m/km

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)	
Fb	1.29	1.49	1.66	1.69	1.6	1.67	1.76	
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13	
TDPA	8,221	364	555	202	343	162	252	
DIAS	365	365	365	365	365	365	365	
C.O.A (\$/KM)	14,921,512.90	2,278,999.30	2,296,340.54	1,155,177.24	2,584,067.17	1,440,021.83	2,935,001.81	
							TOTAL C.O.A(\$/KM)	27,611,120.79

Al pasar de un estado actual bueno (IRI=2.0 m/km) al que se midió con el perfilómetro láser (IRI=4.79 m/km), se originará un incremento en los costos de operación de: **\$ 2, 063,087.39 / km /año (7.73%)**. Si se calculan para todo el tramo los costos de operación serán de **\$ 18,980, 404** por cada año, tomando en cuenta que entre más pasa el tiempo el IRI medido se ira deteriorando cada vez más.



Y, por otro lado, al pasar del IRI medido (IRI=4.26 m/km) a un estado con mayor grado de deterioro en la superficie de rodamiento (IRI=6 m/km), se generará otro incremento en los costos de operación de: **\$ 924,239.69 / km / año (3.34 %)**. Si se calculan para todo el tramo los costos de operación serán de **\$ 11, 090876.32** por cada año.

El análisis de los costos de operación base muestra a detalle en el Anexo K” Análisis de los costos de operación base”



5.4 Comparación de los costos de operación del estado superficial entre ISA e IRI

A continuación se muestran los resultados de los costos de operación obtenidos con el ISA para el tramo estudiado:

Cuerpo A

Para ISA del tramo = 3.4

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.18	1.41	1.5	1.55	1.48	1.51	1.58
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	7,834	319	469	150	263	131	216
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	13,006,608.70	1,890,019.72	1,753,473.98	786,744.12	1,832,766.59	1,052,896.87	2,258,426.72
TOTAL C.O.A(\$/KM)							22,580,936.69

El costo de operación anual por km por medio del ISA resultó de \$ **22, 580,936.69** por lo que representa una diferencia de \$ **1, 072 375.38** menor con respecto al IRI medido, si se multiplica por todo el tramo da una equivalencia de C.O.A de \$ **9, 865 853.5** por todo el sub tramo.

Cuerpo B

Para ISA del tramo = 3.2

VARIABLES	VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
Fb	1.19	1.42	1.51	1.55	1.49	1.52	1.59
CB	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13
TDPA	8,221	364	555	202	343	162	252
DIAS	365	365	365	365	365	365	365
C.O.A (\$/KM)	13,764,806.47	2,171,932.22	2,088,839.89	1,059,482.08	2,406,412.55	1,310,678.55	2,651,507.32
TOTAL C.O.A(\$/KM)							25,453,659.09



El costo de operación anual por km por medio del ISA resultó de \$ **25,453,659.09** por lo que representa una diferencia de \$ **1,233,222.01** menor con respecto al IRI medido, si se multiplica por todo el tramo da una equivalencia de C.O.A de \$ **11,345,642.49** por todo el sub tramo.



6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

6.1 Propuesta de las alternativas de solución

En la tabla 4.2 de esta tesis se muestra el resumen de los valores de IRI del tramo en estudio que resultó el promedio de 4.27 m/km para el cuerpo A y de 4.79 m/km para el cuerpo B. Con estos valores de IRI es necesario realizar trabajos de conservación por problemas de regularidad superficial.

En México no ha sido práctica común la conservación de carreteras por problemas de regularidad superficial. Esta situación se tiene que cambiar cada vez que se toma una decisión en un proyecto de rehabilitación de pavimentos, ya que se le tiene que dar mayor importancia a esta característica, porque tiene influencia sobre los tres factores que intervienen en el tránsito.

- Vehículos
- Usuarios
- Carretera

Por otra parte, tomando en cuenta la profundidad de las roderas medidas con el perfilómetro láser, el resumen de los valores de roderas de la carretera: Jalapa-Veracruz, indicada en la tabla 4.3, reflejando que los valores para el cuerpo A es de 3.95 mm y para el cuerpo B es de 2.85 mm. Lo cual indica que es necesario realizar trabajos de conservación.

Otro parámetro importante es el índice de fricción, el resumen de estos valores se muestra en la tabla 4.7, y resultó de 0.69 para el cuerpo A y de 0.61 para el cuerpo B, por lo que, con respecto a este parámetro, no es necesario rehabilitar por causas de fricción.



En cuanto al análisis estructural, los módulos elásticos que se obtuvieron mediante el FWD, así como los análisis de calidad realizados a las muestras obtenidas de las diferentes capas del pavimento y capas inferiores (terracerías) , reflejan que las capas debajo de la carpeta asfáltica se encuentran en buen estado; en contraparte, la carpeta asfáltica es la que no cumple desde el punto de vista estructural, por lo que se tienen que llevar a cabo trabajos de rehabilitación en la carpeta, tanto en el cuerpo A, como el cuerpo B.

Alternativas cuerpo A

Con las características anteriores se consideró que la alternativa “A” será: realizar trabajos de relleno y sellado de grietas, bacheo superficial aislado, aplicación de riego de liga y la colocación de una sobre carpeta de 8 cm de espesor compacto con un módulo de elasticidad mínimo de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$.

La alternativa “B” será: realizar trabajos de bacheo superficial aislado, relleno y sellado de grietas para después fresar 3 cm de la carpeta actual y, posteriormente, la aplicación de colocar un riego de liga y la colocación de una sobre carpeta de 10 cm de espesor compacto con un módulo de elasticidad mínimo de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$.

Alternativas cuerpo B

Se consideró que la alternativa “A” será: realizar de trabajos de relleno y sellado de grietas, bacheo superficial aislado, la aplicación de un riego de liga y la colocación de una sobrecarpeta de 6 cm de espesor compacto con un módulo de elasticidad mínimo de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$.

La alternativa “B” será: realizar trabajos de bacheo superficial aislado, relleno y sellado de grietas para después fresar 1 cm de la carpeta actual y, posteriormente, la aplicación de un riego de liga y la colocación de una sobrecarpeta de 7 cm de espesor compacto con un módulo de elasticidad mínimo de $35,000 \frac{(kg)}{(cm^2)}$.



6.2 Justificación de las alternativas de solución

De acuerdo a los criterios de evaluación considerados, se muestra a continuación la importancia que tiene cada uno de los siguientes aspectos:

- a) Sociales: Éste criterio consiste en los beneficios que recaen sobre la sociedad, para éste caso en particular influyen varios factores para el buen funcionamiento de la autopista en estudio, tal y como a continuación se mencionan:
 - El pavimento se debe de encontrar en excelentes condiciones superficiales, es decir que no existan: baches, roderas, agrietamiento severo debido a fatiga, filtraciones, etc.
 - Que el pavimento sea seguro, osea que exista una buena adherencia entre llanta y pavimento, también se toman en cuenta aspectos secundarios tales como el ancho de corona y la geometría de la carretera para evitar accidentes.
 - El pavimento debe ser cómodo, por lo que el pavimento no debe de tener irregularidades, tales como deformaciones en la carretera que afecten directamente el Índice de Irregularidad Superficial (IRI).
- b) Técnico. Desde el punto de vista estructural, el pavimento debe de soportar las cargas del tránsito durante toda su vida útil, así como los afectaciones que el clima le transfiera.

El método de diseño del instituto de ingeniería de la UNAM tiene las siguientes ventajas técnicas: el criterio del cálculo de ejes equivalentes se hizo con las especificaciones del tránsito vehicular que circula por la red carretera de nuestro país; por otra parte, considera modelos elasto-plástico y elásticos para deformación permanente y de fatiga, contiene un programa de computación iterativo de fácil aplicación, además que en el diseño acepta módulos de resiliencia mayores de 450 000 psi, entre otras.



- c) Económicos.- Éste criterio se refiere a que si la carretera se encuentra en buen estado, tanto superficial como estructural, los costos de operación disminuirán. Es importante recordar que los costos de operación en general son mayores a los costos de construcción y conservación.

- d) Ambientales.- Desde el punto de vista de impacto ambiental en la rehabilitación de la autopista no afectará el medio ambiente, al contrario se disminuirá la contaminación por ruido debido a que cuando se rehabilita un pavimento, la superficie de rodamiento es más regular y permite un contacto más uniforme, entre llanta y pavimento.

Una vez analizados los criterios mencionados anteriormente, se justifica que las dos alternativas (“A” y “B”) para ambos cuerpos, son las opciones más factibles, ya que satisfacen todos los criterios citados anteriormente. También se justifican estas alternativas, ya que están basadas en el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, y una importante ventaja es reiterar que éste método se desarrolló bajo especificaciones de tránsito y clima correspondientes a nuestro país.



6.3 Análisis económico de las alternativas de solución propuesta

Se procedió a calcular los costos de conservación de la carretera, tanto del cuerpo A como en el cuerpo B, multiplicando las cantidades de obra por sus respectivos precios unitarios (se realizó una investigación de precios en el mercado local durante Abril y Mayo del 2014 y se obtuvieron precios unitarios actualizados), con lo cual se obtuvo el catálogo de conceptos de los costos por rehabilitar, tal y como se muestra en la siguiente tabla (6.1):

Tabla 6.1 Descripción y costo aproximado de las alternativas de conservación del cuerpo A

Alternativa “A”	“Alternativa B”
1.- Del km 13+600 al 22+800, trabajos de relleno y sellado de grietas aisladas en el pavimento.	1.- Del km 13+600 al 22+800, trabajos de relleno o sellado de grietas aisladas en el pavimento.
2.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de bacheo superficial aislado en donde sea requerido.	2.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de bacheo superficial aislado en donde sea requerido.
3.- Del km 13+600 al km 22+800. Construcción de carpeta asfáltica de 8 cm de espesor compacto de granulometría densa elaborada en caliente, incluye: riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (ECR-35) con una dosificación de 1.0 lt/m ² .	3.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de fresado de la carpeta asfáltica en una profundidad de 3 cm. Incluye: retiro del material producto del fresado hasta una distancia de 5 km.
4. Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Raya central discontinua de 15 cm de ancho color blanco reflejante y base solvente.	4.- Del km 13+600 al km 22+800. Construcción de carpeta asfáltica de 8 cm de espesor compacto de granulometría densa elaborada en caliente, incluye: riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (ECR-35) con una dosificación de 1.0 lt/m ²



<p>5.-Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Rayas laterales exteriores continuas de 15 cm de ancho, color blanco reflejante (extrema derecha) y amarillo reflejante (extrema izquierda), ambas base solvente.</p>	<p>5 Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Raya central discontinua de 15 cm de ancho color blanco reflejante y base solvente.</p>
<p>-----</p>	<p>6.-Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Rayas laterales exteriores continuas de 15 cm de ancho, color blanco reflejante (extrema derecha) y amarillo reflejante (extrema izquierda), ambas base solvente</p>
<p>Costo aproximado: \$ 19,041,097.52</p>	<p>Costo aproximado: \$ 24,070,487.76</p>



Tabla 6.2 Descripción y costo aproximado de las alternativas de conservación del cuerpo B

Alternativa “A”	“Alternativa B”
1.- Del km 13+600 al 22+800, trabajos de relleno y sellado de grietas aisladas en el pavimento.	1.- Del km 13+600 al 22+800, trabajos de relleno o sellado de grietas aisladas en el pavimento.
2.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de bacheo superficial aislado en donde sea requerido.	2.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de bacheo superficial aislado en donde sea requerido.
3.- Del km 13+600 al km 22+800. Construcción de carpeta asfáltica de 6 cm de espesor compacto de granulometría densa elaborada en caliente, incluye: riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (ECR-35) con una dosificación de 1.0 lt/m ² .	3.- Del km 13+600 al km 22+800, trabajos de fresado de la carpeta asfáltica en una profundidad de 1 cm. Incluye: retiro del material producto del fresado hasta una distancia de 5 km.
4. Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Raya central discontinua de 15 cm de ancho color blanco reflejante y base solvente.	4.- Del km 13+600 al km 22+800. Construcción de carpeta asfáltica de 7 cm de espesor compacto de granulometría densa elaborada en caliente, incluye: riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (ECR-35) con una dosificación de 1.0 lt/m ²
5.-Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Rayas laterales exteriores continuas de 15 cm de ancho, color blanco reflejante (extrema derecha) y amarillo reflejante (extrema izquierda), ambas base solvente.	5 Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Raya central discontinua de 15 cm de ancho color blanco reflejante y base solvente.



<p>-----</p>	<p>6.-Del km 13+600 al km 22+800, Aplicación de señalamiento horizontal (Marcas en el pavimento): Rayas laterales exteriores continuas de 15 cm de ancho, color blanco reflejante (extrema derecha) y amarillo reflejante (extrema izquierda), ambas base solvente</p>
<p>Costo aproximado: \$14,365,675.19</p>	<p>Costo aproximado: \$ 16,818,654.67</p>

En el Anexo L, “Catálogo de Conceptos” se muestra a detalle el catálogo de conceptos y los trabajos por ejecutar de las alternativas seleccionadas



6.4 Comparación entre los análisis económicos desde el punto de vista estructural (Módulos elásticos y CBR críticos)

Para hacer la comparación nos vamos a basar en los resultados del capítulo: “4.9.3 Análisis comparativo estructural (DISPAV 5) entre FWD Y CBR Crítico”. Se tomaron en consideración las diferencias más críticas de espesor de carpeta asfáltica en ambos cuerpos.

Cuerpo A

De la comparación estructural de la alternativa III se concluye que por CBR críticos se necesitara 2 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 15 cm, mientras que por CBR crítico resultó de 17 cm.

Si lo convertimos en cuestiones de capital económico, el costo únicamente de la carpeta asfáltica de 15 cm en el tramo de estudio es de \$ 30, 123,468.00, mientras que el costo de la carpeta de 17 cm resulta de \$ 34, 139,930.40 ; lo que representa una diferencia de \$ 4, 016,462.40 .

Cuerpo B

De la comparación estructural de la alternativa III se concluye que por CBR críticos se requerirán 5 cm más en la carpeta asfáltica para poder satisfacer las necesidades del tránsito de proyecto, ya que por módulos elásticos el espesor de la carpeta asfáltica resultó de 12 cm, mientras que por CBR críticos resultó de 17 cm.

Si lo convertimos en cuestiones de capital económico, el costo únicamente de la carpeta asfáltica de 12 cm en el tramo de estudio es de \$ 24, 098,774.40, mientras que el costo de la carpeta de 17 cm resulta de \$ 34, 139,930.40, lo que representa una diferencia de \$ 10, 041,156.00 .



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El primer paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en un determinado pavimento, es el reconocimiento del estado que presenta el pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario (Condición Funcional), como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de vida útil (Condición Estructural).

Es muy importante promover el uso de equipos de auscultación no destructivos para pavimentos, ya que hasta la fecha muchas de las empresas dedicadas a la consultoría siguen empleando únicamente estudios geotécnicos tradicionales, sin complementarse de los equipos de auscultación no destructivos.

En contraste, aunque existan los equipos no destructivos, que son muy útiles en la evaluación y el proyecto de pavimentos, nunca deben de hacerse totalmente un lado los estudios geotécnicos tradicionales que permitan asociar sus conclusiones al entendimiento del complicado funcionamiento de los pavimentos.

Por otra parte, en el caso más crítico, la comparación de usar un equipo no destructivo (FWD) con un método tradicional (CBR) en el tramo de estudio, representó un ahorro de 5 cm de espesor de carpeta asfáltica que equivale a poco más de 10 millones de pesos en el costo total por conservar este tramo carretero de 9.2 km de longitud.

Para el caso superficial, la comparación más crítica resultó en los cálculos de los costos de operación anual entre lo medido (IRI) y lo subjetivo (ISA), ya que el ISA resultó \$1, 233,222.01 menor con respecto al IRI medido, si se multiplica por todo el tramo da una equivalencia de \$ 11, 345 , 642.49 .



Definitivamente no es bueno hacer comparaciones entre las mediciones subjetivas con las objetivas en la evaluación de pavimentos, pero fue la finalidad de este tema de investigación, actualmente gran parte de las empresas de consultoría aún realizan la evaluación de pavimentos de manera subjetiva continúan basándose en indicadores como el ISA y el CBR; lo cual, como podemos darnos cuenta debido al análisis realizado en éste trabajo de investigación profesional, esto se reflejará finalmente en la economía de nuestro país.

El buen comportamiento de un pavimento flexible depende más de los materiales empleados para construirlo y conservarlo, que del uso preferente de un determinado método de diseño de pavimentos. Por ello, a éste parece fundamental considerar la tecnología de pavimentos como una parte de la Geotecnia Aplicada

Se puede establecer que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá posteriormente la falla funcional. Además una falla funcional que no se atiende en forma correcta y a su debido tiempo, puede conducir a una falla estructural.

Parece desprenderse, de los análisis realizados, la idea de que no existe un procedimiento fundado en una teoría general, producto de un conocimiento metodológico seguro, que permita conservar los pavimentos flexibles. De hecho, parece que puede concluirse que no se conoce con el detalle suficiente el funcionamiento de los mismos.

De la conclusión anterior es considerable mencionar que las explicaciones subjetivas y empíricas sobre el comportamiento de los pavimentos en la condición actual y futura, han cambiado radicalmente, esto debido a la incursión de la Mecánica de Suelos en estas obras de infraestructura, con el apoyo de equipos no destructivos.



7.2 Recomendaciones

Se recomienda que la SCT exija a las empresas prestadoras de servicios, que cuando estas realicen una formulación de dictámenes técnicos para conservación o modernización de carreteras también presenten un análisis de costos de operación del tramo correspondiente, ya que es muy importante recordar que estos costos son mayores a los de conservación y a los de construcción.

En nuestro país es necesario hacer obligatorio el uso del Índice de Irregularidad Superficial (IRI) para una mejor evaluación del estado superficial de los pavimentos. Conviene dejar de evaluar subjetivamente las carreteras con el Índice de Servicio Actual.

En México no ha sido práctica común las acciones de conservación de carreteras por problemas de regularidad superficial. Esta situación tiene que cambiar, ya que la regularidad superficial es el detonante principal para que se incrementen los costos de operación de una carretera.

Sugerir a las universidades que incluyan en sus programas de estudio la materia de "Conservación de Carreteras ", con el objeto de preparar ingenieros capacitados en es esta área, ya que cada vez hay menos universidades que lo incluyen en sus programas de estudio.



