



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

### **TESIS:**

**APLICACIÓN DEL HDM-4 EN LA GESTIÓN DE LA  
CONSERVACIÓN DE LA CARRETERA JIQUILPAN-LIMITES DE  
MICHOACÁN Y JALISCO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA  
ING. ROGELIO ÁVILA CORREA**

**ASESOR DE TESIS  
DR. JORGE ALARCÓN IBARRA**

**MORELIA, MICH. NOVIEMBRE 2006**



**MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE  
EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES**

# **APLICACIÓN DEL HDM-4 EN LA GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE LA CARRETERA JIQUILPAN - LÍMITES DE MICHOACÁN Y JALISCO**

Autor:

*Ing. Rogelio Ávila Correa*

Tutor:

*Dr. Jorge Alarcón Ibarra*

Morelia, Mich., Noviembre de 2006

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A dios, por permitirme llegar a esta meta.*

*Quiero expresar mi agradecimiento y respeto a mi asesor y tutor, el Dr. Jorge Alarcón Ibarra, por haberme proporcionado sus grandes conocimientos, enseñanzas y sus importantes consejos, además de su valiosa guía, que me sirvieron para mi formación en la Maestría y que me permitieron mejorar como persona y también fue muy importante para la elaboración y culminación de este trabajo.*

*Agradezco al Ing. José Francisco Carrillo Ambriz, quien confió en mí, brindándome su gran apoyo, el cual fue muy importante para mi formación en la Maestría y hasta la terminación de este trabajo.*

*Agradezco al C. José de Jesús Oregel Cárdenas, por el apoyo que recibí y que también fue muy importante.*

*Deseo agradecer también al Dr. Carlos Chávez Negrete, al M.I. Julio A. Chávez Cárdenas, al M.I. Jaime Saavedra Rosales, al Dr. Hugo Hernández Barrios, al Dr. Luis Ochoa, al Dr. Julio C. Orantes Ávalos y a todos los demás maestros que nos proporcionaron su apoyo, sus conocimientos y sus consejos.*

*Agradezco también al Dr. Ricardo Solorio Murillo, al M.I. Roberto Israel Hernández y al Dr. Paúl Garnica Anguas, todos ellos del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por el gran apoyo recibido y sus valiosas sugerencias y comentarios para la realización de este trabajo.*

*Así mismo le agradezco también al C.P. Pedro Guillen Rivera por su apoyo.*

*Agradezco al Ing. Ignacio O. Hernández López y a todos mis compañeros por su amistad y apoyo durante las clases de la maestría.*

*Agradezco a mi madre Ma. del Carmen por su apoyo donde quiera que se encuentre.*

*Agradezco a mi esposa Celia por ser muy comprensiva y por su apoyo durante mi estancia en la Maestría.*

*Agradezco a mis hijos Fernando, María Guadalupe y José Andrés por ser los motores que me motivaron para llegar hasta este objetivo.*

# **GRACIAS**

## **ABSTRACT:**

The road infrastructure at the moment has a great importance in the development of any Country of the world, by her move the greater merchandise and passengers, which means that the highways foment or stop the socioeconomic growth of any region.

The conservation of the highways becomes, therefore, fundamental for the growth of Mexico, it is very important to count on management systems that allow to optimize the application technical and economic resources for maintain the infrastructure with good level, which, generates low costs of operation to the users.

In the present work the HDM-4 model is applied (Highway Development and Management Model) in the highway: Jiquilpan-Limits of Michoacán and Jalisco (San José of Gracia), as a section pilot, and evaluate the convenience of using this system in different highway networks from the State of Michoacán.

Also different systems from management are described that have been used and that are used at the moment for the conservation of highways in México and the World.

Also Integra the obtained data of the highway object of this work, and their present conditions, the park vehicular that it circulates her and the unitary prices of its consumptions; the costs of the works of conservation and in addition the general data obtained in the field and product to the results of the tests in the laboratory, which is necessary for the application of the HDM-4.

For the application of the HDM-4 was necessary to provide data that requires the program, following the steps until the execution of the analysis and obtaining of results, considering the effect of the deteriorations and the works of conservation, also was taken account the effect on the users of the highway and economic costs obtained.

Finally is present summary and the interpretation of results, as well as conclusions of this work and his possible application, they are very important to plan, to program, to budget, to execute and to verify the diverse actions of conservation that will be carried out during the period of considered analysis (2006-2020), and thus to elevate the service level and to diminish the costs of operation of the section pilot.

These results establish clearly the necessity that dependencies in charge to provide the conservation to the highways, manage and destine greater economic resources for conserve them in good state.

## RESUMEN:

La infraestructura vial tiene actualmente una gran importancia en el desarrollo de cualquier País del mundo, ya que por ella se desplazan la mayoría de las mercancías y pasajeros, lo cual significa que las carreteras fomentan o detienen el crecimiento socioeconómico de cualquier región.

La conservación de las carreteras se vuelve, por consiguiente, fundamental para el crecimiento de México, por esta razón es muy importante contar con sistemas de gestión que permitan optimizar la aplicación de recursos técnicos y económicos para mantener la infraestructura con buen nivel de servicio, lo cual, genere bajos costos de operación a los usuarios.

En el presente trabajo se aplica el modelo HDM-4 (Highway Development and Management Model) en la carretera: Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), como un tramo piloto para evaluar la conveniencia de utilizar este sistema en diferentes redes carreteras del Estado de Michoacán.

Así mismo se describen diferentes sistemas de gestión que han sido utilizados y que se están utilizando actualmente para la conservación de carreteras en México y el Mundo.

También se integra la información obtenida de la carretera objeto de este trabajo, como son sus condiciones actuales, el parque vehicular que circula por ella y los precios unitarios de sus insumos; los costos de los trabajos de conservación y además se integra la información general obtenida en el campo y producto de los resultados de los ensayos en el laboratorio, la cual es necesaria para la aplicación del HDM-4.

Para la aplicación del HDM-4 fue necesario suministrar una serie de datos que requiere el programa, además de seguir los pasos hasta la ejecución del análisis y obtención de resultados, considerando el efecto de los deterioros y de los trabajos de conservación, también se tomó en cuenta el efecto sobre los usuarios de la carretera y los costos económicos obtenidos.

Finalmente se presenta el resumen y la interpretación de los resultados, así como las conclusiones de este trabajo y su posible aplicación, ya que son muy importantes para planear, programar, presupuestar, ejecutar y verificar las diversas acciones de conservación que se llevarán a cabo durante el periodo de análisis considerado (2006-2020), y así elevar el nivel de servicio y disminuir los costos de operación del tramo piloto.

Estos resultados establecen claramente la necesidad de que las dependencias encargadas de proporcionar la conservación a las carreteras, gestionen y destinen mayores recursos económicos para conservarlas en buen estado.

# ÍNDICE

## I. INTRODUCCIÓN

1. Generalidades.....	1
2. Justificación.....	2
3. Objetivos y alcances.....	5

## II. SISTEMAS DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

1. Introducción.....	6
2. Sistemas de gestión utilizados en el mundo.....	9
3. Visión general del HDM-4.....	16
3.1. Antecedentes	
3.2. El papel del HDM-4 en la gestión de carreteras	
3.3. El ciclo de gestión	
3.4. Ciclos de las funciones de gestión	
3.5. Marco analítico del HDM-4	
3.6. Herramientas de análisis del HDM-4	
3.7. Módulos del HDM-4	
3.8. Datos necesarios para el HDM-4	

## III. INFORMACIÓN DE LA CARRETERA JIQUILPAN-LÍMITES DE MICHOACÁN Y JALISCO

1. Aspectos generales.....	35
2. Requerimientos del HDM-4.....	39
2.1. Características geométricas	
2.2. Determinación de las condiciones de la carretera	
2.3. Inventario visual	
2.4. Información complementaria	
2.5. Acciones y costos de conservación	

## IV. APLICACIÓN DEL HDM-4

1. Método de análisis.....	72
2. Procedimiento del análisis por proyecto.....	74
3. Aplicación del HDM-4 en la carr. Jiquilpan-Lím. de Mich. y Jalisco.....	75
3.1. Definición de los detalles del proyecto	
3.2. Especificación de alternativas	
3.3. Analizar el proyecto	

3.4. Generación de informes	
4. Análisis de resultados.....	117
4.1. Efectos de los deterioros y de los trabajos	
4.2. Efectos sobre los usuarios de la carretera	
4.3. Flujo de costos	
4.4. Resumen de resultados	
V. CONCLUSIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

# I.- INTRODUCCIÓN

## 1.- GENERALIDADES

Las carreteras se definen como una franja de terreno debidamente acondicionada por donde circulan vehículos que mueven personas y mercancías de un lugar a otro, actualmente en México son fundamentales para su desarrollo socioeconómico. El sistema carretero constituye el modo de transporte más importante, ya que es la base de toda la infraestructura del transporte en nuestro país. En este sistema intervienen principalmente 3 elementos: el usuario, el vehículo y la carretera.

Existen diversos factores que influyen en el desarrollo económico de un país como son el incremento económico en los ingresos de la población, los servicios de salud, educación, vivienda, electrificación, agua potable, alcantarillado y todo lo relacionado con la infraestructura de obras de servicio a la gente; de todos estos factores que impactan en el desarrollo de un país existe una base o parte medular muy importante sobre la cual giran y se desarrollan estos factores, la cual se llama transporte.

De las características que posea el transporte, va a depender el comportamiento económico, social, político y cultural para una determinada región, el estado de Michoacán o para el País; así como también el intercambio tecnológico y comercial entre los habitantes que se encuentran en las diversas regiones del país, además el transporte influye de forma decisiva en el desarrollo de una zona, ya que impulsa su incorporación al desarrollo económico del país.

La conformación y crecimiento de la infraestructura carretera sobre el territorio nacional, es un factor estratégico y básico para su desarrollo económico y social, para la producción de bienes y servicios, así como para su distribución en los mercados. El crecimiento económico del país depende en gran parte de una infraestructura carretera suficiente, eficiente y también moderna, para elevar la calidad de vida en la población.

Las obras de conservación, construcción y modernización son muy importantes para que las redes de carreteras funcionen adecuadamente y formen una infraestructura capaz de promover el crecimiento, integración y desarrollo de las regiones del país. Actualmente no existe un control sobre los vehículos pesados que exceden los límites de carga de acuerdo a la NOM-012-SCT-2-1995 y que circulan por algunas carreteras que fueron diseñadas para una cierta capacidad de carga y debido a la acción de estas sobrecargas en los vehículos, se producen rápidamente deterioros en los pavimentos.

## 2.- JUSTIFICACIÓN

Actualmente existe una problemática social en donde los usuarios de las carreteras enfrentan diversas dificultades, como son la incomodidad, inseguridad, y altos costos de operación al circular con sus vehículos por estas, ya que las utiliza diariamente para trasladarse y realizar sus diversas actividades comerciales, sociales, culturales, económicas, recreativas, etc.

El usuario al ir transitando por una carretera lo primero que observa es el estado en el cual se encuentra la superficie de rodamiento, ya que las fallas de tipo funcional de un pavimento y el mal señalamiento es lo primero que percibe, dándose cuenta inmediatamente si la carretera está prestando buen servicio o no.

Dada la importancia que tienen las carreteras para toda la población, es necesario mantenerlas o conservarlas en buen estado y para esto es necesario implantar un sistema de gestión de la conservación de carreteras como el HDM-4 (Highway Design and Maintenance Model), y obtener elementos de planeación y así llevar a cabo los diferentes trabajos de conservación de acuerdo con las necesidades específicas de cada carretera; los cuales los realizan las dependencias de los Estados y de la Federación.

Con este trabajo de investigación se busca beneficiar a los usuarios y a la dependencia ejecutora (SCT), implantando un sistema de gestión para la conservación como es el HDM-4 y para ello se eligió como proyecto piloto la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), con lo cual se busca contribuir para que se realicen mejor los diversos trabajos de conservación con una planeación adecuada a corto, mediano y largo plazo y optimizar los materiales, los tiempos de ejecución de los trabajos y los recursos económicos, dando como resultado que el usuario transite con mayor seguridad, mayor comodidad, menores tiempos de recorrido y menores costos de operación de sus vehículos.

También con la elaboración de este trabajo se pretende implantar una metodología que sirva para realizar la gestión en la conservación de las carreteras en el Estado de Michoacán y poder así definir las necesidades presupuestarias con base en la auscultación de su estado físico y su nivel de deterioro, mediante la aplicación del HDM-4. Este trabajo de investigación también busca beneficiar a la sociedad en su conjunto, ya que al implantar un sistema de gestión se podrán obtener alternativas de conservación, en tiempo y costo, lo cual servirá para que las dependencias responsables gestionen los recursos económicos requeridos y puedan proporcionar una conservación efectiva y eficaz a las carreteras a corto, mediano y largo plazo, logrando aportar un gran impulso al desarrollo económico y social del Estado de Michoacán.

La escasez de los recursos económicos en la conservación de esta carretera no es más que un “ahorro ficticio”, que en un plazo muy corto debe ser compensado con grandes inversiones de recursos para su mantenimiento, ya que por cada peso ahorrado en el mantenimiento se gastarán 3 veces más en los costos de rehabilitación y reconstrucción y 12 veces más en los costos de operación vehicular que deberán pagar los usuarios (Consejo de dir.,2002). Lo anterior se refleja esquemáticamente en la figura 1.

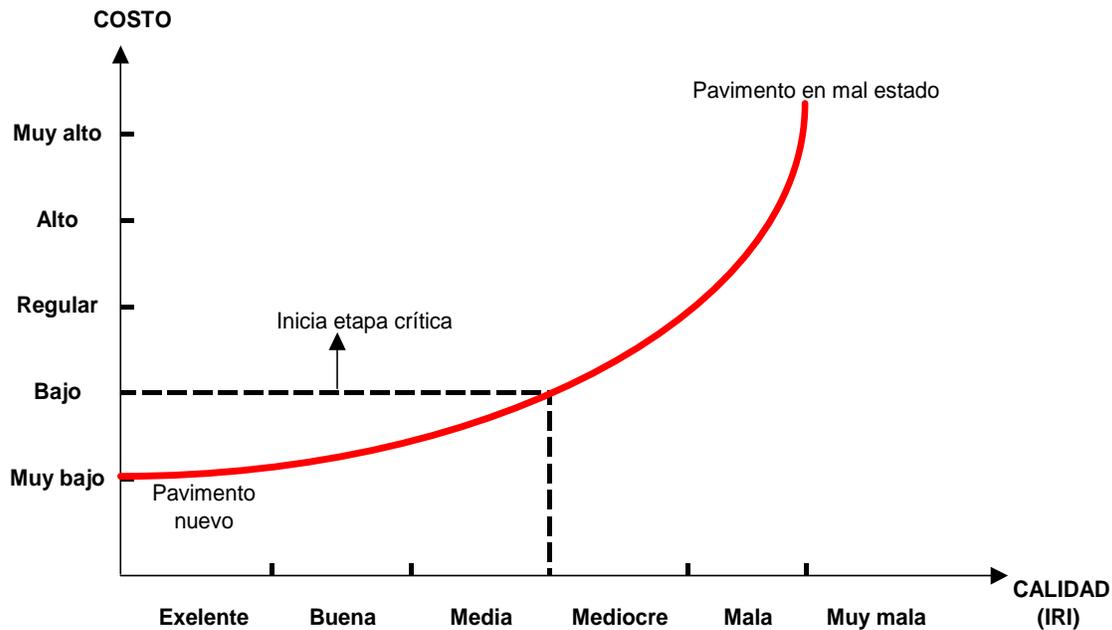


Figura 1. Variación de los costos con el estado de deterioro del pavimento (Fuente: Elaboración propia con modelo de Kraemer, 2003)

La conservación de las carreteras es de gran importancia, ya que si no se atienden sus rezagos, se irán deteriorando aún más, debido a diferentes factores como son el tránsito, los factores climatológicos, el tiempo, calidad de los materiales de construcción, etc; dando como resultado que los usuarios tengan que pagar más en sus costos de operación, como son: reparaciones de sus vehículos, compra de llantas en menos tiempo, mayores tiempos de recorrido, mayor consumo de combustible, incomodidad en los viajes y menos seguridad al transitar por ellas (Albrecht G., 2004).

Actualmente las dependencias o instituciones que se encargan de realizar la conservación en las carreteras que tiene bajo su jurisdicción el Gobierno del Estado de Michoacán, no se utiliza ningún sistema de evaluación o de gestión que sirva de base para priorizar la asignación de recursos y pueda informar sobre el estado de deterioro en el cual se encuentran las carreteras. Además no existe una base de datos que oriente a las dependencias ejecutoras sobre el estado real de la red de carreteras que tiene bajo su jurisdicción, limitando con esto la aplicación de los trabajos que debieran ser aplicados para su conservación.

Es por todo esto, que la aplicación del HDM-4 en la carretera piloto Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco servirá de base para implantar esta metodología en parte o en toda la red carretera que tiene bajo su jurisdicción el gobierno del Estado de Michoacán. En la figura 2 se observa la diferencia que existe entre aplicar acciones planeadas de conservación y los ahorros que produce y el caso contrario cuando no se aplican estas acciones.

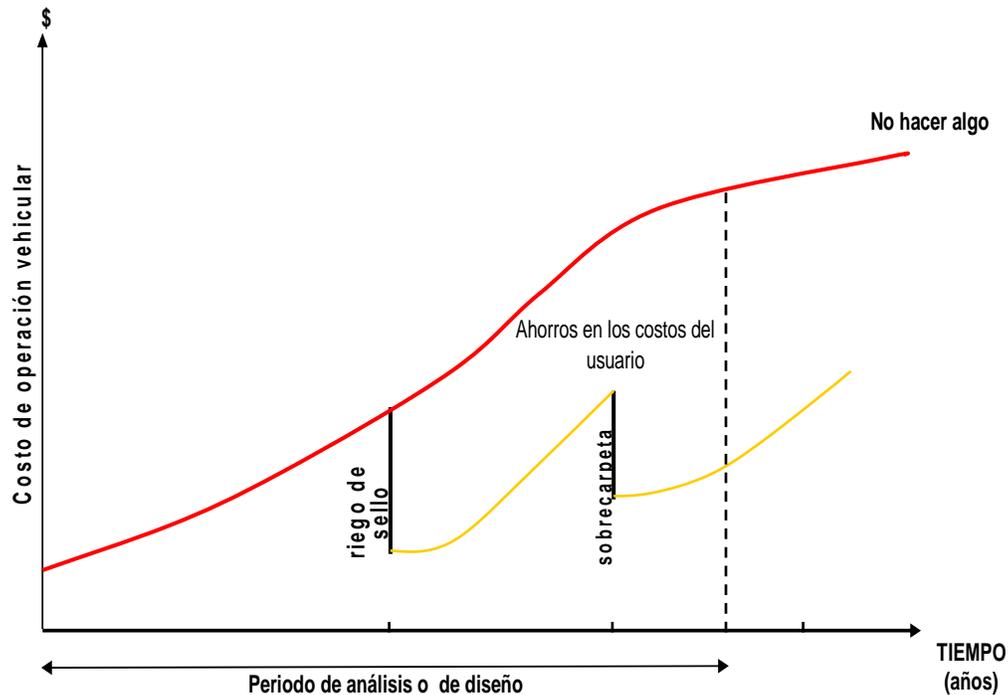


Figura 2. Ahorros en los costos de operación en la vida de un camino (Fuente: Elaboración propia con modelo de Albrecht, 2004)

Una gran parte de las carreteras que se encuentran bajo la jurisdicción del gobierno del Estado de Michoacán, están deterioradas a nivel superficie de rodamiento y en algunos casos también presentan deficiencia estructural, aunado al mal estado que guardan las obras de drenaje en algunas de ellas; esto, debido en gran medida a que estas vías fueron proyectadas y construidas ya hace muchos años y su vida de servicio útil ya está llegando a su límite.