7.3 Líneas de investigación futuras

Se recomienda realizar una comparación entre el levantamiento de deterioros hecho a pie y el que se realiza con un equipo especial de alto rendimiento para el levantamiento de deterioros que contenga un software que de manera automática identifique, clasifique y cuantifique los deterioros existente en la superficie de rodamiento; actualmente en el mercado ya existen este tipo de equipos.

También se recomienda hacer investigación para capas granulares de tal manera que se compare los módulos elásticos obtenidos con el FWD con los módulos elásticos obtenidos con cámaras triaxiales especiales para materiales granulares tales como la base hidráulica, la sub base hidráulica y la sub rasante.

Conviene realizar un tramo de prueba en el que año con año se hagan mediciones con los equipos de auscultación no destructivos y así poder analizar la evolución de estas mediciones con el tiempo para identificar los principales factores que deterioren la estructura del pavimento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASTM E-670 Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter

AASHTO T 256: Medidas de la deflexión del pavimento.

ASTM E-950 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference

ASTM D 4695 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements

ASTM E 1274 Standard Test Method for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph.

SAYERS.M.W. GILLESPIE.T.D. Y QUEIROZ A.V. 1986. The International Road Roughness Experiment World Bank Technical Paper Number.

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. The International Roughness Index (IRI): What is it? How is it Measured? What do you need to know about it?. R&T Update Concrete Pavement Research & Technology (Ago 2002).

SAYERS, MW, KARAMIHAS, SM. The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. University of Michigan Transportation Research Institute (1998).

PROGRAMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA 2007-2012 Pag. Web www.infraestructura.gob.mx/

OLIVERA BUSTAMANTE FERNANDO Estructuración de vías terrestres. Editorial Patria, segunda Edición. México.1996.



A. RICO, R. TÉLLEZ, M. ELIZONDO .Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, Instituto Mexicano del Transporte, Documento Técnico 3, 4 y 5 1991.

J. A. ROMERO .La respuesta dinámica de un cuarto de carro y el Índice Internacional de Rugosidad Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica 67.1996.

COSTA HERNÁNDEZ ANDRÉS “Estado de arte sobre IRI” , 2ºda Jornada Técnica de ASEFMA (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas) Madrid, España 2006.

YARZA ÁLVARE PEDRO, CRESPO DEL RIO RAMÓN “Regularidad Superficial en carreteras de reciente construcción”, Aepo Consultores, Madrid España, 2007.

MONFORTE OCAMPO ARTURO MANUEL, Conservación de carreteras federales libres de peaje, Dirección general de Conservación de Carreteras, SCT , 2008.

AGUERREBERE SALIDO, R., CEPEDA NARVÁEZ, F., Publicación Técnica No. 20 “Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras”, Instituto Mexicano del Transporte, México, 1991.

AL-BALBISSI ADLI H. Economics of Pavement Condition, Axle Load, and Vehicle Operating Costs. ITE Journal (May 1991).

MASER KENNETH R, MARKOW MICHAEL J. Measuring Systems and Instrumentation for Evaluating the Effectiveness of Pavement Maintenance. Strategic Highway Research Program, National Research Council. Washington, DC (1991).

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR MANAGEMENT DEVELOPMENT (IMD), World Competitiveness Yearbook 2006.



SÁNCHEZ SABOGAL FERNANDO. Apuntes de ingeniería de pavimentos. Universidad Católica de Chile, 2006

NORMA ASTM E 1364 Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method.

NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES M-MMP-4-07-002, Índice de Perfil 2012.

NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES N-CTR-CAR-1-04-006, Carpetas asfálticas con mezclas en Caliente 2006.

NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES N-CTR-CAR-1-04-007, Carpetas asfálticas con mezclas en Frio 2006.

NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES N-CMT-4-05-003, Calidad en mezclas Asfálticas en Carreteras 2006.

RICO, A. Y DEL CASTILLO, H. Ingeniería de suelos en las vías terrestres. Volumen 2. LIMUSA, 2002.

ASPHALT INSTITUTE, The Asphalt Handbook, Manual Series No. 4, MS-4, Lexington, Kentucky, EUA (1989).

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, Calidad de mezclas asfálticas para carreteras, Norma N CMT 4 05 003/02 (2002)



SOSA, R. Apuntes de: Proyecto y construcción de pavimentos. Maestría en mecánica de suelos. Facultad de Ingeniería UNAM, 2013.

NICHOLAS J. GARBER/LESTER A.HOEL. Ingeniería de tránsito y carreteras, tercera edición, editorial Thomson.

HUANG, Y.,“Pavement Analysis and Design”, primera edición, Prentice Hall 1993

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Primera y Segunda Parte), Manuel Zarate Aquino, segunda edición, Asociación Mexicana de Asfalto A.C.



ANEXO A

“Levantamiento de Deterioros”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL
 LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS



CARRETERA: Jalapa-Veracruz		FECHA: ABRIL 2014	
TRAMO: Jalapa-Ciudad Cardel		DEL KM: 13+600	AL KM: 22+800
SUBTRAMO: 13+600-22+800	ORIGEN: 13+600	CUERPO: A	CARRILAS: MBOS
OBSERVADOR: Ing. Domingo Perez Madrigal		ANCHO: 9.0 m	ÁREA: 82 800 m ²

DETERIOROS TÍPICOS	SIMBOLO	SEVERIDAD									CROQUIS
		ALTA			MEDIA			BAJA			
		Q	%	VD	Q	%	VD	Q	%	VD	
GRIETAS	LONGITUDINALES m	3126	4	22	8280	11	26	5126	6	6	
	TRANSVERSALES m	4654	5.62	28	6123	7.39	12	12223	14.8	21	
	POR DESLIZAMIENTO m ²										
	EN BLOQUE m ²							2123	2.56	4	
	PIEL DE COCODRILLO m ²	6123	7.39	55	6782	8.19	42	12543	15.1		
	DE REFLEXIÓN m							3456	4.17		
JUNTAS m							1212	1.46			
DEFORMACIONES	RODERAS m ²	3214	3.88	44	4352	5.26	34	8651	10.4	25	
	CORRUGACIONES m ²							1475	1.78	4	
	DESPLAZAMIENTOS m ²										
	ASENTAMIENTOS m ²							3215	3.88	8	
FALLAS	EXPANSIONES m ²							1235	1.49	7	
	BACHES SUPERFICIALES m ²							22	0.03	1	
SEGREGACIÓN	BACHES PROFUNDOS m ²										
	PÉRDIDA DE AGREGADO GRUESO m ²				1124	1.36	8	5212	6.29	7	
	PÉRDIDA DE AGREGADO FINO m ²				3741	4.52	14	6214	7.5	9	
VARIOS	PELADURAS m ²							3565	4.31		
	PULIMENTO DE AGREGADOS m ²				1745	2.11	6	2142	2.59	3	
	EXUDACIÓN DE ASFALTO m ²							1121	1.35	2	
	EXUDACIÓN DE AGUA m ²							412	0.5	1	
	EXPULSIÓN DE FINOS m ²				1215	1.47	4	4213	5.09	6	
	DERRAME DE SOLVENTES m ²										
	MATERIAS EXTRAÑAS m ²										
REPARACIONES	CALIDAD:										
			MA LA		REGULAR		BUENA				
	BACHEO SUPERFICIAL m ²	545	0.66		1515	1.83		871	1.05		
	BACHEO PROFUNDO m ²										
	PARCHEO DE ZANAJAS m ²										
	REGO DE SELLO m ²										
	RENMELACIONES m ²				2354	2.84		1241	1.5		
SOBRECARPETAS m ²											

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL
 LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS



CARRETERA: Jalapa-Veracruz		FECHA: ABRIL 2014	
TRAMO: Jalapa-Ciudad Cardel		DEL KM: 13+600	AL KM: 22+800
SUBTRAMO: 13+600-22+800	ORIGEN: 13+600	CUERPO: B	CARRILAS: MBOS
OBSERVADOR: Ing. Domingo Perez Madrigal		ANCHO: 9.0 m	
		ÁREA: 82 800 m ²	

DETERIOROS TÍPICOS	SIMBOLO	SEVERIDAD									CROQUIS
		ALTA			MEDIA			BAJA			
		Q	%	VD	Q	%	VD	Q	%	VD	
GRIETAS	LONGITUDINALES m	1142	1.38	12	4280	5.17	13	6472	7.82	8	Inicio km 13+600 km. 15+800 km. 17+800 km. 19+800 km. 21+800 Final km 22+800
	TRANSVERSALES m	1637	1.98	13	7121	8.6	18	1212	1.46	2	
	POR DESLIZAMIENTO m ²										
	EN BLOQUE m ²				1012	1.22	4	6987	8.44	9	
	PIEL DE COCODRILLO m ²	1212	1.46	38	6214	7.5	41	4152	5.01	25	
	DE REFLEXIÓN m							4545	5.49	5	
JUNTAS m											
DEFORMACIONES	RODERAS m ²	1121	1.35	33	3212	3.88	32	3012	3.64	18	
	CORRUGACIONES m ²				978	1.18	4				
	DESPLAZAMIENTOS m ²							1745	2.11	9	
	ASENTAMIENTOS m ²							2125	2.57	10	
FALLAS	BACHES SUPERFICIALES m ²							15	0	1	
	BACHES PROFUNDOS m ²										
SEGREGACIÓN	PÉRDIDA DE AGREGADO GRUESO m ²							9545	11.5	11	
	PÉRDIDA DE AGREGADO FINO m ²				3214	3.88	13	623	0.75	4	
	PELADURAS m ²				1745	2.11	12	2012	2.43	8	
VARIOS	PULIMENTO DE AGREGADOS m ²				6321	7.63	9	3987	4.82	6	
	EXUDACIÓN DE ASFALTO m ²							3045	3.68	6	
	EXUDACIÓN DE AGUA m ²							872	1.05	3	
	EXPULSIÓN DE FINOS m ²	698	0.84	18	2545	3.07	12	6321	7.63	9	
	DERRAME DE SOLVENTES m ²										
	MATERIAS EXTRAÑAS m ²										
REPARACIONES	CALIDAD:		MA LA			REGULAR			BUENA		
	BACHEO SUPERFICIAL m ²				4515	5.45		2145	2.59		
	BACHEO PROFUNDO m ²										
	PARCHEO DE ZANAJAS m ²										
	REGO DE SELLO m ²										
	RENMELACIONES m ²				3354	4.05		1211	1.46		
	SOBRECARPETAS m ²										

OBSERVACIONES:



ANEXO B

“Obtención del ISA”



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ÍNDICE DE SERVICIO ACTUAL (CALIFICACIÓN)



Carretera: Jalapa-Veracruz

Tramo: Jalapa-Ciudad Cardel

Subtramo: Km. 13+600 - Km. 22+800

Fecha: ABRIL 2014

CUERPO A

SUBTRAMO	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	Operario 5	ISA
13+600 - 15+000	3.2	3.1	3.3	3.4	3.6	3.3
15+000 - 16+000	3.5	3.2	3.4	3.3	3.5	3.4
16+000 - 17+000	3.4	3.5	3.2	3.5	3.6	3.4
17+000 - 18+000	3.4	3.4	3.2	3.5	3.6	3.4
18+000 - 19+000	3.0	3.5	3.3	3.4	3.8	3.4
19+000 - 20+000	3.2	3.1	3.3	3.5	3.4	3.3
20+000 - 21+000	3.2	3.4	3.3	3.1	3.1	3.2
21+000 - 22+800	3.5	3.4	3.5	3.7	3.4	3.5
Promedio:						3.4

CUERPO B

SUBTRAMO	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	Operario 5	ISA
13+600 - 15+000	3.3	3.2	3.2	3.1	3.3	3.2
15+000 - 16+000	3.0	2.8	3.2	3.2	3.0	3.0
16+000 - 17+000	3.2	3.4	3.4	3.5	3.3	3.4
17+000 - 18+000	3.2	3.4	3.4	3.4	3.2	3.3
18+000 - 19+000	3.3	3.6	3.0	3.5	3.2	3.3
19+000 - 20+000	3.3	3.4	3.2	3.1	2.9	3.2
20+000 - 21+000	3.3	3.0	3.2	3.4	2.8	3.1
21+000 - 22+800	3.0	3.3	3.1	2.9	3.1	3.1
Promedio:						3.2



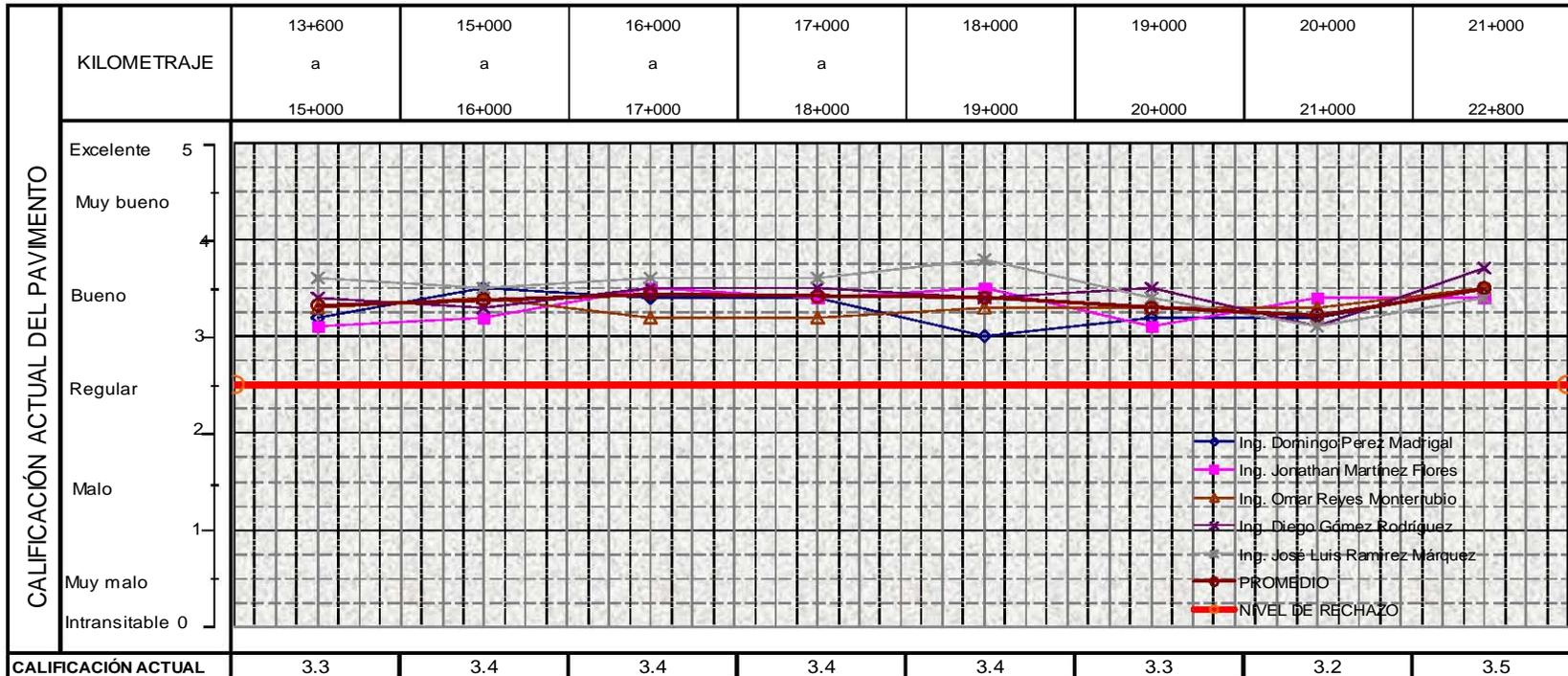
EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE



INDICE DE SERVICIO ACTUAL (CALIFICACIÓN)

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN

PROYECTO:	DE CARRETERAS	
CARRETERA:	Jalapa-Veracruz	
TRAMO:	Jalapa-Ciudad Cardel	
CUERPO:	A	FECHA: Abril 2014
LADO:	Derecho e Izquierdo	HOJA: 1 de 2



OBSERVACIONES: _____

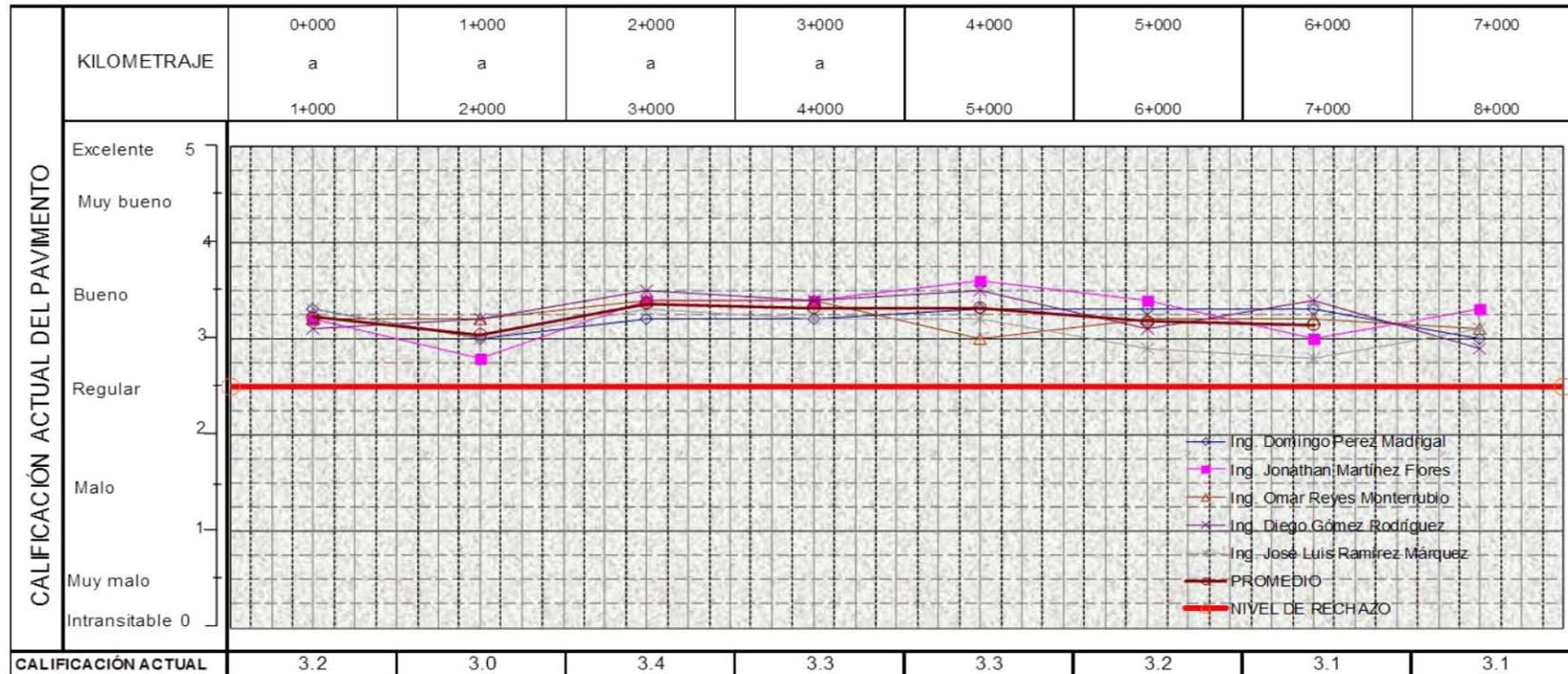


EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE
INDICE DE SERVICIO ACTUAL (CALIFICACIÓN)



ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

PROYECTO:	Jalapa-Veracruz	
CARRERA:	Jalapa-Ciudad Cardel	
CUERPO:	B	FECHA: Abril 2014
LADO:	Derecho e izquierdo	HOJA: 2 de 2



OBSERVACIONES: _____

ANEXO C

“Obtención del IRI”

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Obra:	OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ				
Carretera:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Cálculo:	Abril del 2014		
Tramo :	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)		
Subtramo :	Del Km 13+600 al Km 22+800	Capa:	Carpeta		

Ubicación:		Carril	Cuerpo	IRI Derecho m/km	IRI Centro m/km	IRI Izquierdo m/km
Del Km.	Al Km.					
13+600	13+700	Derecho	A	7.64	5.65	5.94
13+700	13+800	Derecho	A	5.33	4.64	5.19
13+800	13+900	Derecho	A	3.94	3.46	3.76
13+900	14+000	Derecho	A	6.28	5.53	6.49
14+000	14+100	Derecho	A	4.51	3.62	4.12
14+100	14+200	Derecho	A	6.74	5.37	5.94
14+200	14+300	Derecho	A	4.42	3.14	3.98
14+300	14+400	Derecho	A	4.79	3.81	4.82
14+400	14+500	Derecho	A	4.23	3.27	4.37
14+500	14+600	Derecho	A	4.98	2.17	2.99
14+600	14+700	Derecho	A	4.60	3.77	5.17
14+700	14+800	Derecho	A	4.89	4.19	4.23
14+800	14+900	Derecho	A	6.10	4.75	5.70
14+900	15+000	Derecho	A	5.69	4.54	5.48
15+000	15+100	Derecho	A	4.18	3.42	4.84
15+100	15+200	Derecho	A	3.89	2.76	4.14
15+200	15+300	Derecho	A	4.78	3.60	4.11
15+300	15+400	Derecho	A	2.86	2.54	3.38
15+400	15+500	Derecho	A	5.24	3.91	4.74
15+500	15+600	Derecho	A	5.85	3.35	4.37
15+600	15+700	Derecho	A	5.07	3.87	5.01
15+700	15+800	Derecho	A	4.90	3.64	5.25
15+800	15+900	Derecho	A	4.59	3.03	4.45
15+900	16+000	Derecho	A	4.66	2.94	3.78
16+000	16+100	Derecho	A	4.67	3.53	4.74
16+100	16+200	Derecho	A	3.59	3.29	3.80
16+200	16+300	Derecho	A	3.87	3.45	3.89
16+300	16+400	Derecho	A	3.81	3.20	4.11
16+400	16+500	Derecho	A	5.46	3.98	4.67
16+500	16+600	Derecho	A	5.21	3.90	4.54
16+600	16+700	Derecho	A	4.36	3.71	4.44
16+700	16+800	Derecho	A	4.97	5.33	4.91
16+800	16+900	Derecho	A	6.09	4.90	5.32
16+900	17+000	Derecho	A	4.76	3.44	4.14
17+000	17+100	Derecho	A	3.31	2.91	3.53
17+100	17+200	Derecho	A	4.51	3.27	4.75
17+200	17+300	Derecho	A	5.28	3.77	4.34
17+300	17+400	Derecho	A	3.13	2.51	3.61
17+400	17+500	Derecho	A	3.77	2.62	3.66
17+500	17+600	Derecho	A	3.66	2.66	3.59
17+600	17+700	Derecho	A	4.06	2.69	3.42
17+700	17+800	Derecho	A	4.01	2.86	3.44
17+800	17+900	Derecho	A	3.04	2.41	2.90
17+900	18+000	Derecho	A	4.25	2.78	4.36
18+000	18+100	Derecho	A	3.78	2.83	4.33
18+100	18+200	Derecho	A	2.76	2.39	3.41
18+200	18+300	Derecho	A	3.33	2.98	4.62
18+300	18+400	Derecho	A	2.20	2.64	3.39
18+400	18+500	Derecho	A	4.32	3.58	5.41

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



18+500	18+600	Derecho	A	5.59	3.89	4.64
18+600	18+700	Derecho	A	5.18	3.90	5.30
18+700	18+800	Derecho	A	4.39	3.26	4.33
18+800	18+900	Derecho	A	4.16	3.83	5.39
18+900	19+000	Derecho	A	5.19	3.97	4.55
19+000	19+100	Derecho	A	5.77	4.57	5.32
19+100	19+200	Derecho	A	5.13	4.20	6.44
19+200	19+300	Derecho	A	5.52	4.45	5.61
19+300	19+400	Derecho	A	5.37	4.06	5.20
19+400	19+500	Derecho	A	4.01	3.68	5.26
19+500	19+600	Derecho	A	3.60	3.12	3.99
19+600	19+700	Derecho	A	4.77	3.91	4.03
19+700	19+800	Derecho	A	4.59	3.64	4.61
19+800	19+900	Derecho	A	4.64	3.97	4.42
19+900	20+000	Derecho	A	3.80	2.99	4.13
20+000	20+100	Derecho	A	5.01	3.47	3.49
20+100	20+200	Derecho	A	4.04	2.54	3.55
20+200	20+300	Derecho	A	4.24	2.47	3.21
20+300	20+400	Derecho	A	4.60	4.06	5.06
20+400	20+500	Derecho	A	3.06	2.85	3.04
20+500	20+600	Derecho	A	3.03	2.66	3.04
20+600	20+700	Derecho	A	4.48	3.25	5.88
20+700	20+800	Derecho	A	3.54	2.35	3.37
20+800	20+900	Derecho	A	3.25	2.43	3.62
20+900	21+000	Derecho	A	6.13	4.07	6.81
21+000	21+100	Derecho	A	4.81	2.29	5.68
21+100	21+200	Derecho	A	3.58	3.47	4.70
21+200	21+300	Derecho	A	4.50	2.47	5.13
21+300	21+400	Derecho	A	4.93	3.24	5.90
21+400	21+500	Derecho	A	4.54	3.32	5.36
21+500	21+600	Derecho	A	5.38	3.60	5.72
21+600	21+700	Derecho	A	4.08	2.61	5.34
21+700	21+800	Derecho	A	3.82	3.12	4.66
21+800	21+900	Derecho	A	4.12	3.29	6.36
21+900	22+000	Derecho	A	5.39	4.16	6.49
22+000	22+100	Derecho	A	6.05	4.77	6.30
22+100	22+200	Derecho	A	4.91	3.57	4.57
22+200	22+300	Derecho	A	6.46	4.90	6.05
22+300	22+400	Derecho	A	3.03	2.66	3.82
22+400	22+500	Derecho	A	3.53	3.28	4.31
22+500	22+600	Derecho	A	6.57	5.84	7.67
22+600	22+700	Derecho	A	6.15	4.92	7.22
22+700	22+800	Derecho	A	5.35	3.55	4.40

PROMEDIO:	4.59	3.54	4.67
MAXIMO:	7.64	5.84	7.67
MINIMO:	2.20	2.17	2.90

Observaciones:

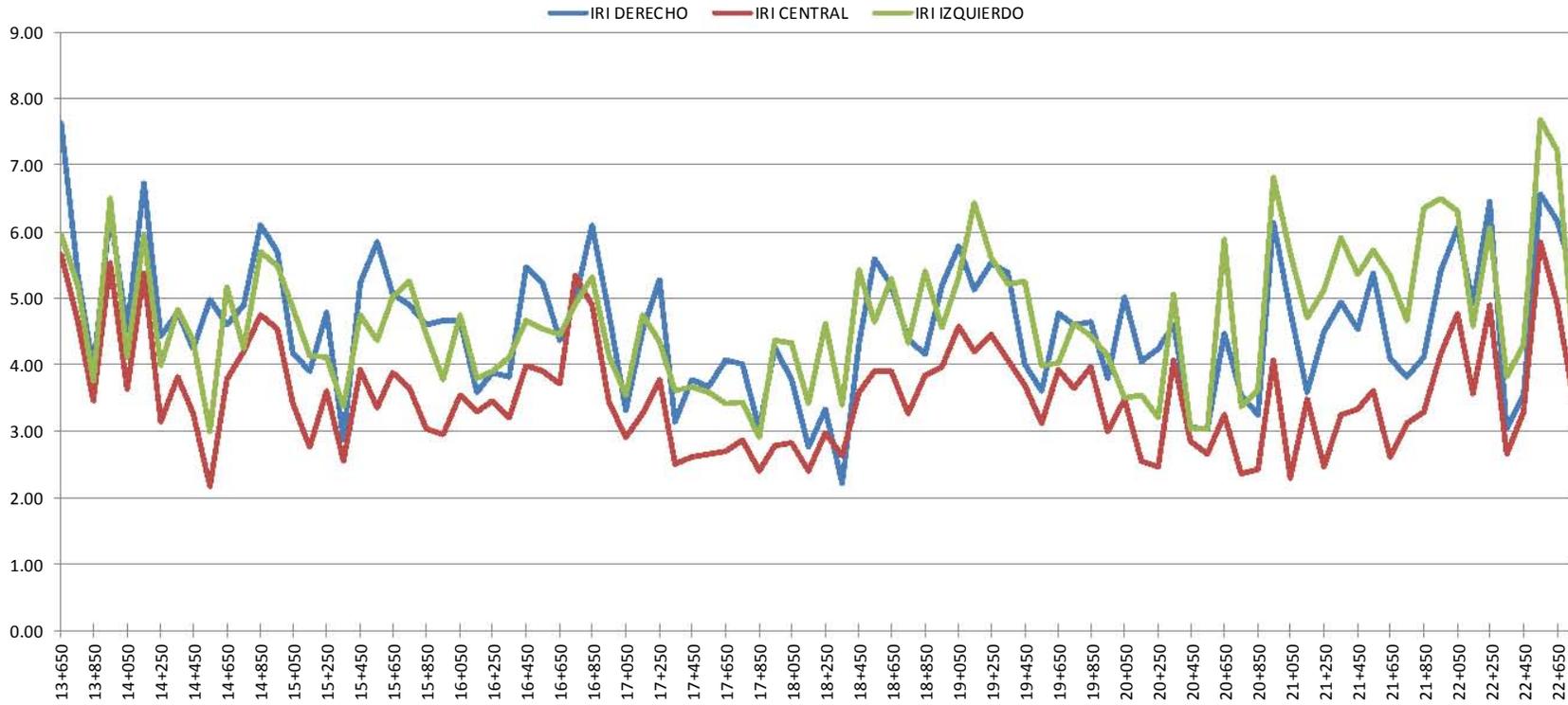


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL

Obra:	OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ		
Carretera:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Cálculo:	Abril del 2014
Tramo:	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)
Subtramo:	Del Km 13+600 al Km 22+800	Capa:	Carpele





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



Obra: OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ						
Carretera: Jalapa-Veracruz			Fecha de Cálculo: Abril del 2014			
Tramo : Jalapa - Ciudad Cardel			Equipo Utilizado: PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)			
Subtramo : Del Km 13+600 al Km 22+800			Capa: Carpeta			
Ubicación:		Carril	Cuerpo	IRI Derecho m/km	IRI Centro m/km	IRI Izquierdo m/km
Del Km.	Al Km.					
13+600	13+700	Derecho	B	4.04	3.89	4.55
13+700	13+800	Derecho	B	4.12	3.90	4.15
13+800	13+900	Derecho	B	6.39	4.79	5.91
13+900	14+000	Derecho	B	4.58	3.16	4.38
14+000	14+100	Derecho	B	6.07	4.84	6.06
14+100	14+200	Derecho	B	5.62	4.18	5.26
14+200	14+300	Derecho	B	4.42	3.08	5.43
14+300	14+400	Derecho	B	4.95	3.48	6.19
14+400	14+500	Derecho	B	4.19	2.96	5.69
14+500	14+600	Derecho	B	6.37	5.00	7.32
14+600	14+700	Derecho	B	5.46	4.00	6.07
14+700	14+800	Derecho	B	7.26	4.63	7.03
14+800	14+900	Derecho	B	7.24	6.03	7.92
14+900	15+000	Derecho	B	5.42	3.90	4.71
15+000	15+100	Derecho	B	6.24	3.91	5.64
15+100	15+200	Derecho	B	4.47	3.57	4.99
15+200	15+300	Derecho	B	4.20	3.88	5.09
15+300	15+400	Derecho	B	2.77	2.58	3.13
15+400	15+500	Derecho	B	4.57	4.48	5.46
15+500	15+600	Derecho	B	3.63	2.08	3.94
15+600	15+700	Derecho	B	5.45	4.33	5.82
15+700	15+800	Derecho	B	6.50	4.40	7.35
15+800	15+900	Derecho	B	4.69	2.57	4.91
15+900	16+000	Derecho	B	3.70	3.35	5.71
16+000	16+100	Derecho	B	3.10	2.72	4.49
16+100	16+200	Derecho	B	4.22	2.74	4.08
16+200	16+300	Derecho	B	4.61	3.09	4.88
16+300	16+400	Derecho	B	5.66	3.58	5.39
16+400	16+500	Derecho	B	7.93	5.62	7.11
16+500	16+600	Derecho	B	5.56	3.94	4.12
16+600	16+700	Derecho	B	4.18	2.22	5.15
16+700	16+800	Derecho	B	4.38	3.95	4.24
16+800	16+900	Derecho	B	6.41	4.80	5.64
16+900	17+000	Derecho	B	5.60	3.98	6.08
17+000	17+100	Derecho	B	4.90	4.06	5.26
17+100	17+200	Derecho	B	7.08	5.11	5.36
17+200	17+300	Derecho	B	6.46	6.08	6.61
17+300	17+400	Derecho	B	6.59	5.54	6.60
17+400	17+500	Derecho	B	5.00	4.01	5.01
17+500	17+600	Derecho	B	4.75	4.09	4.13
17+600	17+700	Derecho	B	4.36	4.37	5.21
17+700	17+800	Derecho	B	7.02	5.91	6.48
17+800	17+900	Derecho	B	5.47	4.86	6.11
17+900	18+000	Derecho	B	4.92	3.69	4.07
18+000	18+100	Derecho	B	3.36	3.03	3.95
18+100	18+200	Derecho	B	3.56	2.28	2.82
18+200	18+300	Derecho	B	2.77	2.23	2.91
18+300	18+400	Derecho	B	4.04	4.15	5.09



18+400	18+500	Derecho	B	3.53	3.40	3.70	
18+500	18+600	Derecho	B	4.50	4.43	4.83	
18+600	18+700	Derecho	B	4.57	4.68	5.99	
18+700	18+800	Derecho	B	4.13	3.91	4.46	
18+800	18+900	Derecho	B	3.52	2.68	2.84	
18+900	19+000	Derecho	B	2.72	2.36	2.39	
19+000	19+100	Derecho	B	5.11	4.43	4.64	
19+100	19+200	Derecho	B	3.15	2.78	3.78	
19+200	19+300	Derecho	B	4.85	4.37	5.57	
19+300	19+400	Derecho	B	6.01	4.89	5.63	
19+400	19+500	Derecho	B	5.05	4.02	4.07	
19+500	19+600	Derecho	B	4.43	3.38	3.60	
19+600	19+700	Derecho	B	5.27	4.33	4.91	
19+700	19+800	Derecho	B	5.44	4.30	5.56	
19+800	19+900	Derecho	B	4.92	3.73	4.18	
19+900	20+000	Derecho	B	5.49	4.42	4.48	
20+000	20+100	Derecho	B	6.93	5.17	6.26	
20+100	20+200	Derecho	B	5.65	4.86	6.17	
20+200	20+300	Derecho	B	5.23	4.52	5.87	
20+300	20+400	Derecho	B	4.59	3.35	5.66	
20+400	20+500	Derecho	B	4.08	4.02	5.13	
20+500	20+600	Derecho	B	3.17	3.19	4.88	
20+600	20+700	Derecho	B	4.80	4.31	5.11	
20+700	20+800	Derecho	B	5.93	5.42	6.16	
20+800	20+900	Derecho	B	6.71	6.64	7.55	
20+900	21+000	Derecho	B	7.02	5.86	7.08	
21+000	21+100	Derecho	B	6.98	5.40	6.47	
21+100	21+200	Derecho	B	7.08	6.49	7.54	
21+200	21+300	Derecho	B	7.56	6.75	7.62	
21+300	21+400	Derecho	B	5.27	4.39	5.36	
21+400	21+500	Derecho	B	4.97	4.18	4.72	
21+500	21+600	Derecho	B	3.67	3.33	4.79	
21+600	21+700	Derecho	B	5.84	5.30	6.35	
21+700	21+800	Derecho	B	4.70	4.50	5.80	
21+800	21+900	Derecho	B	3.44	2.59	4.07	
21+900	22+000	Derecho	B	3.82	2.45	4.09	
22+000	22+100	Derecho	B	4.19	3.70	4.76	
22+100	22+200	Derecho	B	4.39	3.89	4.81	
22+200	22+300	Derecho	B	6.76	5.63	6.74	
22+300	22+400	Derecho	B	7.05	5.59	5.77	
22+400	22+500	Derecho	B	4.16	3.48	4.08	
22+500	22+600	Derecho	B	2.76	2.09	2.50	
22+600	22+700	Derecho	B	4.94	4.05	4.67	
22+700	22+800	Derecho	B	6.71	5.77	6.49	
				PROMEDIO:	5.06	4.11	5.22
				MAXIMO:	7.93	6.75	7.92
				MINIMO:	2.72	2.08	2.39
Observaciones:							

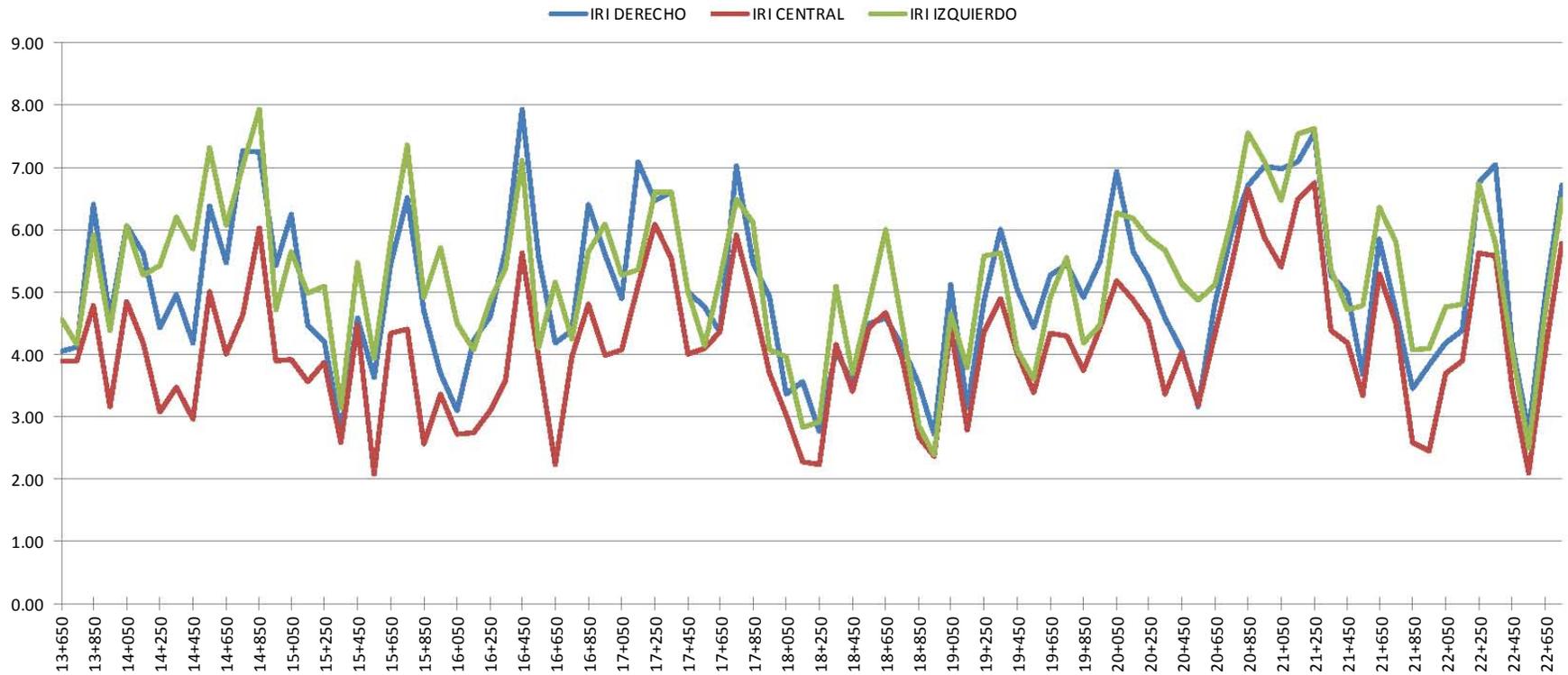


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL

Obra:	OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ		
Carretera:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Cálculo:	Abril del 2014
Tramo :	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)
Subtramo :	Del Km 13+600 al Km 22+800	Capa:	Carpeta



ANEXO D

“Medición de
Roderas”

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO



TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL

Obra: OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ					
Carretera: Jalapa-Veracruz			Fecha de Calculo: Abril del 2014		
Tramo : Jalapa - Ciudad Cardel			Equipo Utilizado: PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)		
Subtramo : Del Km 13+600 al Km 22+800			Capa: Carpeta		
Ubicación:		Carril	Cuerpo	Rodera Lado Derecho (mm)	Rodera Lado Izquierdo (mm)
Del Km.	Al Km.				
13+600	13+700	Derecho	A	2.3	4.6
13+700	13+800	Derecho	A	2.7	2.3
13+800	13+900	Derecho	A	2.6	0.9
13+900	14+000	Derecho	A	1.8	1.9
14+000	14+100	Derecho	A	4.5	3.0
14+100	14+200	Derecho	A	2.2	2.6
14+200	14+300	Derecho	A	3.2	3.1
14+300	14+400	Derecho	A	2.4	3.1
14+400	14+500	Derecho	A	2.5	6.8
14+500	14+600	Derecho	A	3.0	6.5
14+600	14+700	Derecho	A	3.4	5.9
14+700	14+800	Derecho	A	3.4	4.0
14+800	14+900	Derecho	A	3.0	2.6
14+900	15+000	Derecho	A	3.7	5.8
15+000	15+100	Derecho	A	2.5	1.8
15+100	15+200	Derecho	A	2.5	2.9
15+200	15+300	Derecho	A	2.5	3.6
15+300	15+400	Derecho	A	3.5	1.9
15+400	15+500	Derecho	A	2.8	2.8
15+500	15+600	Derecho	A	2.9	5.4
15+600	15+700	Derecho	A	2.7	2.9
15+700	15+800	Derecho	A	3.1	2.7
15+800	15+900	Derecho	A	2.2	3.0
15+900	16+000	Derecho	A	2.7	1.3
16+000	16+100	Derecho	A	3.2	1.4
16+100	16+200	Derecho	A	4.0	1.8
16+200	16+300	Derecho	A	3.2	2.2
16+300	16+400	Derecho	A	4.5	1.1
16+400	16+500	Derecho	A	4.8	3.1
16+500	16+600	Derecho	A	2.1	3.4
16+600	16+700	Derecho	A	2.6	4.5
16+700	16+800	Derecho	A	3.3	3.6
16+800	16+900	Derecho	A	2.7	4.2
16+900	17+000	Derecho	A	5.2	5.0
17+000	17+100	Derecho	A	5.4	3.4
17+100	17+200	Derecho	A	7.2	1.6
17+200	17+300	Derecho	A	3.4	2.2
17+300	17+400	Derecho	A	2.6	2.2
17+400	17+500	Derecho	A	2.6	2.3
17+500	17+600	Derecho	A	2.5	1.8
17+600	17+700	Derecho	A	2.5	1.6
17+700	17+800	Derecho	A	3.0	3.1
17+800	17+900	Derecho	A	2.7	2.8
17+900	18+000	Derecho	A	3.2	1.4
18+000	18+100	Derecho	A	1.7	6.4
18+100	18+200	Derecho	A	1.5	5.7
18+200	18+300	Derecho	A	2.9	2.8

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN
DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



18+300	18+400	Derecho	A	2.7	4.7	
18+400	18+500	Derecho	A	2.5	1.9	
18+500	18+600	Derecho	A	2.9	1.3	
18+600	18+700	Derecho	A	3.4	1.3	
18+700	18+800	Derecho	A	4.4	1.9	
18+800	18+900	Derecho	A	3.0	1.6	
18+900	19+000	Derecho	A	6.4	2.1	
19+000	19+100	Derecho	A	3.7	1.9	
19+100	19+200	Derecho	A	4.4	2.6	
19+200	19+300	Derecho	A	3.4	2.4	
19+300	19+400	Derecho	A	5.1	3.5	
19+400	19+500	Derecho	A	5.4	4.6	
19+500	19+600	Derecho	A	4.2	3.0	
19+600	19+700	Derecho	A	4.0	3.8	
19+700	19+800	Derecho	A	6.1	7.5	
19+800	19+900	Derecho	A	5.2	3.8	
19+900	20+000	Derecho	A	3.1	2.0	
20+000	20+100	Derecho	A	5.8	4.1	
20+100	20+200	Derecho	A	5.9	5.6	
20+200	20+300	Derecho	A	5.9	5.3	
20+300	20+400	Derecho	A	6.5	5.3	
20+400	20+500	Derecho	A	3.3	7.9	
20+500	20+600	Derecho	A	5.6	6.2	
20+600	20+700	Derecho	A	7.9	7.3	
20+700	20+800	Derecho	A	8.1	5.6	
20+800	20+900	Derecho	A	7.7	7.2	
20+900	21+000	Derecho	A	6.5	3.3	
21+000	21+100	Derecho	A	2.9	6.1	
21+100	21+200	Derecho	A	5.4	7.0	
21+200	21+300	Derecho	A	3.2	6.6	
21+300	21+400	Derecho	A	3.7	8.6	
21+400	21+500	Derecho	A	5.7	6.8	
21+500	21+600	Derecho	A	2.8	2.9	
21+600	21+700	Derecho	A	4.6	5.8	
21+700	21+800	Derecho	A	8.7	9.1	
21+800	21+900	Derecho	A	3.3	5.7	
21+900	22+000	Derecho	A	4.4	4.7	
22+000	22+100	Derecho	A	5.1	6.5	
22+100	22+200	Derecho	A	5.4	8.0	
22+200	22+300	Derecho	A	7.4	9.7	
22+300	22+400	Derecho	A	5.8	9.2	
22+400	22+500	Derecho	A	4.5	7.8	
22+500	22+600	Derecho	A	2.8	3.7	
22+600	22+700	Derecho	A	3.4	3.5	
22+700	22+800	Derecho	A	3.9	2.1	
				Promedio:	3.9	4.0
				Maximo:	8.7	9.7
				Minimo:	1.5	0.9
Observaciones:						

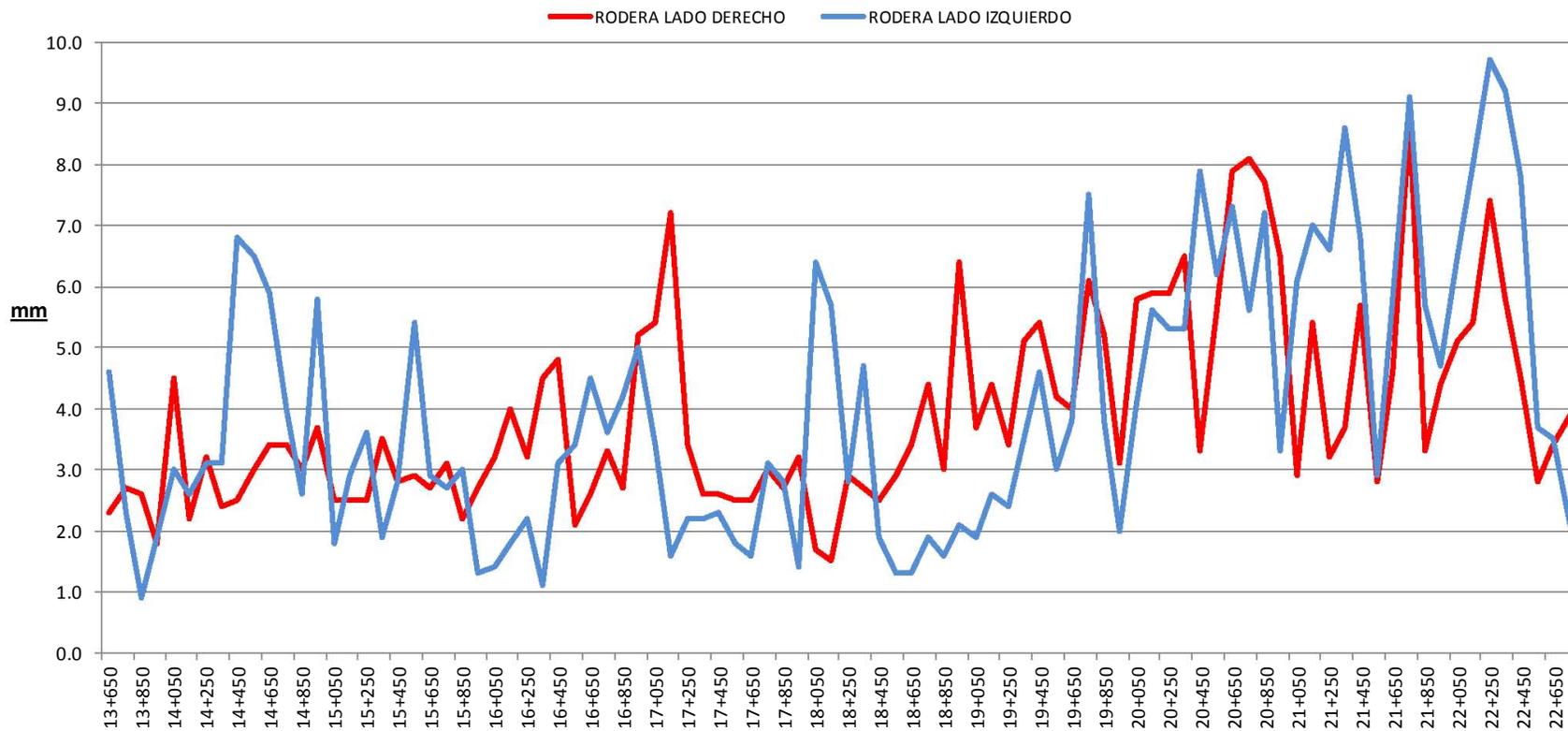


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL

Obra:	OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ		
Fecha de Ejecución:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Calculo:	Abril del 2014
Tramo Km.:	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)
Tipo de Superficie:	Concreto Asfáltico	Capa:	Carpeta



CADENAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



Obra: OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ					
Carretera: Jalapa-Veracruz			Fecha de Calculo: Abril del 2014		
Tramo : Jalapa - Ciudad Cardel			Equipo Utilizado: PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)		
Subtramo : Del Km 13+600 al Km 22+800			Capa: Carpeta		
Ubicación:		Carril	Cuerpo	Rodera Lado Derecho (mm)	Rodera Lado Izquierdo (mm)
Del Km.	Al Km.				
13+600	13+700	Derecho	B	2.5	3.7
13+700	13+800	Derecho	B	1.5	2.8
13+800	13+900	Derecho	B	2.9	3.9
13+900	14+000	Derecho	B	1.9	3.2
14+000	14+100	Derecho	B	3.0	3.1
14+100	14+200	Derecho	B	3.7	2.3
14+200	14+300	Derecho	B	1.4	2.6
14+300	14+400	Derecho	B	1.1	5.2
14+400	14+500	Derecho	B	1.0	2.7
14+500	14+600	Derecho	B	3.6	4.8
14+600	14+700	Derecho	B	4.5	2.2
14+700	14+800	Derecho	B	2.6	3.6
14+800	14+900	Derecho	B	2.8	3.6
14+900	15+000	Derecho	B	2.7	3.2
15+000	15+100	Derecho	B	1.9	2.0
15+100	15+200	Derecho	B	1.3	3.3
15+200	15+300	Derecho	B	1.1	5.9
15+300	15+400	Derecho	B	1.1	2.9
15+400	15+500	Derecho	B	1.9	2.4
15+500	15+600	Derecho	B	2.7	2.4
15+600	15+700	Derecho	B	3.1	2.4
15+700	15+800	Derecho	B	1.9	2.3
15+800	15+900	Derecho	B	4.1	3.9
15+900	16+000	Derecho	B	2.4	4.7
16+000	16+100	Derecho	B	3.2	7.7
16+100	16+200	Derecho	B	2.3	5.9
16+200	16+300	Derecho	B	7.2	1.4
16+300	16+400	Derecho	B	1.5	1.9
16+400	16+500	Derecho	B	2.9	2.0
16+500	16+600	Derecho	B	2.6	3.6
16+600	16+700	Derecho	B	2.2	3.5
16+700	16+800	Derecho	B	2.8	2.6
16+800	16+900	Derecho	B	1.9	3.2
16+900	17+000	Derecho	B	2.1	2.0
17+000	17+100	Derecho	B	3.0	2.3
17+100	17+200	Derecho	B	1.9	2.7
17+200	17+300	Derecho	B	3.7	1.7
17+300	17+400	Derecho	B	1.7	1.3
17+400	17+500	Derecho	B	2.3	2.1
17+500	17+600	Derecho	B	1.4	2.3
17+600	17+700	Derecho	B	1.2	2.2
17+700	17+800	Derecho	B	2.1	2.5
17+800	17+900	Derecho	B	1.8	4.3
17+900	18+000	Derecho	B	2.9	3.7
18+000	18+100	Derecho	B	1.5	3.6
18+100	18+200	Derecho	B	1.8	1.5
18+200	18+300	Derecho	B	1.4	6.3



18+300	18+400	Derecho	B	1.1	2.5	
18+400	18+500	Derecho	B	1.3	3.4	
18+500	18+600	Derecho	B	2.2	2.1	
18+600	18+700	Derecho	B	3.1	6.0	
18+700	18+800	Derecho	B	1.7	2.4	
18+800	18+900	Derecho	B	3.3	1.2	
18+900	19+000	Derecho	B	4.2	1.3	
19+000	19+100	Derecho	B	1.7	3.8	
19+100	19+200	Derecho	B	2.6	2.9	
19+200	19+300	Derecho	B	1.6	4.4	
19+300	19+400	Derecho	B	1.5	3.4	
19+400	19+500	Derecho	B	3.3	1.8	
19+500	19+600	Derecho	B	4.8	1.3	
19+600	19+700	Derecho	B	1.4	2.9	
19+700	19+800	Derecho	B	1.2	4.2	
19+800	19+900	Derecho	B	0.9	2.1	
19+900	20+000	Derecho	B	1.5	3.3	
20+000	20+100	Derecho	B	1.6	2.0	
20+100	20+200	Derecho	B	1.6	3.7	
20+200	20+300	Derecho	B	2.9	8.7	
20+300	20+400	Derecho	B	3.9	7.6	
20+400	20+500	Derecho	B	4.5	3.9	
20+500	20+600	Derecho	B	3.6	1.7	
20+600	20+700	Derecho	B	1.6	1.6	
20+700	20+800	Derecho	B	2.2	2.1	
20+800	20+900	Derecho	B	3.4	1.3	
20+900	21+000	Derecho	B	4.4	1.8	
21+000	21+100	Derecho	B	4.4	2.5	
21+100	21+200	Derecho	B	2.9	1.8	
21+200	21+300	Derecho	B	2.5	2.5	
21+300	21+400	Derecho	B	1.8	3.4	
21+400	21+500	Derecho	B	3.4	1.8	
21+500	21+600	Derecho	B	2.0	4.3	
21+600	21+700	Derecho	B	2.6	4.8	
21+700	21+800	Derecho	B	4.9	2.7	
21+800	21+900	Derecho	B	3.3	2.8	
21+900	22+000	Derecho	B	2.4	2.2	
22+000	22+100	Derecho	B	1.7	4.9	
22+100	22+200	Derecho	B	2.5	3.1	
22+200	22+300	Derecho	B	2.1	2.4	
22+300	22+400	Derecho	B	2.5	3.5	
22+400	22+500	Derecho	B	6.3	4.1	
22+500	22+600	Derecho	B	4.9	2.5	
22+600	22+700	Derecho	B	4.2	2.3	
22+700	22+800	Derecho	B	7.5	2.1	
				Promedio:	2.6	3.1
				Maximo:	7.5	8.7
				Minimo:	0.9	1.2
Observaciones:						