Por todo lo anterior es de gran importancia la implantación de un sistema de gestión para la conservación de carreteras como es el HDM-4, que traerá los beneficios expuestos en los párrafos anteriores.

### 3.- OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo general del presente trabajo es aplicar el modelo HDM-4 en la carretera Jiquilpan–Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), como carretera piloto y poder obtener información que pueda ser aplicada para la conservación efectiva y eficaz de esta carretera en un tiempo determinado, así como también que pueda emplearse para analizar redes de carreteras y beneficiar a todos los usuarios y a la sociedad en su conjunto, al implantar un sistema de gestión y que además permita realizar la evaluación de alternativas de conservación, las cuales servirán de base para gestionar recursos para su aplicación en los trabajos de conservación que se requieren en cada carretera.

Los objetivos específicos de este trabajo de investigación en la aplicación del HDM-4 en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) son los siguientes:

- ❖ Establecer un marco económico para decidir los niveles óptimos de aplicación de recursos en esta carretera.
- ❖ Predecir el estado de la carretera en un periodo de tiempo.
- ❖ Facilitar la preparación de los programas anuales de trabajos para su conservación.
- ❖ Definir los recursos económicos necesarios para su conservación en un periodo de tiempo.
- ❖ Optimizar el reparto de recursos económicos entre los diferentes trabajos de conservación.
- ❖ Permitir el control de la realización de los trabajos y la verificación de su eficacia.
- ❖ Servir de base para que se implante el sistema y la metodología en la red de carreteras que tiene bajo su jurisdicción el Gobierno del Estado de Michoacán.

Además, se pueden mencionar algunos beneficios que tendrán los usuarios de esta carretera una vez que se hayan ejecutado los trabajos de conservación elegidos, los cuales se mencionan enseguida:

- ❖ Disminución de los costos de operación vehicular.
- ❖ Proporcionar seguridad y comodidad en la superficie de rodamiento.
- ❖ Menores tiempos de recorrido.
- ❖ Menor riesgo de accidentes.

Así mismo con los resultados de este trabajo se pretende dar a conocer al público en general y específicamente a las dependencias ejecutoras de la importancia que tiene el invertir de manera efectiva y eficaz en la conservación de carreteras, ya que los ahorros de recursos económicos en los usuarios al transitarlas y en las dependencias para su conservación a mediano y a largo plazo serán importantes.

## II.- SISTEMAS DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

### 1.- INTRODUCCIÓN

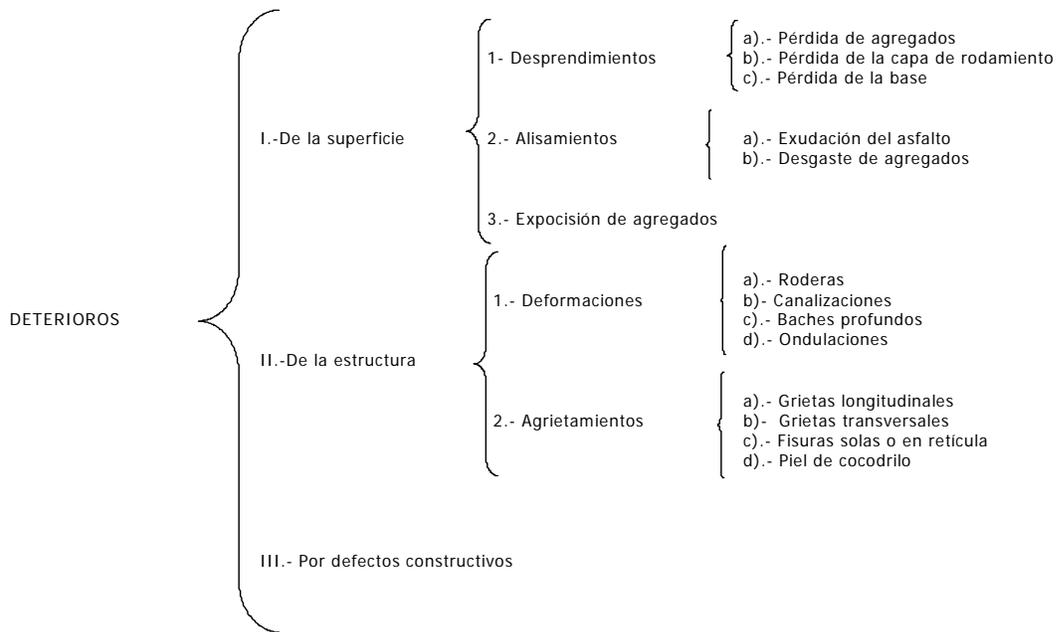
**A**ctualmente en las carreteras se presentan algunos problemas de tipo funcional, estructural, existencia de puntos conflictivos que provocan accidentes y también algunas deficiencias en las obras de drenaje y subdrenaje.

Algunos de estos problemas son provocados por diversos factores, como son el crecimiento del parque vehicular; el alto Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), debido al alto porcentaje de vehículos pesados que circulan por las carreteras, factores climáticos, calidad de los materiales, etc. Estos factores causan bajo nivel de servicio, altos costos de operación y en algunos casos accidentes y congestión. También existen otros problemas en las carreteras que afectan su vida útil de servicio, como son:

- a).-Pavimentos antiguos que han llegado al fin de su vida útil.
- b).-Diseños inadecuados, en cuanto a espesores y calidad en los materiales.
- c).-Procedimientos constructivos y de control de calidad inadecuados o deficientes.
- d).-Conservación inadecuada y escasa.

Es necesario atender y corregir estos deterioros mediante labores de mantenimiento o conservación, ya que los pavimentos pueden sufrir mayores deterioros graduales haciendo más costosas las reparaciones e incrementándose los costos de operación de los vehículos que tienen que pagar los usuarios.

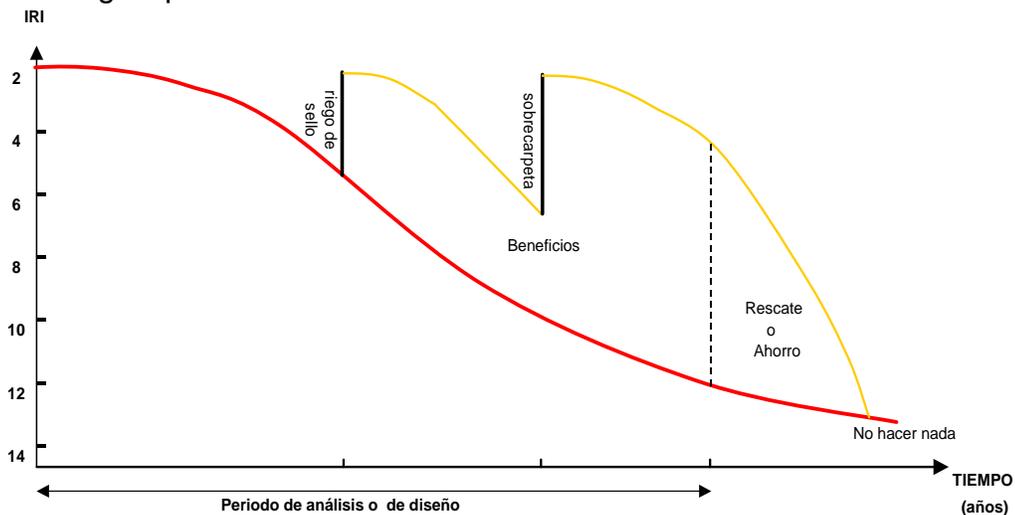
En la figura 3 se muestran los tipos de deterioros que se presentan actualmente en las carreteras según el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, a nivel internacional y la SCT, a nivel nacional.



**Figura 3.** Tipos de deterioros que se presentan en carreteras según la SCT y el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica.

En total se tratan 15 deterioros, cada uno en su ficha técnica individual, y que se consideran en los propuestos y realizados por España, Chile, Nicaragua y México. Cada ficha técnica incluye el nombre del deterioro con el grupo y subgrupo en el que se ha clasificado; la descripción del deterioro; una forma propuesta para su evaluación; los trabajos típicos de corrección asociados a las fronteras establecidas en la evaluación y finalmente, las causas mas comunes que dan origen al deterioro descrito.

Es muy importante aplicar acciones de conservación para corregir estos deterioros que se presentan en las carreteras. En la figura 4 se muestran los beneficios de aplicar estrategias para la conservación de las carreteras.



**Figura 4.** Beneficios de aplicar una estrategia de conservación en la vida de servicio de un camino (Fuente: Elaboración propia con modelo de Albrecht, 2004)

La normativa aplicable en los trabajos de conservación que se realizan en las carreteras de México son:

A nivel federal:

- ❖ Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- ❖ Normas para construcción e instalaciones emitidas por la SCT.
- ❖ Reglamento sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
- ❖ Ley General de Asentamientos Humanos.
- ❖ Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.
- ❖ Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.