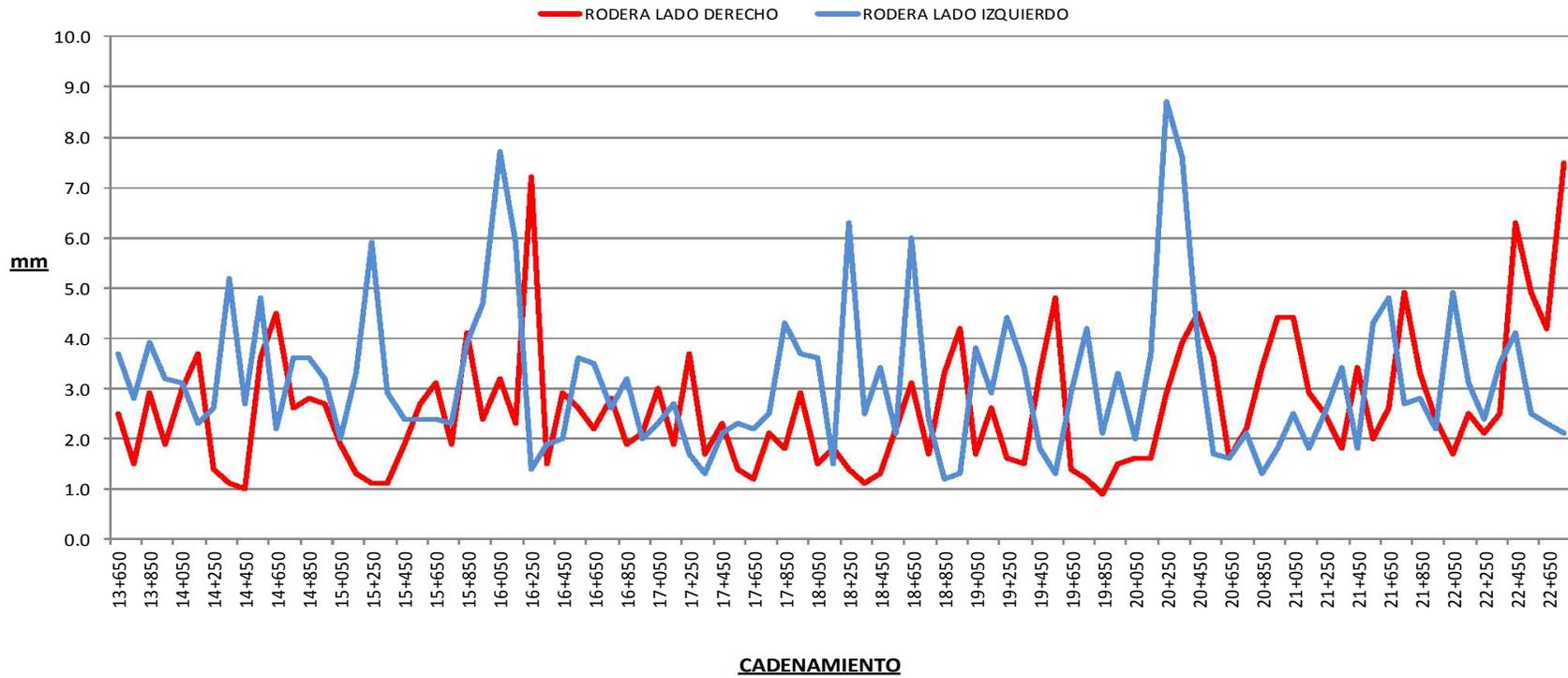


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL

Obra:	OBTENCION DE IRI Y RODERAS EN DIFERENTES TRAMOS EN LA CARRETERA JALAPA VERACRUZ		
Fecha de Ejecución:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Calculo:	Abril del 2014
Tramo Km.:	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	PERFILOMETRO LASER (RSP 5051 Mark III)
Tipo de Superficie:	Concreto Asfáltico	Capa:	Carpeta



ANEXO E

“Medición de
Deflexiones”



TESIS DE MAESTRÍA: "ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS"



Obtención de la deflexión en la carretera : Jalapa- Veracruz(cuerpo A) del Km 13+600 al Km. 22+800

Nombre de la Carretera	Nombre del Tramo	KM Medición	Temperatura °C	Deflexión	Esfuerzo	Deflexión									Observaciones
				a 700 kPa	de medición	Medida en campo (Micras)									
				δ_1	kPa	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	δ_7	δ_8	δ_9	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	13.600	50.0	633	663	600	444	369	270	193	91	41	21	16	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	14.000	50.1	556	662	526	412	344	242	169	75	33	18	14	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	14.500	53.5	653	665	620	510	427	301	202	92	44	25	17	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	15.000	49.3	975	655	912	680	523	328	207	91	49	30	20	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	15.500	50.5	595	665	565	385	283	164	90	26	9	5	4	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	16.000	52.6	906	659	853	637	489	322	207	73	23	7	5	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	16.503	49.7	1000	654	934	737	616	444	314	151	74	35	22	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	17.000	52.4	639	676	617	482	386	270	180	55	19	15	10	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	17.500	51.8	557	680	541	428	347	246	173	84	44	25	17	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	18.000	51.9	611	677	591	451	360	257	185	91	49	35	26	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	18.500	52.1	845	672	811	638	523	380	280	168	114	85	66	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	19.000	51.2	1146	673	1102	859	671	466	325	156	78	42	26	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	19.500	51.9	838	677	810	634	504	343	224	105	58	40	27	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	20.000	49.8	763	684	746	536	410	258	161	55	14	4	3	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	20.500	54.8	902	680	876	679	528	346	224	104	58	33	19	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	21.000	52.8	824	670	789	615	493	345	241	124	75	49	36	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	21.500	51.4	918	685	898	713	533	353	227	97	44	23	13	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.000	51.9	790	685	773	604	488	349	251	137	82	57	44	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.500	48.9	827	690	815	632	502	331	220	94	39	19	14	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.800	51.2	515	687	505	390	303	193	120	40	11	2	2	



TESIS DE MAESTRÍA: "ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS"



Obtención de la deflexión en la carretera : Jalapa- Veracruz(cuerpo B) del Km 13+600 al Km. 22+800

Nombre de la Carretera	Nombre del Tramo	KM Medición	Temperatura °C	Deflexión a 700 kpa δ_1	Esfuerzo de medición kPa	Deflexión Medida en campo (Micras)									Observaciones
						δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	δ_7	δ_8	δ_9	
						Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	13.600	46.9	308	666	293	243	207	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	14.000	50.2	637	660	601	449	365	261	183	105	66	46	33	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	14.500	50.2	665	665	632	494	382	247	157	59	27	16	11	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	15.000	49.1	690	655	646	528	427	311	228	121	59	29	16	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	15.500	47.8	579	505	418	318	245	164	105	40	13	2	1	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	16.000	49.9	917	653	855	702	560	396	266	129	68	40	27	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	16.503	50.9	871	658	819	659	532	386	279	130	67	39	23	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	17.000	52.1	758	655	709	552	458	343	260	153	103	75	57	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	17.500	49.1	581	663	550	415	302	191	123	50	21	8	4	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	18.000	50.9	837	656	784	605	457	307	218	122	76	50	37	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	18.500	48.5	775	662	733	569	456	312	210	84	30	10	6	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	19.000	49.4	822	662	777	614	495	339	233	108	53	30	18	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	19.500	48.9	810	643	744	611	509	373	269	132	60	23	7	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	20.000	53.1	669	665	636	496	408	278	188	80	35	18	12	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	20.500	47.9	809	654	756	603	492	337	230	102	49	38	26	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	21.000	50.6	637	659	600	499	399	268	178	76	39	22	15	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	21.500	50.4	859	665	816	651	505	343	231	106	42	20	10	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.000	51.7	690	668	658	538	440	313	220	106	50	26	17	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.500	51.5	683	676	660	508	387	244	143	37	5	1	4	
Jalapa - Veracruz	Jalapa - Ciudad Cardel	22.800	53.1	667	673	641	504	399	268	176	79	41	25	17	

ANEXO F

“Resumen de
Parámetros de
Calidad”



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
RESUMEN DE PARÁMETROS DE CALIDAD
BASE HIDRÁULICA



UBICACIÓN DEL SONDEO	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLÁSTICO (%)	INDICE PLÁSTICO (%)	CONTRACCIÓN LINEAL (%)	P.V.S.M (Kg/M3)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	CBR (%)	EXPANSION (%)	CLASIFICACION SUCS
13+600	57	31	12	17.9	16.5	1.4	2.3	2099	69	102	0	GM
14+550	54	34	12	18.6	17.0	1.6	2.2	2095	78	108	0.12	GM
15+600	56	30	14	18.9	16.9	2.0	2.0	2054	74	101	0.12	GM
16+550	54	34	12	18.6	17.2	1.5	1.7	2142	69	110	0.3	GM
17+600	64	24	12	17.6	17.1	0.5	2.1	2140	54	104	0.2	GM
18+600	59	26	15	18.2	17.2	1.0	1.9	2083	50	108	0.3	GM
19+600	65	21	14	19.2	17.0	2.2	2.1	2082	75	98	0.5	GM
20+550	54	31	15	17.8	16.8	1.0	1.8	2091	74	116	0.4	GM
21+600	65	22	13	18.5	16.3	2.3	2.1	2066	65	119	0.3	GM
22+800	60	28	12	18.0	16.5	1.5	1.8	2117	63	115	0.1	GM
CUERPO B												
13+600	55	32	13	17.5	16.7	0.8	1.8	2153	60	119	0.1	GM
14+550	65	19	16	17.3	16.7	0.6	1.9	2214	78	115	0	GM
15+600	61	26	13	17.5	17.2	0.3	1.9	2104	53	99	0.2	GM
16+550	59	26	15	18.2	17.1	1.2	1.7	2014	49	118	0.4	GM
17+600	62	25	13	19.3	17.2	2.0	2.3	2310	63	120	0	GM
18+600	51	37	12	19.1	16.8	2.3	2.5	2014	54	119	0.2	GM
19+600	54	31	15	19.0	17.1	1.8	2.0	2124	53	105	0.1	GM
20+550	65	21	14	17.6	16.8	0.8	2.1	2245	58	113	0.1	GM
21+600	51	36	13	17.4	17.3	0.2	2.3	2121	61	129	0	GM
22+800	64	24	12	21.8	19.2	2.7	1.7	2215	72	125	0.3	GM



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
RESUMEN DE PARÁMETROS DE CALIDAD
 SUB-BASE HIDRÁULICA



UBICACIÓN DEL SONDEO	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE PLASTICO (%)	CONTRACCIÓN LINEAL (%)	P.V.S.M (Kg/M3)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	CBR (%)	EXPANSION (%)	CLASIFICACION SUCS
13+600	60	23	17	27.2	22.7	4.56	3.8	1979	31	69	0.1	GM
14+550	66	17	17	28.5	25.4	3.09	3.6	1975	39	74	0.1	GM
15+600	66	21	13	29.2	25.8	3.45	3.4	1934	33	68	0.2	GM
16+550	62	25	13	24.5	21.6	2.91	3.2	2022	38	58	0.4	GM
17+600	63	24	13	29.2	23.8	5.45	3.6	2020	33	77	0.4	GM
18+600	63	22	15	24.2	17.9	6.31	3.3	1963	31	62	0.6	GM
19+600	65	19	16	27.3	20.9	6.45	3.6	1962	30	67	0.3	GM
20+550	66	21	13	26.3	19.1	7.21	3.2	1971	29	71	0.1	GM
21+600	64	19	17	31.2	23.0	8.23	3.5	1946	28	61	0.5	GM
22+800	63	22	15	24.5	15.2	9.32	3.2	1997	31	72	0.3	GM
CUERPO B												
13+600	71	13	16	30.1	22.9	7.23	4.0	1799	38	83	0.1	GM
14+550	62	21	17	29.2	23.0	6.21	4.1	1795	32	81	0.2	GM
15+600	62	25	13	33.3	25.1	8.21	4.1	1754	30	92	0.1	GM
16+550	69	16	15	34.2	27.0	7.23	3.9	1842	32	89	0.4	GM
17+600	60	25	15	36.5	28.3	8.21	4.5	1840	31	71	0.3	GM
18+600	66	19	15	31.2	27.0	4.23	4.7	1783	32	88	0.3	GM
19+600	69	15	16	26.5	20.2	6.32	4.2	1782	31	72	0.1	GM
20+550	63	20	17	24.2	16.7	7.58	4.3	1791	30	88	0.2	GM
21+600	70	16	14	23.7	15.6	8.01	4.5	1766	36	78	0.6	GM
22+800	65	21	14	34.2	24.9	9.32	3.9	1817	30	81	0.1	GM



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
RESUMEN DE PARÁMETROS DE CALIDAD
SUBRASANTE



UBICACIÓN DEL SONDEO	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE PLASTICO (%)	CONTRACCIÓN LINEAL (%)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	CBR (%)	EXPANSION (%)	CLASIFICACION SUCS
13+600	36	51	13	35.2	25.0	10.3	6	31	28	1.2	SM
14+550	29	54	17	32.1	20.9	11.3	6.13	39	35	1.8	SM
15+600	33	54	13	39.2	27.0	12.2	6.25	33	25	2.5	SM
16+550	25	61	14	38.2	28.7	9.5	5.68	38	35	1.9	SM
17+600	21	64	15	35.2	25.4	9.8	7.21	33	25	2.1	SM
18+600	17	65	18	37.2	26.8	10.5	5.85	31	28	1.8	SM
19+600	18	65	17	39.2	31.0	8.3	6.08	31	17	1.6	SM
20+550	25	54	21	41.2	33.7	7.5	4.25	29	18	2.5	SM
21+600	21	59	20	40.2	34.0	6.3	6.01	31	27	1.9	SM
22+800	16	62	22	34.2	23.0	11.2	5.72	38	23	1.4	SM
CUERPO B											
13+600	15	65	20	38.2	28.0	10.2	9.84	38	42	0.8	SM
14+550	20	57	23	36.2	25.0	11.2	9.93	32	38	1.5	SM
15+600	25	58	17	39.2	29.9	9.3	9.88	30	36	1.6	SM
16+550	23	58	19	40.1	33.9	6.2	9.72	36	41	1.8	SM
17+600	24	53	23	42.3	34.1	8.2	10.34	31	32	1.2	SM
18+600	18	53	29	38.2	31.0	7.3	10.49	34	30	2.1	SM
19+600	10	59	31	39.2	33.0	6.3	10.03	31	27	1.4	SM
20+550	28	60	12	34.3	24.7	9.6	10.08	37	36	1.6	SM
21+600	31	55	14	36.2	25.0	11.2	10.33	36	38	1.8	SM
22+800	25	57	18	30.2	19.2	11.0	9.7	32	48	1	SM



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
RESUMEN DE PARÁMETROS DE CALIDAD
TERRENO NATURAL



UBICACIÓN DEL SONDEO	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE PLASTICO (%)	CONTRACCIÓN LINEAL (%)	CBR (%)	EXPANSION (%)	CLASIFICACION SUCS
13+600	0	44	56	47.7	23.6	24.1	5.4	8	5.9	CL
15+600	0	42	58	47.7	31.4	16.4	7.3	5	6.2	ML
17+600	0	39	61	44.4	30.1	14.3	7.4	9	6.1	ML
20+550	0	38	62	48.1	26.0	22.1	6.8	6	7.5	CL
22+800	0	42	58	45.3	28.8	16.5	8.3	5	7.2	ML
CUERPO B										
13+600	0	43	57	46.2	31.8	14.4	6.2	9	5.3	ML
15+600	0	42	58	44.4	32.0	12.4	5.1	12	5.9	ML
17+600	0	42	58	45.7	23.3	22.3	4.3	8	6.1	CL
20+550	0	36	64	48.1	34.0	14.2	6.6	10	7.4	ML
22+800	0	37	63	46.5	31.5	15.1	7.2	13	6.2	ML

ANEXO G

“Obtención del Índice de fricción”

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



Obra:	Obtención del Índice de Fricción		
Carretera:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Calculo:	Abril del 2014
Tramo :	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	Dynamic Friction Tester
Subtramo :	Del Km 13+600 al Km 22+800	Capa:	Carpeta

Ubicación:		Carril	Cuerpo	Velocidad (km/h.)	Friccion (Mu)	Temperatura del Terreno (C)	Flujo de Agua (lpm)
Del Km.	Al Km.						
13+600	13+800	Derecho	A	72.21	0.58	45.90	66.62
13+800	14+000	Derecho	A	58.01	0.60	46.11	54.40
14+000	14+200	Derecho	A	61.02	0.60	46.23	56.59
14+200	14+400	Derecho	A	74.39	0.67	47.45	68.67
14+400	14+600	Derecho	A	76.53	0.61	45.58	71.15
14+600	14+800	Derecho	A	73.00	0.59	45.74	68.07
14+800	15+000	Derecho	A	73.00	0.58	44.68	69.37
15+000	15+200	Derecho	A	65.47	0.59	42.33	61.48
15+200	15+400	Derecho	A	49.92	0.63	44.00	47.68
15+400	15+600	Derecho	A	59.38	0.74	45.03	55.58
15+600	15+800	Derecho	A	73.27	0.63	43.94	68.14
15+800	16+000	Derecho	A	77.00	0.63	42.46	71.84
16+000	16+200	Derecho	A	76.45	0.57	44.01	71.57
16+200	16+400	Derecho	A	75.20	0.68	43.08	70.50
16+400	16+600	Derecho	A	75.00	0.73	44.88	70.13
16+600	16+800	Derecho	A	75.00	0.71	45.43	70.06
16+800	17+000	Derecho	A	75.00	0.72	41.66	70.36
17+000	17+200	Derecho	A	75.00	0.72	41.00	70.51
17+200	17+400	Derecho	A	75.00	0.74	41.86	70.22
17+400	17+600	Derecho	A	75.00	0.72	41.45	70.54
17+600	17+800	Derecho	A	75.00	0.67	42.01	70.40
17+800	18+000	Derecho	A	75.00	0.66	43.14	70.45
18+000	18+200	Derecho	A	75.00	0.74	42.33	70.63
18+200	18+400	Derecho	A	75.00	0.71	43.34	70.63
18+400	18+600	Derecho	A	74.90	0.72	42.70	70.45
18+600	18+800	Derecho	A	75.00	0.70	41.07	70.58
18+800	19+000	Derecho	A	74.90	0.72	41.67	70.55
19+000	19+200	Derecho	A	74.98	0.70	42.49	70.62
19+200	19+400	Derecho	A	74.91	0.71	43.66	70.65
19+400	19+600	Derecho	A	75.00	0.68	42.41	70.82
19+600	19+800	Derecho	A	75.00	0.74	43.40	70.47
19+800	20+000	Derecho	A	75.00	0.76	40.20	70.34
20+000	20+200	Derecho	A	74.89	0.73	38.16	70.45
20+200	20+400	Derecho	A	73.93	0.69	40.41	69.66
20+400	20+600	Derecho	A	65.77	0.78	42.47	62.27
20+600	20+800	Derecho	A	71.70	0.80	36.32	67.37
20+800	21+000	Derecho	A	77.91	0.77	36.73	73.63
21+000	21+200	Derecho	A	75.49	0.70	38.31	71.21
21+200	21+400	Derecho	A	73.00	0.74	40.25	68.07
21+400	21+600	Derecho	A	73.00	0.74	45.33	69.37
21+600	21+800	Derecho	A	65.47	0.59	44.22	61.48
21+800	22+000	Derecho	A	49.92	0.77	43.43	47.68
22+000	22+200	Derecho	A	59.38	0.69	41.21	55.58
22+200	22+400	Derecho	A	73.27	0.71	44.33	68.14
22+400	22+600	Derecho	A	77.00	0.73	44.13	71.84
22+600	22+800	Derecho	A	76.45	0.69	44.88	71.57

Promedio: 0.69
Máximo: 0.80
Mínimo: 0.57

Observaciones:

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



Obra:	Obtención del Índice de Fricción		
Carretera:	Jalapa-Veracruz	Fecha de Cálculo:	Abril del 2014
Tramo :	Jalapa - Ciudad Cardel	Equipo Utilizado:	Dynamic Friction Tester
Subtramo :	Del Km 13+600 al Km 22+800	Capa:	Carpeta

Ubicación:		Carril	Cuerpo	Velocidad (km/h.)	Fricción (Mu)	Temperatura del Terreno (C)	Flujo de Agua (lpm)
Del Km.	Al Km.						
13+600	13+800	Derecho	B	76.12	0.66	51.46	77.48
13+800	14+000	Derecho	B	75.88	0.63	50.33	74.35
14+000	14+200	Derecho	B	73.85	0.62	49.25	70.43
14+200	14+400	Derecho	B	76.21	0.65	49.85	72.40
14+400	14+600	Derecho	B	69.05	0.67	51.16	66.51
14+600	14+800	Derecho	B	64.10	0.67	51.63	61.46
14+800	15+000	Derecho	B	77.46	0.64	49.75	73.42
15+000	15+200	Derecho	B	73.50	0.55	47.88	70.08
15+200	15+400	Derecho	B	74.56	0.57	49.76	70.84
15+400	15+600	Derecho	B	75.00	0.50	51.36	70.94
15+600	15+800	Derecho	B	74.95	0.52	51.55	71.11
15+800	16+000	Derecho	B	74.90	0.51	50.27	70.91
16+000	16+200	Derecho	B	74.90	0.76	49.88	70.91
16+200	16+400	Derecho	B	74.89	0.77	50.01	70.76
16+400	16+600	Derecho	B	74.90	0.51	48.48	70.77
16+600	16+800	Derecho	B	74.89	0.74	48.91	70.80
16+800	17+000	Derecho	B	74.90	0.76	50.50	70.81
17+000	17+200	Derecho	B	75.00	0.52	51.75	70.79
17+200	17+400	Derecho	B	74.90	0.77	51.78	70.66
17+400	17+600	Derecho	B	74.89	0.56	51.29	70.71
17+600	17+800	Derecho	B	75.00	0.76	51.05	70.65
17+800	18+000	Derecho	B	74.84	0.65	51.32	70.57
18+000	18+200	Derecho	B	74.78	0.61	52.11	70.63
18+200	18+400	Derecho	B	74.90	0.65	51.82	70.63
18+400	18+600	Derecho	B	74.79	0.61	50.56	70.72
18+600	18+800	Derecho	B	74.90	0.58	51.54	70.74
18+800	19+000	Derecho	B	74.89	0.66	52.28	70.68
19+000	19+200	Derecho	B	74.92	0.62	51.27	70.55
19+200	19+400	Derecho	B	70.60	0.50	53.36	67.10
19+400	19+600	Derecho	B	56.57	0.48	53.86	54.08
19+600	19+800	Derecho	B	65.32	0.52	50.35	61.86
19+800	20+000	Derecho	B	74.95	0.53	47.60	70.74
20+000	20+200	Derecho	B	73.98	0.42	47.06	69.84
20+200	20+400	Derecho	B	73.00	0.41	50.83	68.88
20+400	20+600	Derecho	B	73.00	0.74	53.40	68.99
20+600	20+800	Derecho	B	73.00	0.76	53.90	68.95
20+800	21+000	Derecho	B	71.46	0.49	52.03	67.68
21+000	21+200	Derecho	B	60.09	0.64	52.70	57.17
21+200	21+400	Derecho	B	69.05	0.61	51.16	66.51
21+400	21+600	Derecho	B	64.10	0.48	51.63	61.46
21+600	21+800	Derecho	B	77.46	0.65	49.75	73.42
21+800	22+000	Derecho	B	73.50	0.65	47.88	70.08
22+000	22+200	Derecho	B	74.56	0.57	49.76	70.84
22+200	22+400	Derecho	B	75.00	0.50	51.36	70.94
22+400	22+600	Derecho	B	74.95	0.70	51.55	71.11
22+600	22+800	Derecho	B	74.90	0.69	50.27	70.91

Promedio: 0.61
Máximo: 0.77
Mínimo: 0.41

Observaciones:



ANEXO H

“Tasa de crecimiento anual vehicular”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ
MADRIGAL



CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRÁNSITO

CARRETERA: Jalapa- Veracruz
 TRAMO: Jalapa- Ciudad Cardel
 SUBTRAMO: Del Km. 13+600 al Km. 22+800
 ESTACIÓN DE AFORO: Corral Falso Km. 17+400 Cuerpo A
 FECHA: Abril, 2014

CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO

Cálculo de la Recta de Ajuste aplicando el método de Mínimos Cuadrados

AÑO	AÑO ACUM (A)	TDPA (V)	A ²	PRODUCTO A X V
2009	1	7889	1	7889
2010	2	8330	4	16660
2011	3	8939	9	26817
2012	4	9596	16	38384
2013	5	9382	25	46910
Σ	15	44136	55	136660
(Σ) ²	225			
N	5			

$V = a_0 + a_1A$

En donde:

V: Tránsito Promedio Diario Anual (Variable dependiente)

a₀: Ordenada al Origen

a₁: Pendiente de la Recta

A: Año (Variable independiente)

$$a_0 = \frac{(\Sigma V)(\Sigma A^2) - (\Sigma A)(\Sigma AV)}{N(\Sigma A^2) - (\Sigma A)^2} = 7551.6$$

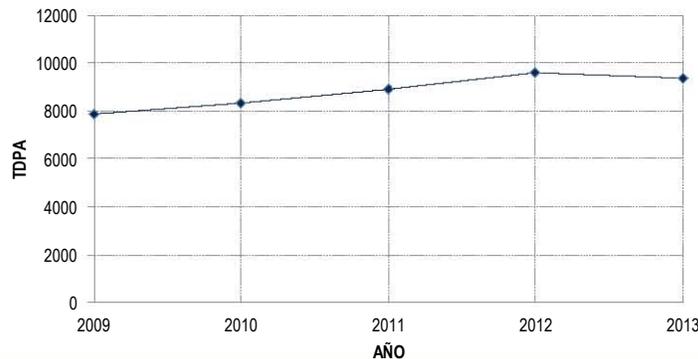
$$a_1 = \frac{N(\Sigma AV) - (\Sigma A)(\Sigma V)}{N(\Sigma A^2) - (\Sigma A)^2} = 425.20$$

N: Número de Datos

TASA DE CRECIMIENTO

i = 5.63%

VARIACIÓN DEL TRÁNSITO CON EL TIEMPO





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS DE MAESTRIA: ING. DOMINGO PÉREZ
MADRIGAL



CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRÁNSITO

CARRETERA: Jalapa- Veracruz
 TRAMO: Jalapa- Ciudad Cardel
 SUBTRAMO: Del Km. 13+600 al Km. 22+800
 ESTACIÓN DE AFORO: Corral Falso Km. 17+400 Cuerpo B
 FECHA: Abril, 2014

CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO

Cálculo de la Recta de Ajuste aplicando el método de Mínimos Cuadrados

AÑO	AÑO ACUM (A)	TDPA (V)	A ²	PRODUCTO A X V
2009	1	7758	1	7758
2010	2	8183	4	16366
2011	3	8745	9	26235
2012	4	9816	16	39264
2013	5	10099	25	50495
Σ	15	44601	55	140118
(Σ) ²	225			
N	5			

$$V = a_0 + a_1A$$

En donde:

V: Tránsito Promedio Diario Anual (Variable dependiente)

a₀: Ordenada al Origen

a₁: Pendiente de la Recta

A: Año (Variable independiente)

$$a_0 = \frac{(\Sigma V)(\Sigma A^2) - (\Sigma A)(\Sigma AV)}{N(\Sigma A^2) - (\Sigma A)^2} = 7025.7$$

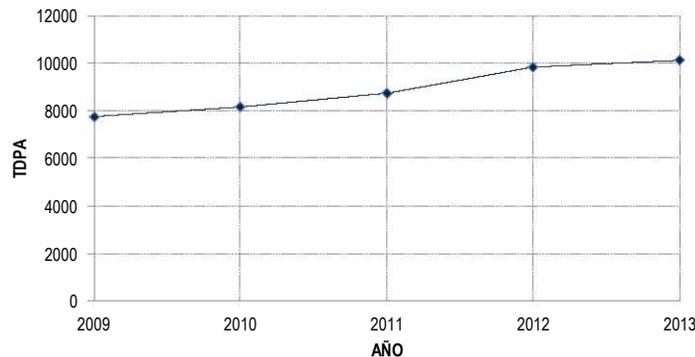
$$a_1 = \frac{N(\Sigma AV) - (\Sigma A)(\Sigma V)}{N(\Sigma A^2) - (\Sigma A)^2} = 631.50$$

N: Número de Datos

TASA DE CRECIMIENTO

$$i = 8.99\%$$

VARIACIÓN DEL TRANSITO CON EL TIEMPO





ANEXO I

“Módulos de elasticidad”



MODULOS DE ELASTICIDAD Y VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO



Prueba	Km.	Modulos de Elasticidad, Mpa					Vida Remanente, Años	Sobrecarpeta, mm
		E1	E2	E3	E4	E5		
JALAPA - VERACRUZ KM. 13+600 AL KM. 22+800 CUERPO A								
1	13.600	1163	427	197	97	54	1	47
2	14.000	1920	360	204	106	53	1	8
3	14.500	2202	273	221	87	34	1	33
4	15.000	787	277	180	80	27	0	123
5	15.500	1087	317	216	116	63	1	14
6	16.000	932	283	220	80	27	0	114
7	16.500	1002	272	186	71	18	0	101
8	17.000	1636	274	185	134	81	1	39
9	17.500	1752	306	259	103	50	1	11
10	18.000	1588	336	230	123	70	1	23
11	18.500	1335	269	229	107	54	0	54
12	19.000	967	341	238	67	14	0	125
13	19.500	2291	278	224	91	38	0	82
14	20.000	1378	409	188	78	25	0	91
15	20.500	2455	315	154	74	21	0	148
16	21.000	2069	298	208	93	40	0	70
17	21.500	2554	296	157	73	20	0	158
18	22.000	1952	324	201	122	69	0	63
19	22.500	2260	349	221	80	27	0	125
20	22.800	3690	394	234	85	32	1	31
	Promedio	1751	320	208	93	41	0	73
	Desv. Est.	716	48	27	19	20	1	48
JALAPA - VERACRUZ KM. 13+600 AL KM. 22+800 CUERPO B								
1	13.600	3987	692	350	134	110	2	22
2	14.000	2467	524	340	87	63	0	35
3	14.500	3534	479	275	76	52	0	49
4	15.000	3753	499	295	65	41	0	40
5	15.500	3641	559	290	96	72	0	23
6	16.000	2685	411	282	70	46	0	76
7	16.500	2208	463	264	67	43	0	44
8	17.000	2308	513	302	80	56	0	40
9	17.500	3102	483	325	123	99	0	49
10	18.000	2410	425	341	92	68	0	79
11	18.500	2664	513	260	58	34	0	40
12	19.000	2022	437	290	69	45	0	44
13	19.500	2360	546	239	51	27	1	115
14	20.000	2304	504	268	72	48	0	22
15	20.500	2186	473	237	69	45	0	94
16	21.000	3555	415	362	74	50	0	54
17	21.500	1890	431	274	78	54	0	57
18	22.000	2860	465	286	73	49	0	29
19	22.500	2542	427	281	102	78	0	52
20	22.800	2412	443	294	101	77	0	46
	Promedio	2745	485	293	82	58	0	51
	Desv. Est.	629	65	35	21	21	0	24



ANEXO J

“Método AASHTO”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA I DEL CUERPO A



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA -VERACRUZ
 Tramo: JALAPA - CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 9,382

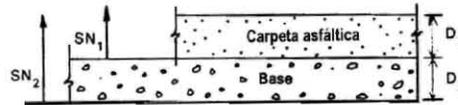
Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 -R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 -R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 -R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 -R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 5.63 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pe
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pe
 Zr = -1.282 pag 1 - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5

Transito de diseño

Esal_{req} = 19,188,114 Log (Esal_{req}) = 7.28



Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 3.01 Log (Esal) = 7.28

Si SN'2 ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento actual:

Capa	E (psi)	a*(1,2,3)	m**(2,3)	Estructura	
				e (in)	SN'(1)
Concreto asfáltico	253,961	0.35	0.00	5.11	1.79
Base hidráulica	40,756				
Subbase hidráulica	19,870				
Subrasante	13,488				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 9, II - 20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en porciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en porciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _R = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
a _i = Coeficiente de capa.
m _i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req} = 3.01 Y EL NÚMERO EN LA ESTRUCTURA ACTUAL SOBRE LA BASE HIDRÁULICA ES DE SN Actual = 1.79 ; POR LO TANTO REQUIERE UN REFUERZO DE SN = 1.22 QUE TRANSFORMADO A ESPESOR EQUIVALENTE RESULTA DE 2.59 PULGADAS = 6.62 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
ALTERNATIVA I DEL CUERPO A



Carretera : JALAP A - VERACRUZ
 Tramo JALAP A - CIUDAD CARDEL
 km : km 13-600 AL km 22-800

TDPA = 9,382 CD = 0.50
 n (años) = 15 CC = 0.90
 r = 0.0563 Pt = 2.50
 SN = 3.010 F. crecim. = 22.63

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio	Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton	Kips	Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño	
A2	0.835	Cargado	1.00	1,286,730	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000426	0.0009	1,096	24,798
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000210	0.0004	0	0
A'2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.060216	0.0630	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000786	0.0018	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	41,915	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	152,728	3,456,305
		Vacio	0.20	10,479	Sencillo	4	7.00	15.42	0.565038	0.6090	6,382	144,419
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104843	0.1780	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.830105	3.1696	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104843	0.1220	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	61,640	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	224,599	5,082,802
		Vacio	0.20	15,410	Sencillo	4	3.00	6.61	0.024234	0.0682	1,051	23,784
C3	0.016	Cargado	0.80	19,725	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	64,348	1,456,221
		Vacio	0.20	4,931	Tandem	8	4.50	9.91	0.011389	0.0845	417	9,434
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.0107	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0783	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.8969	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0757	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	7.6293	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0947	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.5154	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0921	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	5.8272	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.039328	0.1098	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.7134	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.1244	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	34,518	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.3319	184,050	4,165,136
		Vacio	0.20	8,630	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.0877	756	17,118
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	17,259	Tridem	12	22.50	49.56	1.302656	4.5649	78,787	1,782,988
		Vacio	0.20	4,315	Tridem	12	5.00	11.01	0.004572	0.0850	367	8,297
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	10.1942	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.0966	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	9.8128	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1083	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.1924	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1007	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	6.1853	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0966	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	28,354	Tandem	8	14.50	31.94	0.920332	4.6786	132,659	3,002,140
		Vacio	0.20	7,089	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0915	648	14,671
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	4.1593	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0881	0	0
Totales				1,540,994						847,887	19,188,114	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA II DEL CUERPO A



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA -VERACRUZ
 Tramo: JALAPA - CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 9,382

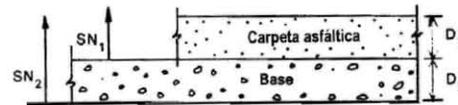
Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 5.63 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pe
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pe
 Zr = -1.282 pag I - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5

Transito de diseño

Esal_{req} = 19,188,114 Log (Esal_{req}) = 7.28



Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 3.01 Log (Esal) = 7.28

Si SN'2 ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento actual:

Capa	E (psi)	a* _(1,2,3)	m** _(2,3)	Estructura	
				e (in)	SN' ₍₁₎
Concreto asfáltico	253,961	0.35	0.00	3.94	1.38
Base hidráulica	40,756	0.18	1.00	11.02	
Subbase hidráulica	19,870	0.14	0.95	17.71	
Subrasante	13,488				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 19, II - 20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en por ciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en por ciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _R = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
a = Coeficiente de capa.
m ₁ = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req} = 3.01 Y EL NÚMERO EN LA CARPETA SI SE FRESA 3CM ES DE SN_{Fresado} = 1.38 ; POR LO TANTO REQUIERE UN REFUERZO DE SN = 1.63 QUE TRANSFORMADO A ESPESOR EQUIVALENTE ESTE RESULTA DE 3.46 PULGADAS = 8.78 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ
 MADRIGAL
 ALTERNATIVA II DEL CUERPO A



Carretera : JALAPA - VERACRUZ
 Tramo : JALAPA - CIUDAD CARDEL
 km : km 13-600 AL km 22-800

TDPA = 9,382 CD = 0.50
 n (años) = 15 CC = 0.90
 r = 0.0563 Pt = 2.50
 SN = 3.010 F. crecim. = 22.63