En el Estado de Michoacán:

- ❖ Constitución Política del Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Normas para construcción e instalaciones emitidas por la SCT.
- ❖ Ley de Planeación del Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Ley de desarrollo Urbano del Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Ley de Comunicaciones y Transportes para el Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Ley de Obras Públicas del Estado de Michoacán de Ocampo.
- ❖ Reglamento de Construcciones para el Estado de Michoacán de Ocampo.

## 2.- SISTEMAS DE GESTIÓN UTILIZADOS EN EL MUNDO

Las carreteras se deterioran debido a varios factores y es necesario mantenerlas o conservarlas, para lo cual se destina una inversión de recursos que hay que optimizar y para ello se utilizan los sistemas de gestión (Videla C., 2002).

La gestión es la determinación a corto, mediano y largo plazo de las acciones a realizar y la oportunidad de su aplicación, con el fin de tener la red de carreteras en condiciones preestablecidas (Bull A., 2002). Las formas de gestión que pueden utilizarse para alcanzar los resultados preestablecidos son:

- ❖ Administración.
- ❖ Contratos a precios unitarios.
- ❖ Contratos por niveles de servicios.
- ❖ Concesión.

Los organismos que están a cargo de la gestión, por ejemplo para la gestión general se utilizan a los organismos viales y para la gestión específica se emplean a contratistas y a los propios organismos viales. Dentro de un sistema de gestión intervienen la carretera, el usuario y el financiamiento.

Es evidente que las necesidades de conservación en una red de carreteras es muy superior a los recursos presupuestales destinados para este propósito y se ha demostrado que lo que aportan las carreteras a la economía de una región es muy superior en términos económicos a los recursos que son destinados para el mantenimiento de esas mismas carreteras (Consejo de dir., 2002).

La gestión adecuada de una red de carreteras, exige que se tenga un conocimiento detallado de ellas y de los elementos que las componen, ya que son objeto de la conservación; por lo cual es necesario realizar los inventarios (Consejo de dir., 2002). El mantenimiento o conservación es una actividad que se realiza con el propósito de mantener en buen estado a las carreteras para que presten el servicio para el cual fueron construidas.

Actualmente a nivel mundial la inversión de recursos económicos que se destina para la conservación de carreteras son escasos, como lo muestra la figura 5.

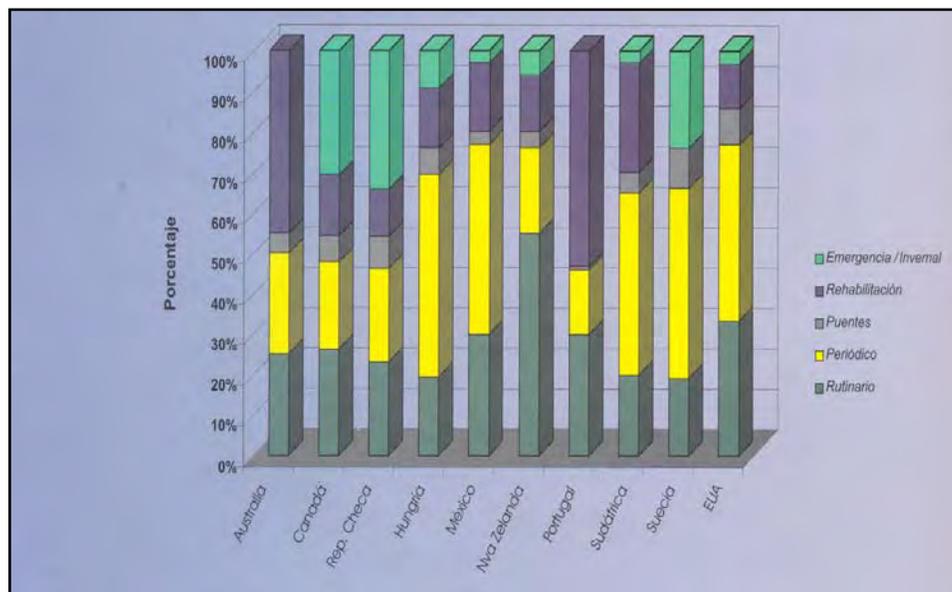


Figura 5. Asignación de recursos económicos para la conservación de carreteras en algunos países. (Fuente: Boletín informativo No. 21 de la AMIVTAC, 2004).

A nivel mundial, a partir de la década de los años 70's y en algunos países empezó a tomar importancia la implantación de sistemas de gestión para la conservación de las carreteras (Consejo de dir., 2002). En la 3ª Reunión de países adjuntos al consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, celebrada en Río de Janeiro, Brasil en 1997, considera que (Consejo de dir., 2002):

- ❖ En relación al estado de conservación de las redes viales nacionales, es la inspección visual obviamente el primer modo de evaluación, aún cuando la tendencia, en la casi totalidad de los países integrantes, es a apoyarse en instrumental técnico para efectuar dicha evaluación.
- ❖ Asimismo, la forma en que los países categorizan el estado de conservación de sus redes de carreteras en bueno, regular o malo, si bien es cierto tienden a considerar similares elementos, difieren en la ponderación que se da a los mismos, tal vez principalmente por la introducción en el análisis de la variable presupuestaria.
- ❖ Aún dadas las restricciones anteriormente indicadas, puede señalarse que las redes carreteras de Iberia e Iberoamérica están muy por debajo de los estándares que se requiere para contribuir al desarrollo socioeconómico de cada país, considerando las clasificaciones del estado de conservación de carreteras hecho por cada país, se estima que menos de un tercio de la red de mayor tráfico vehicular, en Iberia e Iberoamérica, está en buenas condiciones de transitabilidad.

En la figura 6 se muestra el estado físico que tenían las redes troncales de carreteras en algunos países, durante el año 2004.

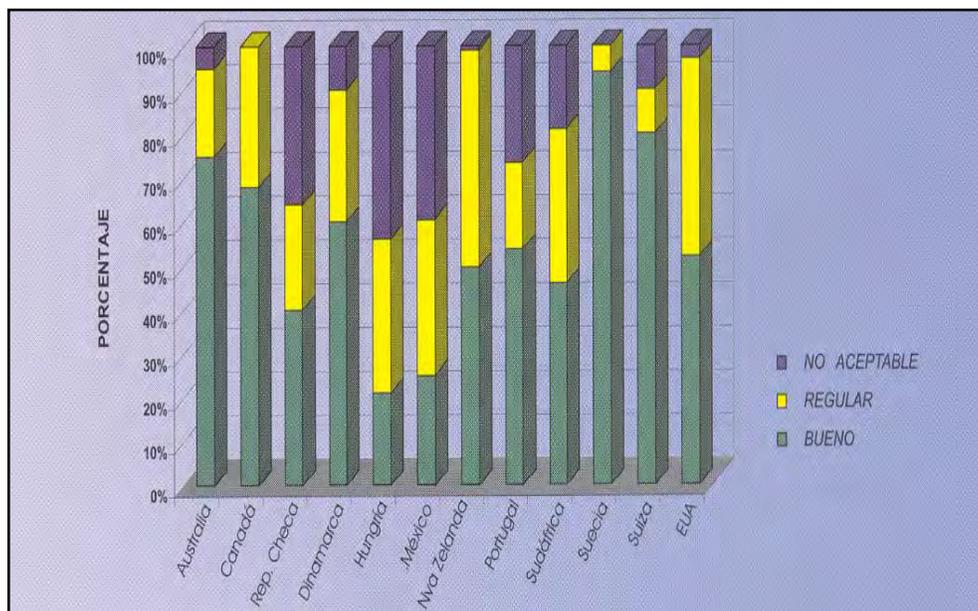


Figura 6. Estado físico de las redes carreteras de algunos países durante el 2004. (Fuente: Boletín informativo No. 21 de la AMIVTAC, 2004).

En lo que se refiere a los sistemas de gestión para la conservación de carreteras, tenemos que:

- ❖ En Iberia e Iberoamérica se constata la existencia de, básicamente, seis modalidades de gestión de la conservación de carreteras, cada una de particulares características, de acuerdo a lo siguiente:
  - ❖ Administración directa por las agencias o dependencias públicas.
  - ❖ Contratación con empresas privadas por obra (contrato tradicional).
  - ❖ Contratación con empresas privadas mediante contratos por mantenimiento de redes viales (contratos globales).
  - ❖ Contratos con empresas privadas por resultados respecto de estándares (contratos por niveles de servicio).
  - ❖ Contratos con pequeñas empresas privadas (contratos con microempresas).
  - ❖ Contratos mediante concesiones con empresas privadas.
  
- ❖ Se observa una tendencia clara para reemplazar la administración directa por los contratos con empresas privadas, mediante contratos tradicionales, y posteriormente con la modalidad de contratos globales, por niveles de servicio y con microempresas, buscando superar las restricciones en la contratación de personal para la conservación de carreteras por parte de las dependencias públicas.
- ❖ Son cada vez más los países que están implantando el mantenimiento o conservación de carreteras por concesiones con empresas privadas, quienes financian no sólo la conservación, sino también la construcción de obras nuevas, ampliaciones y mejoramientos de las carreteras existentes.

En el proceso de la planificación de la conservación de carreteras de cada país, se utilizan procedimientos y modelos similares (por ejemplo, HDM-4 y EBM), así mismo algunos países han desarrollado modelos o sistemas alternativos, que responden en mejor forma a sus particularidades (Consejo de dir., 2002). A través del tiempo se han desarrollado a nivel mundial un gran número de modelos de gestión que cumplen con el principal objetivo de optimizar los recursos disponibles y a continuación se enuncian algunos de estos sistemas para planificar la conservación de carreteras:

**Particulares:**

SGP-DNER	Sistema de Gestión de Pavimentos (Brasil)
GIMPh	(Chile)
VIZIR	(Costa Rica)
SPRMO	Sistema Presupuestario para Reparación y Mantenimiento de Obras (Cuba)
SICC	Sistema Integral de Conservación de Carreteras (México)
SIAMV	Sistema de Administración del Mantenimiento Vial (El Salvador)
SAM	Sistema de Administración del Mantenimiento (Bolivia)
SGC	Sistema de Gestión de Conservación (Portugal)
SAPCOL	Sistema de Administración de Pavimentos (Colombia)
ORAGE	(Francia)
SISTER	(Francia)
MAGICA	(España)
SAMI	(Israel)

**Generalizados:**

HDM - 4	Highway Design and Maintenance Model
EBM	Expenditure Budgeting Model

El SISTER es un modelo francés que se ha utilizado en la red federal de carreteras libres de peaje en México desde 1993 y además del empleo del HDM-4 a partir del año 2002.

## Desarrollo de los sistemas de gestión en México.

A partir de la década de los 90's, en México la conservación de la red federal de carreteras libres de peaje estaba bajo la responsabilidad de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), quienes implantaron diversos sistemas de gestión de mantenimiento, tanto para tramos carreteros como para puentes (SCT, Infr. carr., 2005). Las herramientas de gestión o sistemas de planificación del mantenimiento que se han utilizado en México son:

- ❖ SICC (Sistema integral de conservación de carreteras)
  - a).- SISTER (Sistema de simulación de mantenimiento carretero)
  - b).- SIPUMEX (Sistema de puentes de México)
  - c).- SIMAP (Sistema de administración de pavimentos fase I y II)
- ❖ SEP (Sistema de evaluación de pavimentos I y II)
- ❖ HDM-4 (Highway Design and Maintenance Model)

En México el sistema de planificación del mantenimiento se cristalizó en un Sistema Integral para la Conservación de Carreteras (SICC), conformado por tres subsistemas (SCT, Infr. carr., 2005). Primero surgió el SISTER, que es un sistema para el mantenimiento de carreteras, el cual se describe a continuación:

a).- SISTER o Sistema de Simulación de Mantenimiento Carretero.

Desde 1993 la SCT formula e integra su programa de conservación de carreteras de la red federal con base en el SISTER, el cual permite describir las estrategias de mantenimiento, observar la evolución de la red y proporcionar todos los resultados económico-financieros necesarios para evaluar dichas estrategias. Asimismo, este programa permite definir en forma simultánea los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de la carretera, tanto estructuralmente como de la superficie, estableciéndose así la secuencia de los trabajos y la evolución del estado de la red.

El SISTER permite simular el comportamiento de la red federal carretera al final de un horizonte de planeación, regularmente de 15 años, obteniendo los kilómetros de carreteras que se tendrán en estado bueno, regular, malo y pésimo, así como los costos de los usuarios al transitar por las carreteras, según el estado físico de la red. Además, entrega una relación de tramos a conservar o rehabilitar, clasificados en los rubros: “conservación rutinaria”, “conservación periódica” y “rehabilitación y reconstrucción”, proporcionando para cada uno de ellos el presupuesto y la meta de cada rubro (Rico Rodríguez, et al, 2002). También se puso en marcha otro subsistema usado para la gestión de puentes, llamado SIPUMEX.

b).- SIPUMEX o Sistema de Puentes de México.

Para jerarquizar los trabajos de reparación de puentes se utiliza el sistema SIPUMEX, el cual está basado en inspecciones rutinarias y especiales a los puentes, así como en la evaluación de la capacidad de carga de los mismos. Los objetivos básicos de este sistema son: mantener la seguridad del tránsito, usar los recursos de la manera más eficiente y económica, y satisfacer las necesidades del usuario. Se arrancó también un sistema de administración de pavimentos, conocido como SIMAP (Rico Rodríguez, et al, 1990).

c).- SIMAP o Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

Este sistema nace ante la constatación de que los sistemas utilizados en los países desarrollados están calibrados para reaccionar ante la evolución superficial del pavimento (falla funcional), a diferencia de la realidad de los pavimentos mexicanos, que tienen fallas generalmente en las capas inferiores a la carpeta asfáltica (falla estructural), y permite apoyar la toma de decisiones en torno al mantenimiento carretero (conservación, refuerzo y en su caso reconstrucción), según la condición física, estructural y de servicio de la red carretera federal.

En virtud de lo anterior, durante el año de 1990, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) se dedicó a desarrollar lo que se llamó la primera fase del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), para la conservación de carreteras, y la parte conceptual que fue publicada por primera vez en el documento técnico No. 3 del IMT.

En el transcurso del año de 1993, el IMT se abocó a desarrollar el módulo económico que contempló tanto la parte teórica como el manual del usuario, involucrando principalmente los costos de operación de los usuarios, correspondientes a la flota vehicular de carga que circulaba por el país en la red federal de carreteras. El desarrollo de este módulo económico y su manual del usuario, se publicó en el documento técnico No 9 del IMT.

La segunda fase del SIMAP, desarrollada durante 1995, contempló ciertas modificaciones que pretendían hacer más eficiente el sistema original y a la vez más sencillo para el manejo cotidiano de los usuarios en sus centros de trabajo, modificaciones que involucran, entre otras, las coordenadas geográficas para ubicación de los tramos en estudio, la inclusión del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como medida cuantificable del estado real de la superficie de rodamiento de la carretera (Rico Rodríguez et al, 2002).

Desde sus inicios en 1990 y hasta 1997, el IMT decidió, junto con la SCT, realizar una aplicación real del sistema a nivel macro y se tomó la determinación de estudiar toda la red federal de carreteras del estado de Puebla, que cubrió aproximadamente 1,300 km de evaluación detallada y diagnóstico para fines de jerarquización y priorización de las acciones de conservación y sus presupuestos económicos en los siguientes años para el citado Estado de Puebla.

Tomando en cuenta la experiencia sobre sistemas de administración de pavimentos de otros países, en donde en muchos de ellos es necesario recurrir a los préstamos internacionales de recursos para ser aplicados a la conservación de carreteras desde hace 10 años a la fecha y es similar en México con el empleo del SIMAP, y se ha observado que estos sistemas deben ser “dinámicos”. Por lo anterior, durante el año 2000, técnicos de la SCT e investigadores del IMT, empiezan a cuestionarse sobre la conveniencia de modernizar y actualizar las fases I y II previas del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP).

Adicionalmente, debido a los resultados obtenidos en el caso del estudio de la red federal del Estado de Puebla (1,300 km) y principalmente a los problemas detectados tanto en la evaluación como en el diagnóstico e implantación del sistema, se tomó la decisión de rediseñar el sistema vigente; por lo cual en el año 2002 el IMT propone el Sistema de Evaluación de Pavimentos (SEP versión 1) y en el año 2004 propone el SEP versión 2 (Orozco y Orozco J.M. et al, 2004).

En México, en el año 2003 la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la Secretaría de Comunicaciones y transportes (SCT) inició la implantación del HDM-4 en la red federal de carreteras del estado de Morelos, como un programa piloto y a partir de finales del 2005 y principios del 2006 se está iniciando su aplicación en las carreteras de la red federal libres de peaje como son las carreteras: México-Acapulco, México-Puebla, México-Querétaro y un tramo de la México-Toluca.

### 3.- VISIÓN GENERAL DEL HDM-4

#### 3.1.- Antecedentes

El primer paso para producir un modelo de evaluación de proyectos de carreteras lo dió en 1968 el Banco Mundial y el primer modelo se produjo como respuesta a los términos de referencia para un estudio de diseño de carreteras producido por el Banco Mundial conjuntamente con el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) y el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

Posteriormente, el Banco Mundial encargó al Massachusetts Institute of Technology (MIT) la realización de un estudio de la bibliografía existente y la construcción de un modelo basado en la información disponible. El modelo resultante fue el Highway Cost Model (HCM) producido por el MIT (The World Road Association, 2000), logrando un considerable avance sobre otros modelos utilizados para examinar las interacciones entre costos de las obras y costos de operación de vehículos.

El modelo HCM resaltaba las áreas donde era necesaria una mayor investigación para proporcionar un modelo que fuera más adecuado para entornos de países en desarrollo. Casi al mismo tiempo, el TRRL en colaboración con el Banco Mundial, llevó a cabo un importante estudio de campo en Kenya para investigar el deterioro de carreteras pavimentadas y no pavimentadas, así como los factores que afectan a los costos de operación de vehículos en un país en desarrollo.

Los resultados de este estudio fueron utilizados por el TRRL para producir la primera versión del Modelo de Inversión en Transporte por Carretera (Road Transport Investment Model (RTIM)) para países en desarrollo (The World Road Association, 2000). En 1976, el Banco Mundial financió nuevos desarrollos del HCM en el MIT produciéndose la primera versión del Modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras: "Highway Design and Maintenance Standards Model" (HDM-I) (The World Road Association, 2000). Otros trabajos adicionales fueron realizados en diversos países para ampliar el ámbito geográfico de los modelos RTIM y HDM:

- ❖ El estudio Caribe (Por TRRL): Investigaba los efectos de la geometría de carreteras en los costos de operación de vehículos (The World Road Association, 2000).
- ❖ Estudio India (Por el Central Road Research Institute: CRRI): Estudiaba problemas operativos particulares de las carreteras de la India, en términos de pavimentos estrechos y grandes proporciones de transporte no motorizado (The World Road Association, 2000).
- ❖ Estudio Brasil: Ampliaba la validez de todas las relaciones entre modelos (The World Road Association, 2000).