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio	Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton	Kips	Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño	
A2	0.835	Cargado	1.00	1,286,730	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000426	0.0009	1,096	24,798
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000210	0.0004	0	0
A'2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.060216	0.0630	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000786	0.0018	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	41,915	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	152,728	3,456,305
		Vacio	0.20	10,479	Sencillo	4	7.00	15.42	0.565038	0.6090	6,382	144,419
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104843	0.1780	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.830105	3.1696	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104843	0.1220	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	61,640	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	224,599	5,082,802
		Vacio	0.20	15,410	Sencillo	4	3.00	6.61	0.024234	0.0682	1,051	23,784
C3	0.016	Cargado	0.80	19,725	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	64,348	1,456,221
		Vacio	0.20	4,931	Tandem	8	4.50	9.91	0.011389	0.0845	417	9,434
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.0107	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0783	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.8969	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0757	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	7.6293	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0947	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.5154	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0921	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	5.8272	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.039328	0.1098	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.7134	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.1244	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	34,518	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.3319	184,050	4,165,136
		Vacio	0.20	8,630	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.0877	756	17,118
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	17,259	Tridem	12	22.50	49.56	1.302656	4.5649	78,787	1,782,988
		Vacio	0.20	4,315	Tridem	12	5.00	11.01	0.004572	0.0850	367	8,297
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	10.1942	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.0966	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	9.8128	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1083	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.1924	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1007	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	6.1853	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0966	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	28,354	Tandem	8	14.50	31.94	0.920332	4.6786	132,659	3,002,140
		Vacio	0.20	7,089	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0915	648	14,671
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	4.1593	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0881	0	0
Totales				1,540,994						847,887	19,188,114	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA III DEL CUERPO A



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA –VERACRUZ
 Tramo: JALAPA – CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 9,382

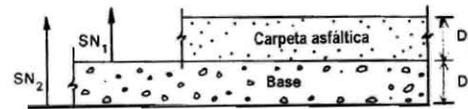
Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 5.63 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pe
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pe
 Zr = -1.282 pag I - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5

Transito de diseño

Esal_{req} = 19,188,114 Log (Esal_{req}) = 7.28



Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 3.01 Log (Esal) = 7.28

Si SN'2 ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento requerida:

Capa	E (psi)	a* _(1,2,3)	m** _(2,3)	Estructura	
				e (in)	SN' ₍₁₎
Concreto asfáltico	497,818	0.47	0.00	6.40	3.01
Base hidráulica	40,756	0.18	1.00	11.02	
Subase hidráulica	19,870	0.14	0.95	17.71	
Subrasante	13,488				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 9, II - 20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en porciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en porciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _R = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
a = Coeficiente de capa.
m _i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req} = 3.01 ; LA ALTERNATIVA ES REMOVER LA CARPETA ACTUAL Y COLOCAR UNA NUEVA CARPETA SOBRE LA BASE HCA. SE CALCULÓ QUE EL ESPESOR DE ESTA SERÁ DE 6.40 PULGADAS = 16.25 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
ALTERNATIVA III DEL CUERPO A



Carretera : JALAPA - VERACRUZ
Tramo : JALAPA - CIUDAD CARDEL
km : km 13+600 AL km 22+800

TDPA = 9,382 CD = 0.50
n (años) = 15 CC = 0.90
r = 0.0563 Pt = 2.50
Sn = 3.010 F. crecim. = 22.63

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio	Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton	Kíps	Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño	
A2	0.835	Cargado	1.00	1,286,730	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000426	0.0009	1,096	24,798
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000210	0.0004	0	0
A2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.060216	0.0630	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000786	0.0018	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	41,915	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	152,728	3,456,305
		Vacio	0.20	10,479	Sencillo	4	7.00	15.42	0.565038	0.6090	6,382	144,419
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104843	0.1780	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.830105	3.1696	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104843	0.1220	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	61,640	Sencillo	4	11.00	24.23	3.211564	3.6437	224,599	5,082,802
		Vacio	0.20	15,410	Sencillo	4	3.00	6.61	0.024234	0.0682	1,051	23,784
C3	0.016	Cargado	0.80	19,725	Tandem	8	19.50	42.95	2.830105	3.2623	64,348	1,456,221
		Vacio	0.20	4,931	Tandem	8	4.50	9.91	0.011389	0.0845	417	9,434
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.0107	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0783	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.8969	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0757	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	7.6293	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005061	0.0947	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	7.5154	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002485	0.0921	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	5.8272	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.039328	0.1098	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.7134	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.1244	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	34,518	Tandem	8	18.00	39.65	2.069662	5.3319	184,050	4,165,136
		Vacio	0.20	8,630	Tandem	8	4.00	8.81	0.007255	0.0877	756	17,118
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	17,259	Tridem	12	22.50	49.56	1.302656	4.5649	78,787	1,782,988
		Vacio	0.20	4,315	Tridem	12	5.00	11.01	0.004572	0.0850	367	8,297
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	10.1942	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.0966	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	9.8128	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1083	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.183497	8.1924	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.007288	0.1007	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	6.1853	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0966	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	28,354	Tandem	8	14.50	31.94	0.920332	4.6786	132,659	3,002,140
		Vacio	0.20	7,089	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0915	648	14,671
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.042110	4.1593	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003146	0.0881	0	0
Totales				1,540,994						847,887	19,188,114	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA I DEL CUERPO B



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA - VERACRUZ
 Tramo: JALAPA - CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 10,099

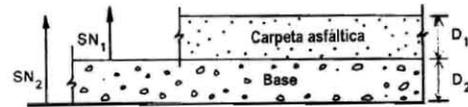
Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 8.99 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pe
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pe
 Zr = -1.282 pag I - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5

Transito de diseño

Esal_{req} = 27,375,449 Log (Esal_{req}) = 7.44



Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 2.58 Log (Esal) = 7.45

Si SN'2 ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento actual:

Capa	E (psi)	a* ^(1,2,3)	m** ^(2,3)	Estructura	
				e (in)	SN' ₍₁₎
Concreto asfáltico	398,129	0.40	0.00	4.33	1.73
Base hidráulica	70,343				
Subbase hidráulica	42,496				
Subrasante	11,983				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 19, II-20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en por ciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en por ciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _R = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
m _i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req} = 2.58 Y EL NÚMERO EN LA ESTRUCTURA ACTUAL SOBRE LA BASE HIDRÁULICA ES DE SN Actual = 1.73 ; POR LO TANTO REQUIERE UN REFUERZO DE SN = 0.86 QUE TRANSFORMADO A ESPESOR EQUIVALENTE RESULTA DE 1.86 PULGADAS = 4.62 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA I DEL CUERPO B



Carretera : JALAPA - VERACRUZ
 Tramo : JALAPA - CIUDAD CARDEL
 km : km 13+600 AL km 22+800

TDPA = 10,099 CD = 0.50
 n (años) = 15 CC = 0.90
 r = 0.0899 Pt = 2.50
 SN = 2.580 F. crecim. = 29.34

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio		Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton Kips		Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño
A2	0.835	Cargado	1.00	1,385,065	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000484	0.0010	1,340	39,315
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000239	0.0005	0	0
A'2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.061302	0.0644	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000891	0.0021	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	45,118	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	172,290	5,054,624
		Vacio	0.20	11,280	Sencillo	4	7.00	15.42	0.551395	0.5968	6,732	197,505
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104638	0.1784	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.899435	3.2242	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104638	0.1231	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	66,350	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	253,368	7,433,270
		Vacio	0.20	16,588	Sencillo	4	3.00	6.61	0.025713	0.0712	1,180	34,629
C3	0.016	Cargado	0.80	21,232	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	70,451	2,066,877
		Vacio	0.20	5,308	Tandem	8	4.50	9.91	0.012390	0.0862	457	13,416
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3613	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0824	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	8.1770	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0795	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	7.8608	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0974	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	7.6765	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0945	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	6.0900	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.040863	0.1144	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.9057	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.1272	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	37,156	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.4052	200,836	5,892,100
		Vacio	0.20	9,289	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.0897	833	24,444
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	18,578	Tridem	12	22.50	49.56	1.257533	4.5757	85,007	2,493,926
		Vacio	0.20	4,645	Tridem	12	5.00	11.01	0.005022	0.0868	403	11,821
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.6326	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1022	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.1321	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1122	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3533	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1041	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	6.1953	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0996	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	30,521	Tandem	8	14.50	31.94	0.892981	4.5704	139,495	4,092,480
		Vacio	0.20	7,630	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0940	717	21,041
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	4.0618	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0902	0	0
Totales				1,658,761							933,110	27,375,449



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA II DEL CUERPO B



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA –VERACRUZ
 Tramo: JALAPA – CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 10,099

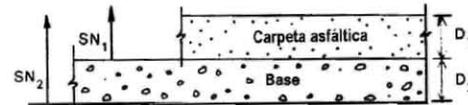
Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 8.99 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pe
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pe
 Zr = -1.282 pag I - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5

Transito de diseño

Esal_{req} = 27,375,449 Log (Esal_{req}) = 7.44



Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 2.58 Log (Esal) = 7.45

Si SN'₂ ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento actual:

Capa	E (psi)	a [*] (1,2,3)	m ^{**} (2,3)	Estructura	
				e (in)	SN' ₍₁₎
Concreto asfáltico	398,129	0.40	0.00	3.94	1.58
Base hidráulica	70,343				
Subbase hidráulica	42,496				
Subrasante	11,983				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - B, II-20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en por ciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en por ciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _R = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
a _i = Coeficiente de capa.
m _i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req}= 2.58 Y EL NÚMERO EN LA CARPETA SI SE FRESA 1 CM ES DE SN_{Fresado}= 1.58 ; POR LO TANTO REQUIERE UN REFUERZO DE 1.01 QUE TRANSFORMADO A ESPESOR EQUIVALENTE RESULTA DE 2.15 PULGADAS = 5.46 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
ALTERNATIVA II DEL CUERPO B



Carretera : JALAPA - VERACRUZ
Tramo : JALAPA - CIUDAD CARDEL
km : km 13+600 AL km 22+800

TDPA = 10,099 CD = 0.50
n (años) = 15 CC = 0.90
r = 0.0899 Pt = 2.50
S_N = 2.580 F. crecim. = 29.34

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio	Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton	Kíps	Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño	
A2	0.835	Cargado	1.00	1,385,065	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000484	0.0010	1,340	39,315
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000239	0.0005	0	0
A2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.061302	0.0644	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000891	0.0021	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	45,118	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	172,290	5,054,624
		Vacio	0.20	11,280	Sencillo	4	7.00	15.42	0.551395	0.5968	6,732	197,505
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104638	0.1784	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.899435	3.2242	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104638	0.1231	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	66,350	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	253,368	7,433,270
		Vacio	0.20	16,588	Sencillo	4	3.00	6.61	0.025713	0.0712	1,180	34,629
C3	0.016	Cargado	0.80	21,232	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	70,451	2,066,877
		Vacio	0.20	5,308	Tandem	8	4.50	9.91	0.012390	0.0862	457	13,416
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3613	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0824	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	8.1770	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0795	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	7.8608	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0974	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	7.6765	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0945	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	6.0900	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.040863	0.1144	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.9057	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.1272	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	37,156	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.4052	200,836	5,892,100
		Vacio	0.20	9,289	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.0897	833	24,444
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	18,578	Tridem	12	22.50	49.56	1.257533	4.5757	85,007	2,493,926
		Vacio	0.20	4,645	Tridem	12	5.00	11.01	0.005022	0.0868	403	11,821
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.6326	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1022	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.1321	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1122	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3533	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1041	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	6.1953	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0996	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	30,521	Tandem	8	14.50	31.94	0.892981	4.5704	139,495	4,092,480
		Vacio	0.20	7,630	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0940	717	21,041
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	4.0618	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0902	0	0
Totales				1,658,761						933,110	27,375,449	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
 ALTERNATIVA II DEL CUERPO B



REVISIÓN ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LA AASHTO

Carretera: JALAPA –VERACRUZ
 Tramo: JALAPA – CIUDAD CARDEL
 Km : km 13+600 AL km 22+800

Fecha = may-14

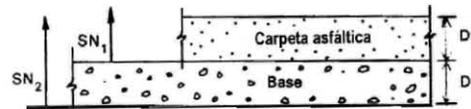
DATOS DEL TRANSITO VEHICULAR

TDPA = 10,099

Composición vehicular

A2 =	83.50%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	3.40%	T3 - S2 =	2.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	1.40%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	5.00%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	1.60%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	2.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 8.99 %
 n = 15 Años
 CD = 50.0 % Tabla s/n, pē
 CC = 90.0 %
 Grado de certeza* = 90.0 % Tabla 4.1, pē
 Zr = -1.282 pag I - 62
 So = 0.45
 Po = 4
 Pt = 2.5



Transito de diseño

Esal_{req} = 27,375,449 Log (Esal_{req}) = 7.44

Revisión de la estructura del pavimento

SN_{req} = 2.58 Log (Esal) = 7.45

Si SN'2 ≥ SN_{req} ∴ se acepta la sección estructural y no se requiere refuerzo

Estructura del pavimento requerida:

Capa	E (psi)	a [*] (1,2,3)	m ^{**} (2,3)	Estructura	
				e (in)	SN' (1)
Concreto asfáltico	497,818	0.47	0.00	5.50	2.59
Base hidráulica	70,343				
Subbase hidráulica	42,496				
Subrasante	11,983				

* Fig. 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 19, II-20 y II - 21

** Tabla 2.4, pag II - 26.

SIMBOLOGIA
TDPA = Transito Diario Promedio Anual
CD = Coeficiente de distribución direccional, en porciento
CC = Coeficiente de distribución de carril, en porciento
Zr = Desviación estandar Normal
So = Error estandar del trafico
Po = Indice de Servicio Inicial
Pt = Indice de Servicio Final
M _r = Modulo de Resiliencia de la subrasante.
a _i = Coeficiente de capa.
m _i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
ESAL _{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
ESAL _{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
e = Espesor requerido por capa
SN = Número estructural requerido
* Nivel de confianza

SECCIÓN ESTRUCTURAL REQUERIDA SOBRE LA BASE PARA SATISFACER LAS SOLICITACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO DE PROYECTO:



SI EL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ES DE SN_{req}= 3.00 ; LA ALTERNATIVA ES REMOVER LA CARPETA ACTUAL Y COLOCAR UNA NUEVA CARPETA SOBRE LA BASE HCA. SE CALCULÓ QUE EL ESPESOR DE ESTA SERÁ DE 5.5 PULGADAS = 13.97 CM

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TESIS DE MAESTRÍA: ING. DOMINGO PEREZ MADRIGAL
ALTERNATIVA II DEL CUERPO B



Carretera : JALAPA - VERACRUZ
Tramo : JALAPA - CIUDAD CARDEL
km : km 13+600 AL km 22+800

TDPA = 10,099 CD = 0.50
n (años) = 15 CC = 0.90
r = 0.0899 Pt = 2.50
SN = 2.580 F. crecim. = 29.34

Tipo de camión	Comp. Vehic.	Porcentaje cargado/vacio		Trafico presente	Tipo de eje	No. de llantas	Peso por eje Ton Kips		Factor equivalente por eje	Coefficiente Esal	Esal's anuales	Esal's de diseño
A2	0.835	Cargado	1.00	1,385,065	Sencillo	2	1.00	2.20	0.000484	0.0010	1,340	39,315
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	0.80	1.76	0.000239	0.0005	0	0
A'2	0.000	Cargado	1.00	0	Sencillo	2	3.80	8.37	0.061302	0.0644	0	0
		Vacio	0.00	0	Sencillo	2	1.20	2.64	0.000891	0.0021	0	0
B2	0.034	Cargado	0.80	45,118	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	172,290	5,054,624
		Vacio	0.20	11,280	Sencillo	4	7.00	15.42	0.551395	0.5968	6,732	197,505
B3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	8.00	17.62	0.104638	0.1784	0	0
B4	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	6	19.50	42.95	2.899435	3.2242	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	6	8.00	17.62	0.104638	0.1231	0	0
C2	0.050	Cargado	0.80	66,350	Sencillo	4	11.00	24.23	3.399944	3.8186	253,368	7,433,270
		Vacio	0.20	16,588	Sencillo	4	3.00	6.61	0.025713	0.0712	1,180	34,629
C3	0.016	Cargado	0.80	21,232	Tandem	8	19.50	42.95	2.899435	3.3181	70,451	2,066,877
		Vacio	0.20	5,308	Tandem	8	4.50	9.91	0.012390	0.0862	457	13,416
C2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3613	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0824	0	0
C2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	8.1770	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0795	0	0
C3 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	7.8608	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.00	4.41	0.005617	0.0974	0	0
C3 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	7.6765	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.00	6.61	0.002770	0.0945	0	0
T2 - S1	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	6.0900	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	3.40	7.49	0.040863	0.1144	0	0
T2 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.9057	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.1272	0	0
T3 - S2	0.028	Cargado	0.80	37,156	Tandem	8	18.00	39.65	2.087055	5.4052	200,836	5,892,100
		Vacio	0.20	9,289	Tandem	8	4.00	8.81	0.007968	0.0897	833	24,444
T3 - S3	0.014	Cargado	0.80	18,578	Tridem	12	22.50	49.56	1.257533	4.5757	85,007	2,493,926
		Vacio	0.20	4,645	Tridem	12	5.00	11.01	0.005022	0.0868	403	11,821
T2 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.6326	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1022	0	0
T3 - S1 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	10.1321	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1122	0	0
T3 - S2 - R2	0.000	Cargado	0.80	0	Sencillo	4	10.00	22.03	2.271332	8.3533	0	0
		Vacio	0.20	0	Sencillo	4	2.20	4.85	0.008027	0.1041	0	0
T3 - S2 - R3	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	6.1953	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0996	0	0
T3 - S2 - R4	0.023	Cargado	0.80	30,521	Tandem	8	14.50	31.94	0.892981	4.5704	139,495	4,092,480
		Vacio	0.20	7,630	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0940	717	21,041
T3 - S3 - S2	0.000	Cargado	0.80	0	Tandem	8	15.00	33.04	1.016250	4.0618	0	0
		Vacio	0.20	0	Tandem	8	3.20	7.05	0.003497	0.0902	0	0
Totales				1,658,761							933,110	27,375,449



ANEXO K

“Análisis de los costos de operación base”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 TESIS DE MAESTRÍA
 ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL
"ANÁLISIS DE COSTO DE OPERACIÓN BASE"



CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE VEHICULO						
		VEHICULO LIGERO(A)	AUTOBUS (B)	CAMION DE 2 EJES (C2)	CAMION DE 3 EJES (C3)	CAMION ARTIC.(T3-S2)	CAMION ARTIC.(T3-S3)	CAMION ARTIC.(T3-S2-R4)
		CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Consumo cada 1000 veh./km								
Consumo de combustible	litros	172.03	398.63	328.45	446.79	483.92	579.47	760.89
Uso de lubricantes	litros	1.85	3.37	3.37	3.37	5.45	5.45	5.45
Consumo de llantas	núm llantas nuevas equivalentes	0.06	0.26	0.16	0.24	0.33	0.39	0.56
Tiempo de operador	horas	10.68	11.47	13.09	13.41	11.48	12.21	14.20
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.15	11.06	8.18	12.43	30.48	30.48	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.14%	0.13%	0.15%	0.21%	0.27%	0.27%	0.27%
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.40%	0.05%	0.06%	0.06%	0.05%	0.06%	0.06%
Intereses (tasa 4.82%)	% precio vehículo nuevo	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costos Unitarios(\$)								
Precio de vehículo nuevo	\$	212,152.00	2,080,852.00	498,330.00	572,833.00	1,085,955.00	1,130,681.00	1,319,072.00
Costo de combustible	\$/litro	11.23	11.48	11.48	11.48	11.48	11.48	11.48
Costo de lubricantes	\$/litro	25.68	25.45	25.45	25.45	25.45	25.45	25.45
Costo de llanta nueva	\$/llanta	898.12	2,668.25	2,482.50	2,482.50	2,482.50	2,482.50	2,482.50
Tiempo de operador	\$/hora	24.01	66.11	48.29	48.29	55.70	55.70	55.70
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	21.89	57.21	37.48	37.48	37.48	37.48	37.48
Tasa de interés anual	%	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29
Costos indirectos por veh-km	\$	0.33	1.02	0.59	0.80	1.13	1.27	1.58
Costos de operación Base(\$ por cada 1000 vehículos-km)								
Consumo de combustible	\$	1,931.90	4,576.27	3,770.61	5,129.15	5,555.40	6,652.32	8,735.02
Uso de lubricantes	\$	47.51	85.77	85.77	85.77	138.70	138.70	138.70
Consumo de llantas	\$	53.89	693.75	397.20	595.80	819.23	968.18	1,390.20
Tiempo de operador	\$	256.43	758.28	632.12	647.57	639.44	680.10	790.94
Mano de obra de mantenimiento	\$	47.06	632.74	306.59	465.88	1,142.39	1,142.39	1,142.39
Refacciones	\$	297.01	2,705.11	747.50	1,202.95	2,932.08	3,052.84	3,561.49
Depreciación	\$	848.61	1,040.43	299.00	343.70	542.98	678.41	791.44
Interés	\$	42.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos indirectos	\$	330.00	1,020.00	590.00	800.00	1,130.00	1,270.00	1,580.00
	TOTAL	3,854.83	11,512.34	6,828.77	9,270.81	12,900.21	14,582.93	18,130.19
	COSTO DE OPERACIÓN BASE POR VEH-KM(\$)	3.85	11.51	6.83	9.27	12.90	14.58	18.13

ANEXO L

“Catálogo de
Conceptos”



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TESIS DE MAESTRÍA
ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



PRESUPUESTO PARA ALTERNATIVA "A" CUERPO "A"

CARRETERA:	JALAPA-VERACRUZ
TRAMO:	JALAPA-CD. CARDEL
SUBTRAMO:	KM 13+600 AL KM 22+800
LONGITUD:	9.20 KM

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	P.U. en letra	Total
1	RELLENO Y SELLADO DE GRIETAS AISLADAS (P.U.O.T.)	ML	1,312	\$ 40.47	CUARENTA PESOS 47/100 M.N.	\$ 53,096.64
2	BACHEO SUPERFICIAL AISLADO (P.U.O.T.)	M3	7	\$ 2,039.00	DOS MIL TREINTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.	\$ 14,273.00
3	CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA DE 8 CM DE ESPESOR COMPACTO DE GRANULOMETRIA DENSA ELABORADA EN CALIENTE , INCLUYE: RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA DE ROMPIENTO RAPIDO(ECR-35) CON UNA DOSIFICACION DE 10 LT/M2 (P.U.O.T.)	M3	6,624	\$ 2,425.40	DOS MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO PESOS 40/100 M.N.	\$ 16,065,849.60
4	RAYA CENTRAL DISCONTINUA COLOR BLANCO REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	9,200	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 93,840.00
5	RAYAS LATERALES EXTERIORES CONTINUA COLOR BLANCO(EXTREMA DERECHA) Y AMARILLO(EXTREMA IZQUIERDA) , REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	18,400	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 187,680.00

TOTAL DE PRESUPUESTO S/I: \$ 16,414,739.24
 IMPUESTOS: \$ 2,626,358.28
 PRESUPUESTO TOTAL C/I: \$ 19,041,097.52



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TESIS DE MAESTRÍA
ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



PRESUPUESTO PARA ALTERNATIVA "B" CUERPO "A"

CARRERA:	JALAPA- VERACRUZ
TRAMO:	JALAPA-CD. CARDEL
SUBTRAMO:	KM 13+600 AL KM 22+800
LONGITUD:	9.20 KM

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	P.U. en letra	Total
1	RELLENO Y SELLADO DE GRIETAS AISLADAS (P.U.O.T.)	ML	1,312	\$ 40.47	CUARENTA PESOS 47/100 M.N.	\$ 53,096.64
2	BACHEO SUPERFICIAL AISLADO (P.U.O.T.)	M3	7	\$ 2,039.00	DOS MIL TREINTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.	\$ 14,273.00
3	FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN UNA PROFUNDIDAD DE 3 CM , INCLUYE : RETIRO DEL MATERIAL PRODUCTO DEL FRESADO HASTA UNA DISTANCIA DE 5 KM.	M3	2,484	\$ 128.51		\$ 319,218.84
4	CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA DE 10 CM DE ESPESOR COMPACTO DE GRANULOMETRIA DENSA CON ELABORADA EN CALIENTE , INCLUYE: RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO RAPIDO (ECR-35) EN UNA DOSIFICACION DE 10 LT/M2 (P.U.O.T.)	M3	8,280	\$ 2,425.40	DOS MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO PESOS 40/100 M.N.	\$ 20,082,312.00
5	RAYA CENTRAL DISCONTINUA COLOR BLANCO REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	9,200	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 93,840.00
6	RAYAS LATERALES EXTERIORES CONTINUA COLOR BLANCO(EXTREMA DERECHA) Y AMARILLO(EXTREMA IZQUIERDA) , REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	18,400	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 187,680.00

TOTAL DE PRESUPUESTO S/I: \$ 20,750,420.48
 IMPUESTOS: \$ 3,320,067.28
 PRESUPUESTO TOTAL C/I: \$ 24,070,487.76



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TESIS DE MAESTRÍA
ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



PRESUPUESTO PARA ALTERNATIVA "A" CUERPO "B"

CARRETERA:	JALAPA- VERACRUZ
TRAMO:	JALAPA-CD. CARDEL
SUBTRAMO:	KM 13+600 AL KM 22+800
LONGITUD:	9.20 KM

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	P.U. en letra	Total
1	RELLENO Y SELLADO DE GRIETAS AISLADAS (P.U.O.T.)	ML	1,065	\$ 40.47	CUARENTA PESOS 47/100 M.N.	\$ 43,100.55
2	BACHEO SUPERFICIAL AISLADO (P.U.O.T.)	M3	5	\$ 2,039.00	DOS MIL TREINTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.	\$ 10,195.00
3	CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA DE 6 CM DE ESPESOR COM PACTO DE GRANULOMETRIA DENSA ELABORADA EN CALIENTE , INCLUYE: RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA DE ROMPIENTO RAPIDO(ECR-35) CON UNA DOSIFICACION DE 10 LT/M2 (P.U.O.T.)	M3	4,968	\$ 2,425.40	DOS MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO PESOS 40/100 M.N.	\$ 12,049,387.20
4	RAYA CENTRAL DISCONTINUA COLOR BLANCO REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	9,200	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 93,840.00
5	RAYAS LATERALES EXTERIORES CONTINUA COLOR BLANCO(EXTREMA DERECHA) Y AMARILLO(EXTREMA IZQUIERDA) , REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	18,400	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 187,680.00

TOTAL DE PRESUPUESTO S/I: \$ 12,384,202.75
 IMPUESTOS: \$ 1,981,472.44
 PRESUPUESTO TOTAL C/I: \$ 14,365,675.19



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TESIS DE MAESTRÍA
ING. DOMINGO PÉREZ MADRIGAL



PRESUPUESTO PARA ALTERNATIVA "B" CUERPO "B"

CARRETERA:	JALAPA- VERACRUZ
TRAMO:	JALAPA-CD. CARDEL
SUBTRAMO:	KM 13+600 AL KM 22+800
LONGITUD:	9.20 KM

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	P.U. en letra	Total
1	RELLENO O SELLADO DE GRIETAS AISLADAS (P.U.O.T.)	ML	1,065	\$ 40.47	CUARENTA PESOS 47/100 M.N.	\$ 43,100.55
2	BACHEO SUPERFICIAL AISLADO (P.U.O.T.)	M3	5	\$ 2,039.00	DOS MIL TREINTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.	\$ 10,195.00
3	FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN UNA PROFUNDIDAD DE 1CM , INCLUYE : RETIRO DEL MATERIAL PRODUCTO DEL FRESADO HASTA UNA DISTANCIA DE 5 KM.	M3	828	\$ 128.51		\$ 106,406.28
4	CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA DE 7 CM DE ESPESOR DE GRANULOMETRIA DENSA CON MÓDULO ELÁSTICO DE 35 000 (KG/CM 2), INCLUYE: RIEGO DE LIGA CON EM ULSION ASFALTICA DE ROM PIMIENTO RAPIDO CON UNA DOSIFICACION DE 10 LT/M2 (P.U.O.T.)	M3	5,796	\$ 2,425.40	DOS MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO PESOS 40/100 M.N.	\$ 14,057,618.40
5	RAYA CENTRAL DISCONTINUA COLOR BLANCO REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	9,200	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 93,840.00
6	RAYAS LATERALES EXTERIORES CONTINUA COLOR BLANCO(EXTREMA DERECHA) Y AMARILLO(EXTREMA IZQUIERDA) , REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO (P.U.O.T.)	ML	18,400	\$ 10.20	DIEZ PESOS 20/100 M.N.	\$ 187,680.00

TOTAL DE PRESUPUESTO S/I: \$ 14,498,840.23
 IMPUESTOS: \$ 2,319,814.44
 PRESUPUESTO TOTAL C/I: \$ 16,818,654.67

ANEXO L

“TRABAJOS POR EJECUTAR EN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DEL CUERPO A Y B”

1.- DEL KM 13+600 AL 22+800, TRABAJOS DE RELLENO Y SELLADO DE GRIETAS AISLADAS EN EL PAVIMENTO.

En las áreas del pavimento donde se presenten grietas, se procederá a efectuar un relleno de estas últimas conforme lo establece, para cada caso en particular, el inciso 1-01.2 de las Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras, utilizando los productos asfálticos o equivalentes adecuados.

2.- DEL KM 13+600 AL KM 22+800, TRABAJOS DE BACHEO SUPERFICIAL AISLADO EN DONDE SEA REQUERIDO.

a).- En las áreas del pavimento en donde una porción de la superficie de rodadura ha sido destruida y removida, se procederá a efectuar los trabajos de reparación conforme lo establece, para cada caso, la Norma N-CSV-CAR-2-02-003/00, empleando equipo mecánico autopropulsado (mini cargador con motor de 90 hp y presión del fluido hidráulico de 4,061 psi, complementado con perfiladora de pavimento en frío de 38 pulgada de ancho y profundidad de corte de 4.0 pulgada).

b).- El producto asfáltico que se utilizará en el riego de liga será emulsión catiónica de rompimiento rápido o equivalente, con una dosificación aproximada de uno punto cero (1.00) lt/m², aplicado a presión.

c).- Para restituir la superficie de rodadura se utilizará concreto asfáltico o mezcla elaborada en frío, compactándose al noventa y cinco por ciento (95%) del peso volumétrico obtenido en el laboratorio mediante el método “Marshall”.



- d).- El producto de la excavación en el Bacheo Superficial se considerará como material de desperdicio, por lo que deberá ser retirado del lugar de trabajo y depositado en el sitio que indique la SCT.
- e).- Para la integración del precio unitario del concepto de bacheo superficial se deberá considerar un espesor de concreto asfáltico hasta de 5.0 cm.
- f).- Para el cemento asfáltico AC-20, empleado en los conceptos de bacheo superficial se deberá considerar 125 Kg/m³ de mezcla asfáltica compacto.

3. DEL KM 13+600 AL KM 22+800, TRABAJOS DE FRESADO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN UN ESPESOR DE 3 CM (CUERPO A) Y 1 CM (CUERPO B), INCLUYE RETIRO DEL MATERIAL A 5 KM.

Se fresará con el equipo móvil para este fin, transportándola en camiones de volteo en donde será desechada por completamente en un radio de 5 km aproximadamente. Los sitios donde serán desechados el material fresado lo designará la SCT que es el encargado del tramo en estudio.

4.- DEL KM 13+600 AL KM 22+800. CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA DE 10 CM DE ESPESOR DE GRANULOMETRÍA Densa CON MÓDULO ELÁSTICO DE 35 000 (KG/CM²), INCLUYE: RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO CON UNA DOSIFICACIÓN DE 1.0 LT/M².

Sobre la carpeta asfáltica (ya sea en su estado original o fresada), se realizará en toda el área, un barrido enérgico para eliminar el polvo y materias extrañas; inmediatamente después se dará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido, cuando la emulsión tenga la consistencia adecuada, se construirá en todo lo ancho de la corona de la carretera, una carpeta de concreto asfáltico con un espesor correspondiente a la alternativa



seleccionada, compactándola al noventa y cinco por ciento (95%) del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall. El concreto asfáltico deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico tipo AC-20, el material pétreo que se utilice deberá ser de tamaño máximo de diecinueve (19) milímetros proveniente del banco, propuesto por el Licitante. La dosificación del cemento asfáltico será de ciento veinticinco (125) kg/m³, aproximadamente, de material pétreo seco y suelto.

Los materiales pétreos y el cemento asfáltico que conformen la carpeta deberán cumplir con las Normas N.CMT.4.04/08 y N.CMT.4.05/06 respectivamente.

La calidad de la mezcla asfáltica de la carpeta se deberá apegar a los lineamientos indicados en la norma N.CMT.4.05.003/08.

Dado que se utilizará cemento asfáltico AC-20, la mezcla deberá realizarse a una temperatura de entre 140°C y 165°C. La mezcla al momento de colocarla en la pavimentadora, deberá tener una temperatura no menor a 135°C. La temperatura se medirá en el camión antes de descargar en la pavimentadora. La compactación se efectuará inmediatamente después de tendida la mezcla y antes de que su temperatura baje a menos de 130°C.

5 y 6. DEL KM 13+600 AL KM 22+800, COLOCACIÓN DE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL (MARCAS EN EL PAVIMENTO): RAYA CENTRAL BLANCA Y RAYAS LATERALES EXTERIORES CONTINUA COLOR BLANCO (EXTREMA DERECHA) Y AMARILLO (EXTREMA IZQUIERDA) REFLEJANTE BASE SOLVENTE DE 15 CM DE ANCHO

Se llevará a cabo el pintado de rayas, con un ancho de 15 cm, raya central blanca y rayas laterales exteriores continua color blanco (extrema derecha) y amarillo (extrema izquierda) reflejante base solvente.



Cuando se termine de pintar las rayas si existiera manchas de neumático, debido a que no había secado perfectamente y paso sobre ella un vehículo o le falta pintura el contratista tendrá la obligación de volver a pintar nuevamente las rayas y borrar la manchas que existan en la superficie de rodamiento, además, si las rayas presentan cualquier otra imperfección, deberán corregirse ó su medición no se cuantificará para su pago.

El contratista deberá entregar certificados de calidad del fabricante, asimismo deberá efectuar y entregar verificación de calidad ejecutadas por un laboratorio estrictamente distinto al fabricante, de pintura, micro esfera, vialetas, botones, y demás materiales a utilizar en la ejecución de los trabajos de este contrato, antes de iniciar los trabajos de preferencia, pues, de no cumplir con la calidad, el Residente optará por remover, exigir el cumplimiento de acuerdo a la normatividad, deducir importes correspondientes ó no aceptar los trabajos y aplicar las sanciones en apego al contrato de la obra (si se pretendiera utilizar de algún material dos o más fabricantes se tendrá efectuar la verificación de calidad para cada una de ellas).



ANEXO M

“Informe Fotográfico”

INFORME FOTOGRAFICO



*Carretera : Jalapa - Veracruz
Tramo: Jalapa - Cd. Cardel
Subtramo: km. 13+600 al km. 22+800*



Se observa la preparación del equipo FWD



Se observa la obtención de deflexiones con el equipo FWD



Se observa la obtención de deflexiones con el equipo FWD



Se observa la programación del equipo FWD

INFORME FOTOGRAFICO



*Carretera : Jalapa - Veracruz
Tramo: Jalapa - Cd. Cardel
Subtramo: km. 13+600 al km. 22+800*



Se observa en levantamiento de deterioros el estado físico de la carpeta asfáltica



Se distingue trabajos de conservación mal realizados, como este bache tapado de manera circular



Se observa a detalle el levantamiento de deterioros tales como la pérdida de agregado grueso y roderas



Se observa las grietas longitudinales y de piel de cocodrilo en la superficie de la carpeta asfáltica



INFORME FOTOGRAFICO



*Carretera: Jalapa - Veracruz
Tramo: Jalapa - Cd. Cardel
Subtramo: km. 13+600 al km. 22+800*



Se observa el levantamiento del IRI mediante Perfilómetro



Se observa el levantamiento del IRI mediante Perfilómetro



Se observa a detalle la configuración de los láseres



Se observa la programación del Perfilómetro Láser



INFORME FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

*Carretera : Jalapa - Veracruz
Tramo: Jalapa - Cd. Cardel
Subtramo: km. 13+500 al km. 22+800*



Se observa la realización de sondeos en la superficie del pavimento



Se observa la realización de sondeos en la superficie de la carretera



Se observa la medición de los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento



Se observa la realización de sondeos en la superficie del pavimento



INFORME FOTOGRAFICO



Carretera : Jalapa - Veracruz
Tramo: Jalapa - Cd. Cardel
Subtramo: km. 13+600 al km. 22+800



Se observa la programación del equipo DFT



Se observa la obtención de índice de fricción con el equipo DFT



Se observa la obtención de índice de fricción con el equipo DFT



Se observa la obtención de índice de fricción con el equipo DFT