Los resultados de los estudios del TRRL se usaron para desarrollar el modelo RTIM2 (The World Road Association, 2000), mientras que el Banco Mundial desarrolló un modelo más completo que incorporaba lo averiguado en todos los estudios anteriores y esto condujo al HDM-II y posteriormente al HDM-III (The World Road Association, 2000). Ambos modelos fueron diseñados originalmente para operar en ordenadores centrales y a medida que la tecnología informática fue avanzando, la Universidad de Birmingham (The World Road Association, 2000) produjo una versión para microordenadores del RTIM2 para TRRL. Posteriormente, el Banco Mundial produjo HDM-PC, una versión para microordenadores de HDM-III (The World Road Association, 2000).

Se siguieron desarrollando ambos modelos y en 1993 el TRRL produjo el RTIM3 para ofrecer una versión del software fácil de usar, en forma de hoja de cálculo (The World Road Association, 2000), y en 1994, el Banco Mundial produjo dos versiones más de HDM:

- ❖ HDM-Q: Incorporaba los efectos de la congestión de tráfico en el programa HDM-III (The World Road Association, 2000).
- ❖ HDM Manager: Proporcionaba una interfaz de usuario a HDM-III (The World Road Association, 2000).

Se han utilizado ampliamente distintas versiones de los modelos en diversos países y que han sido fundamentales para justificar los cada vez mayores presupuestos de conservación y rehabilitación de carreteras en muchos de ellos.

Los modelos se utilizan para investigar la viabilidad económica de proyectos en más de 100 países y para optimizar los beneficios económicos de los usuarios de carreteras bajo diferentes niveles de inversión. También proporcionan avanzadas herramientas de análisis de inversiones en carreteras, con unas posibilidades de aplicación muy amplias en diversos climas y condiciones. Sin embargo, se reconoció la necesidad de un nuevo desarrollo fundamental de los distintos modelos para incorporar una gama más amplia de pavimentos y condiciones de uso e incorporar las prácticas y expectativas informáticas más modernas.

Las relaciones técnicas contenidas en los modelos RTIM3 y HDM-III tenían más de 10 años de antigüedad en el año 1995 y aunque muchos modelos de deterioro de carreteras eran todavía válidos, existía la necesidad de incorporar los resultados de las muchas investigaciones realizadas en todo el mundo en ese período.

En el caso de costos de operación de vehículos, se reconocía que la tecnología de éstos había mejorado mucho desde 1980, por lo cual, los costos típicos de operación podrían ser bastante menores que los obtenidos en las predicciones de los modelos RTIM3 y HDM-III; por lo tanto, era necesario actualizar las relaciones técnicas para reflejar los últimos avances.

El modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras (Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III)), desarrollado por el Banco Mundial, se viene usando desde hace más de dos décadas para combinar la evaluación técnica y económica de proyectos, preparar programas de inversión y analizar estrategias de redes de carreteras (The World Road Association, 2000).

El Estudio internacional del desarrollo y gestión de carreteras (International Study of Highway Development and Management, ISOHDM) ha sido realizado para ampliar el ámbito del modelo HDM-III y para armonizar los sistemas de gestión de carreteras, con herramientas de software adaptables y fáciles de usar. Esto ha dado como resultado la Herramienta de desarrollo y gestión de carreteras: HDM-4 (Highway Development and Management Tool).

Además aunque muchas aplicaciones de los distintos modelos se habían utilizado en países en desarrollo, en los últimos años muchos países industrializados comenzaron a utilizar este modelo y esto hacía que fuera necesario incluir funciones adicionales como, por ejemplo, modelos que incluyan efectos de la congestión de tráfico, efectos de climas fríos, una gama más amplia de pavimentos y estructuras, seguridad vial, efectos medioambientales (consumo de energía, ruido del tráfico y emisiones de vehículos). El marco de estos antecedentes sirvió de referencia para el desarrollo de HDM-4.

El uso del HDM-4 se ha ampliado considerablemente, superando las evaluaciones tradicionales de los proyectos, proporcionando un potente sistema para el análisis de la gestión de carreteras y de las alternativas de inversión.

### **3.2.- El papel del HDM-4 en la gestión de carreteras.**

Al considerar las aplicaciones del HDM-4, es necesario contemplar el proceso de gestión de carreteras en cuanto a las siguientes funciones (PIARC, 2000):

- a).- Planificación.
- b).- Programación.
- c).- Preparación.
- d).- Operaciones.

Cada una de estas funciones se realiza como una secuencia de actividades conocidas como el ciclo de gestión y a continuación se hace una descripción de cada una de las funciones de gestión:

#### **a).- Planificación.**

La planificación comprende el análisis del sistema de carreteras en su conjunto y requiere la preparación de presupuestos a medio y largo plazo o estratégicos, de estimaciones de gastos para desarrollo y conservación de carreteras bajo diferentes supuestos económicos y presupuestarios. Se pueden hacer previsiones de las condiciones de redes de carreteras bajo diversos niveles de financiación en términos de indicadores clave, junto con previsiones de los gastos necesarios bajo partidas presupuestarias definidas.

En la etapa de planificación, el sistema físico de carreteras normalmente se encuentra definida por sus características, agrupadas en varias categorías y definidas por parámetros como: clase o jerarquía de la carretera, cargas, congestión de tráfico, tipos de pavimento, estado del pavimento, longitud de la carretera en cada categoría y características del parque de vehículos que utiliza la red. Los resultados de la planificación son importantes para las dependencias, ya sea en el ámbito político como en el profesional y este trabajo lo realiza una unidad de planificación.

#### **b).-Programación.**

La programación comprende la preparación, bajo restricciones presupuestarias, de programas de gastos y obras de varios años, en los que se seleccionan y analizan tramos de la red que necesitarán conservación, mejora o nueva construcción. Debe realizarse un análisis de costos-beneficios para determinar la viabilidad económica de cada conjunto de obras.

En la fase de programación, la red de carreteras se considera de itinerario a itinerario, con cada uno de ellos caracterizado por tramos de pavimento homogéneo y definido en términos de atributos físicos. La actividad de programación produce estimaciones de gasto para cada año, bajo partidas presupuestarias definidas, para diferentes tipos de obras y para cada tramo de carreteras.

Los presupuestos casi siempre son limitados y uno de los aspectos clave de la programación es asignar prioridades a las obras para utilizar de forma óptima el presupuesto limitado. Las aplicaciones típicas son la preparación de un presupuesto para un programa de obras anual o plurianual en una red o subred de carreteras.

**c).- Preparación.**

Esta es la fase de planificación a corto plazo, donde los planes de carreteras aprobados se agrupan para realizarlos, se realizan los diseños y se preparan con más detalle; se hacen listas de cantidades de obra y costos detallados, junto con especificaciones para las obras y sus contratos.

Se deben realizar el análisis detallado de los costos y beneficios para confirmar la viabilidad del esquema final. Son actividades típicas de la preparación el diseño detallado de una definición de un refuerzo o de las obras de mejora de la carretera, por ejemplo, la construcción de un nuevo trazado, una ampliación de la carretera, una reconstrucción del pavimento, etc.

**d).- Operaciones.**

Estas actividades cubren la operación diaria de una dependencia gubernamental y las decisiones sobre la gestión de las operaciones se toman generalmente de forma diaria o semanal, incluyendo la programación de las obras a realizar, la supervisión de mano de obra, equipos y materiales, el registro de las obras finalizadas y el uso de esta información para supervisión y control.

Las actividades se centran normalmente en tramos o subtramos individuales de una carretera, haciéndose frecuentemente las mediciones con un nivel bastante detallado y en donde las operaciones las dirige personal subprofesional, como supervisores, técnicos, encargados y otros.

A medida que el proceso de gestión pasa de la planificación a operaciones, se producen cambios en los datos necesarios y el detalle de estos datos comienza como un resumen muy general, pero pasando progresivamente al nivel de detalle, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Cambio en los procesos de gestión (Fuente: The World Road Association, Volumen 1, 2000).

<b>Actividad</b>	<b>Horizonte temporal</b>	<b>Personal responsable</b>	<b>Cobertura espacial</b>	<b>Detalle de los datos</b>	<b>Modo de operación en ordenador</b>
Planificación	A largo plazo (estratégica)	Alta dirección y nivel de políticas	Toda la red	Muy general / resumen	Automático
Programación	Medio plazo (táctica)	Profesionales de nivel medio	Red o subred	↓	↓
Preparación	Año del presupuesto	Profesionales júnior	Nivel de esquema / tramos	↓	↓
Operaciones	Inmediato / muy corto plazo	Técnicos/ subprofesionales	Nivel de esquema/ subtramos	Fino / detallado	Interactivo

### 3.3.- El ciclo de gestión.

En muchos organismos encargados de conservar carreteras, los presupuestos y programas de las obras se preparan según una costumbre o una base histórica, donde el presupuesto de cada año se basa en el del año anterior, con un ajuste para la inflación y en estos casos no hay forma de saber si los niveles de financiación o la asignación detallada son adecuados o justos.

Existe la necesidad de una visión objetiva que se base en las necesidades del estado de las carreteras que se están gestionando y las funciones de planificación, programación, preparación y operaciones proporcionan un marco adecuado en el que pueda aplicarse un enfoque basado en las necesidades. (The World Road Association, 2000).

Para llevar a cabo cada una de estas cuatro funciones de gestión es necesario un análisis integrado del sistema y el ciclo proporciona una serie de pasos definidos que ayudan a tomar las decisiones en el proceso de gestión. El ciclo de gestión se realiza una vez al año o en un período presupuestario y en la figura 7 se aprecia como funciona en carreteras.

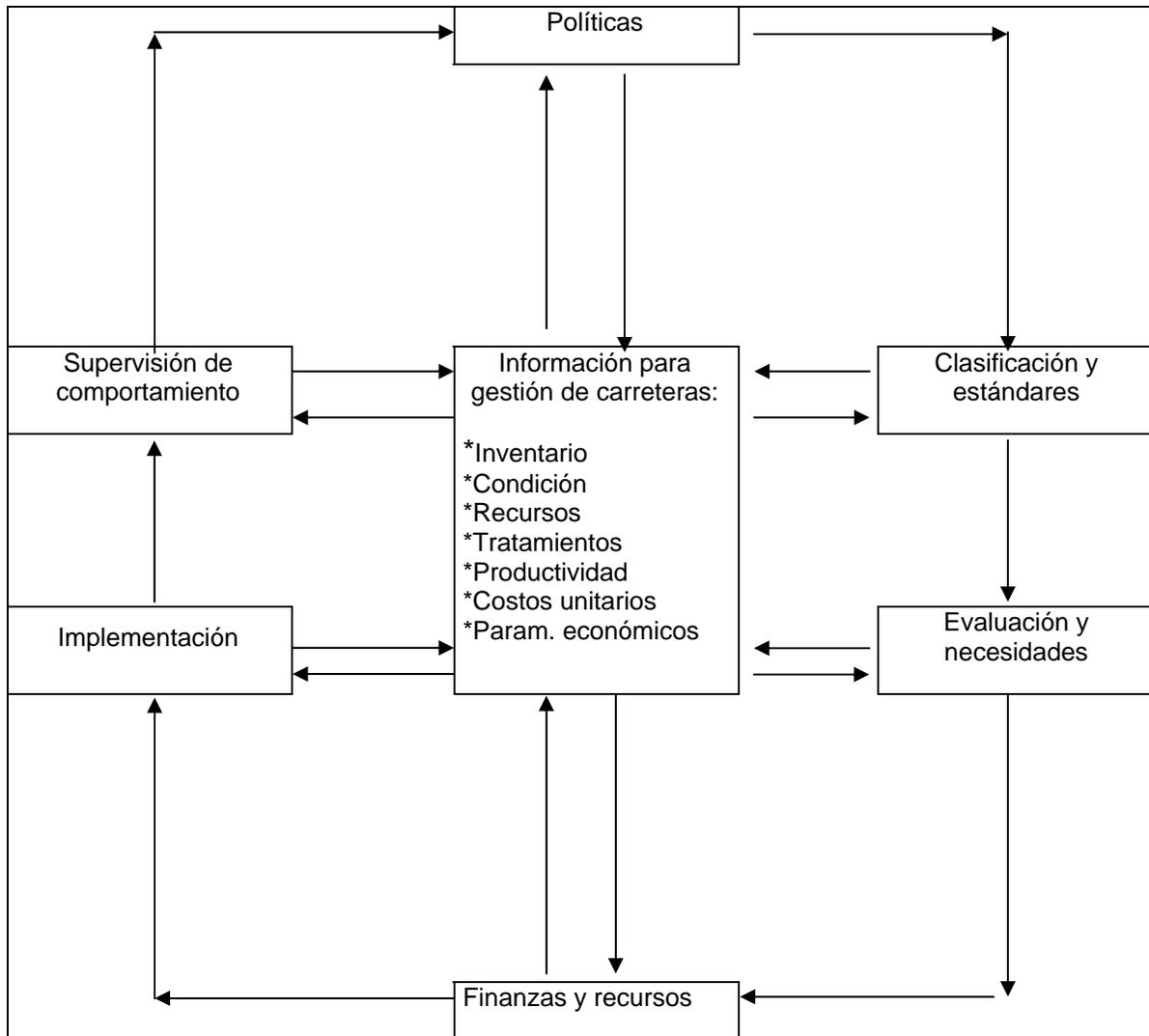


Figura 7. Ciclo de gestión de carreteras (Fuente: The World Road Association, Volumen 1, 2000).

### 3.4.- Ciclos de las funciones de gestión

El proceso de gestión de carreteras en su conjunto puede considerarse como un ciclo de actividades que se realizan dentro de cada una de las funciones de gestión: planificación, programación, preparación y operaciones. En la tabla 2 siguiente se describe este concepto y se proporciona el marco en el que HDM-4 satisface las necesidades de una organización de gestión de carreteras.

**Tabla 2.** Funciones de gestión y las aplicaciones de HDM-4 (Fuente: The World Road Association, Volumen 1, 2000).

FUNCIÓN DE GESTIÓN	DESCRIPCIONES COMUNES	APLICACIONES DE HDM-4
PLANIFICACIÓN	Sistema de análisis de estrategias	HDM-4:ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS
	Sistema de planificación de la red	
	Sistema de gestión del pavimento	
PROGRAMACIÓN	Sistema de análisis del programa	HDM-4:ANÁLISIS DEL PROGRAMA
	Sistema de gestión del pavimento	
	Sistema de presupuestario	
PREPARACIÓN	Sistema de análisis del proyecto	HDM-4:ANÁLISIS DEL PROYECTO
	Sistema de gestión del pavimento	
	Sistema de gestión de puentes	
	Sistema de diseño de ref. de pavimento	
	Sistema de contratación	
OPERACIONES	Sistema de gestión del proyecto	NO CUBIERTO POR HDM-4
	Sistema de gestión de la conservación	
	Sistema de gestión de equipos	
	Sistema de gestión financiera/contable	

### 3.5.- Marco analítico o análisis técnico del HDM-4.

El marco analítico o análisis técnico del HDM-4 se basa en el concepto del análisis del ciclo de vida del pavimento y se aplica para predecir el ciclo de vida de un pavimento de carreteras, que dura entre 15 y 40 años y utiliza varios modelos de comportamiento, como son:

- ❖ RD (Deterioro de la carretera): Predice el deterioro del pavimento en carreteras pavimentadas, de concreto y no pavimentadas.
- ❖ WE (Efecto de las obras): Simula los efectos de las obras en el estado del pavimento y determina los costos correspondientes.
- ❖ RUE (Efectos para los usuarios): Determina los costos de operación de vehículos, accidentes y tiempo de viaje.
- ❖ SEE (Efectos sociales y medioambient.): Determina efectos de las emisiones de los vehículos y el consumo de energía.

Las condiciones generales de un pavimento a largo plazo dependen de los estándares de conservación o mejora aplicados a la carretera y en donde las tendencias previstas en el comportamiento del pavimento se representan por la calidad de la superficie de rodamiento, medida en términos del IRI.

Cuando se define un estándar de conservación, se impone un límite al nivel de deterioro al que se permite que llegue el pavimento y como consecuencia, además de los costos del capital de la construcción de carreteras, los costos totales en que incurren los organismos o dependencias implicados dependerán de los estándares de conservación y mejora aplicados a las redes de carreteras.

Los costos para los usuarios de carreteras incluyen: costos de operación de vehículos (combustible, neumáticos, aceite, consumo de repuestos, depreciación y utilización del vehículo, etc.), costo del tiempo de viaje para pasajeros y carga, y costos de los accidentes de tráfico (pérdida de vidas humanas, lesiones a usuarios, daños a vehículos y otros objetos de la carretera).

Los efectos sociales y medioambientales incluyen emisiones de los vehículos, consumo de energía, ruido del tráfico y otros beneficios sociales a la población a la que dan servicio las carreteras. Aunque los efectos sociales y medioambientales son difíciles de cuantificar en términos monetarios, se pueden incorporar en el análisis económico de HDM-4, si se cuantifican de forma externa.

En el HDM-4, los efectos sobre los usuarios se pueden calcular tanto para transporte motorizado (motos, coches, autobuses, camiones, etc), como no motorizado (bicicletas, triciclos de tracción humana, carros de tracción animal, etc.). La figura 8 ilustra el impacto de las condiciones de la carretera sobre el costo de operación en algunos vehículos de transporte.

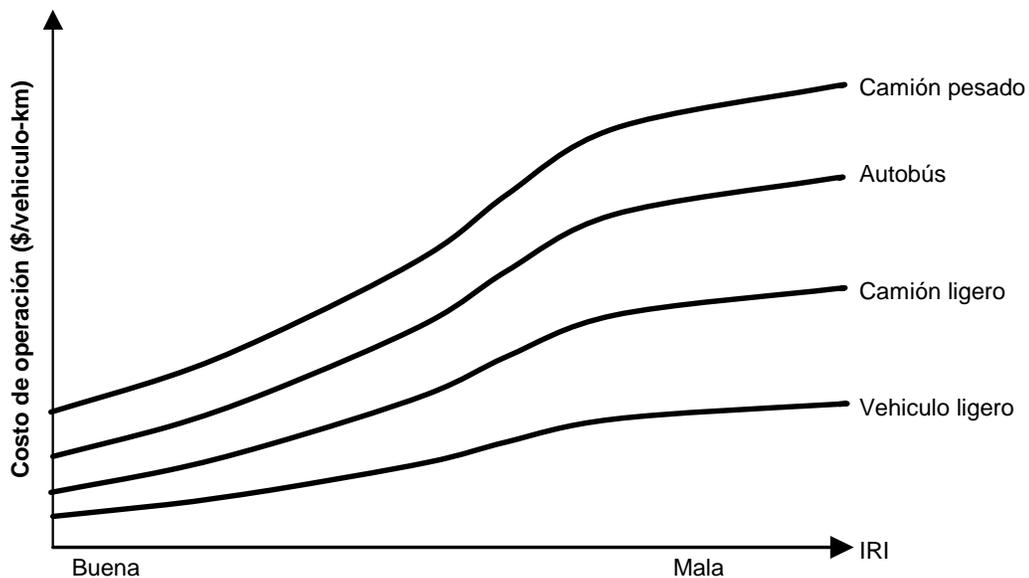


Figura 8. Impacto de la condición carretera en los costos de operación (Fuente: Elaboración propia con modelo de The World Road Association, Volumen 1, 2000).

Los costos de los usuarios de las carreteras en el HDM-4 dependen en gran medida de las condiciones con las que cuenta en su superficie de rodamiento como por ejemplo la carretera piloto de este trabajo de investigación, la cual se muestra en la figura 9 y estos costos se calculan prediciendo las cantidades físicas de consumo de recursos y multiplicando esas cantidades por los correspondientes costos unitarios especificados.



**Figura 9.** Estado de la superficie de rodamiento en la carretera Jiquilpan-Limites de Michoacán y Jalisco (Fuente: Dirección de Servicios Técnicos, 2005.).

Los beneficios económicos de las inversiones en carreteras se determinan comparando los flujos totales de costos para las distintas obras y alternativas de conservación con un caso base (sin proyecto o mínimo) que normalmente representa el estándar mínimo de la conservación rutinaria.

El modelo del HDM-4 está diseñado para hacer estimaciones de costos, realizar comparativas y análisis económicos de diferentes opciones de inversión y además estima los costos de un gran número de alternativas año a año, para un período de análisis definido. Todos los costos futuros se descuentan al año base especificado y para hacer estas comparaciones, se necesitan especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con los costos unitarios, volúmenes de tráfico previstos y condiciones medioambientales.

### 3.6.- Herramientas de análisis del HDM-4.

Existen tres herramientas de análisis que utiliza el HDM-4 (PIARC, 2000), de las cuales a continuación se realiza una breve descripción:

a).- Análisis de estrategias.

El concepto de la planificación estratégica de gastos en redes de carreteras a medio y largo plazo, exige que la organización o dependencia gubernamental tenga en cuenta las necesidades de toda su red de carreteras. De esa forma, el análisis estratégico abarcará redes completas o subredes gestionadas por una organización. Ejemplos de redes de carreteras son las redes de carreteras principales, secundarias, de carreteras rurales, de vías urbanas o municipales, pavimentadas o sin pavimento, etc.

Para predecir las necesidades a medio y largo plazo de toda una red o subred de carreteras el HDM-4 aplica el concepto de una matriz de red de carreteras que comprende las categorías de la red definidas en función de los atributos clave que más influyen en el comportamiento del pavimento y en los costos de los usuarios. Aunque es posible crear modelos de tramos parciales de carreteras, en la aplicación del análisis estratégico, teniendo en cuenta que la mayoría de las administraciones son responsables de varios miles de kilómetros, resulta muy laborioso modelizar individualmente cada segmento de carretera.

Se puede definir la matriz de la red de carreteras de forma que represente los factores más importantes que afectan a los costos de transporte en el país, y una matriz típica de red de carreteras se podría clasificar en función de lo siguiente:

- ❖ Volumen de tráfico o carga.
- ❖ Tipos de pavimento.
- ❖ Estado del pavimento.
- ❖ Zonas medioambientales o climáticas.
- ❖ Clasificación funcional.

Por ejemplo, una matriz de red de carreteras podría modelizarse usando: tres clases de tráfico (alto, medio, bajo), dos tipos de pavimento (mezcla asfáltica, tratamientos superficiales) y tres niveles de estado del pavimento (bueno, regular, malo). En este caso, se considera que el entorno en toda el área de estudio es similar y que la administración de la carretera es responsable de una clase de carretera (por ejemplo, carreteras principales). La matriz de la red de carreteras resultante en este caso comprendería por lo tanto ( $3 \times 2 \times 3 =$ ) 18 tramos de pavimento representativos.

No existe límite al número de tramos de pavimento representativos que se puede usar en un análisis estratégico y la alternativa está normalmente entre una simple matriz representativa de la red de carreteras, que daría unos resultados muy amplios, y una matriz de red de carreteras detallada, con varios tramos representativos, cuyos resultados serían potencialmente más exactos.

El análisis estratégico se puede usar para analizar una determinada red en su conjunto y preparar estimaciones para planificación de necesidades de recursos para desarrollo y conservación de carreteras a medio y largo plazo, bajo diferentes niveles presupuestarios. Se generan presupuestos de gastos para periodos a medio y largo plazo de entre 5 y 40 años y entre las aplicaciones del análisis estratégico para las administraciones de carreteras se pueden mencionar las siguientes:

- a.1).-Previsiones a medio y largo plazo de necesidades de financiamiento para cumplir con unos estándares de conservación establecidos en una red de carreteras específicos.
- a.2).-Previsiones de comportamiento a largo plazo de redes de carreteras con diferentes niveles de financiamiento.
- a.3).-Asignación óptima de recursos según partidas presupuestarias definidas, por ejemplo la conservación rutinaria, conservación periódica y de desarrollo (capital).
- a.4).-Asignaciones óptimas de recursos a subredes; ejemplo por tipo funcional de carretera (principales, secundarias, urbanas, etc.) o por región administrativa.

b).- Análisis de programa.

Este análisis trata sobre la asignación de prioridades de una lista definida de proyectos de carreteras candidatos para un programa de obras de uno o más años bajo restricciones presupuestarias definidas. Es importante tener en cuenta que se trata con una larga lista de proyectos candidatos, seleccionados como segmentos de una red.

Los criterios de selección dependerán normalmente de los estándares de conservación, mejora o desarrollo que pueda haber definido una dependencia (por ejemplo a partir de los resultados de la aplicación del análisis de estrategias). Como ejemplos de criterios de selección que se pueden usar para identificar proyectos candidato se pueden mencionar los umbrales de la conservación periódica (por ejemplo, el resellado de la superficie del pavimento cuando el daño superficial sea del 3%); los umbrales de mejora (por ejemplo, ampliar el ancho de las carreteras a una relación volumen/capacidad superior al 0.8); los umbrales de desarrollo (por ejemplo, mejorar las carreteras revestidas de grava a pavimento sellado si el tránsito diario promedio anual excede de 200 vehículos por día).

Una vez identificados todos los proyectos candidatos, la aplicación del análisis de programa del HDM-4 se puede usar para comparar los costos del ciclo de vida previstos para la conservación del pavimento (caso sin proyecto) frente a los costos del ciclo de vida previstos para las alternativas de conservación periódica, mejora de carreteras o desarrollo (caso con proyecto). Esto proporciona la base para estimar los beneficios económicos que se derivarían de incluir todos los proyectos candidatos en el marco del tiempo del presupuesto.

Hay que tener en cuenta que la diferencia entre análisis de estrategias y análisis de programa es la forma en que los itinerarios y tramos de carreteras se identifican físicamente. El análisis del programa trata de itinerarios y tramos individuales que son unidades físicas únicas identificables en la red de carreteras mediante este análisis. En el análisis de estrategias, el sistema de carreteras básicamente pierde sus características individuales de enlaces y tramos, agrupándose todos los segmentos de similares características en las categorías de la matriz de la red de carreteras.

Tanto para el análisis de estrategias como para el de programa, el problema se puede plantear como la búsqueda de aquella combinación de alternativas de tratamiento en varios tramos de la red que optimiza una función objetivo bajo una restricción presupuestaria. Si la función objetivo es maximizar el Valor Actual Neto (VAN), el problema se puede definir como: seleccionar aquella combinación de opciones de tratamiento de tramos que maximiza el VAN para toda la red, y sujeta a que la suma de los costos del tratamiento sea inferior al presupuesto disponible.

La aplicación del análisis de programa del HDM-4 se puede usar para preparar un programa para uno o varios años, sujeto a recursos limitados y el método de asignación de prioridades utiliza la relación VAN/costo como índice de valoración, esto proporciona un índice eficiente para propósitos de priorización. La relación VAN/costo satisface el objetivo de maximizar los beneficios económicos para cada unidad de gasto adicional (maximizar los beneficios netos para cada \$1 de presupuesto invertido).

#### c).- Análisis de Proyecto.

El análisis de proyecto tiene relación con la evaluación de uno o más proyectos de carreteras u opciones de inversión. La aplicación analiza un itinerario, tramo o grupo de tramos de un proyecto carretero con las alternativas de tratamiento seleccionadas, con los costos y los beneficios asociados, proyectados anualmente a lo largo del período del análisis.

Se puede usar el análisis de proyecto para estimar la viabilidad económica o técnica de los proyectos de inversión en carreteras, considerando los puntos siguientes:

- ❖ Comportamiento estructural de los pavimentos.
- ❖ Previsiones del ciclo de vida del deterioro de la carretera, los efectos y los costos de las obras.
- ❖ Costos y beneficios de los usuarios.
- ❖ Comparaciones económicas de las alternativas del proyecto.

Los análisis de proyecto incluyen la conservación y la rehabilitación de carreteras existentes, la ampliación en el ancho y mejoras geométricas, mejora de pavimentos y de nueva construcción. En el HDM-4 se contemplan modelos de deterioro de carreteras que cubren una gama amplia de pavimentos y así como también el comportamiento de materiales en climas templados y fríos.

En términos de necesidades de datos, la diferencia clave entre los análisis de estrategias y de programa, con los de análisis de proyecto, está en el detalle con que se definen los datos y se usa el concepto de niveles de calidad de información IQL (Information Quality Levels) recomendado por el Banco Mundial (The World Road Association, 2000).

Los datos para el análisis a nivel de proyecto se especifican en términos de defectos medidos (IQL-II), mientras que la especificación del análisis de estrategias y del programa pueden ser más genéricos (IQL-III). Por ejemplo, para el análisis a nivel de proyecto, la regularidad superficial de la carretera se especificaría en términos del valor de IRI (m/km), pero para el análisis de estrategias y del programa, la regularidad superficial podría especificarse como buena, regular o mala. La relación que existe entre los datos de nivel IQL-II e IQL-III es definida al configurar el HDM-4, dependiendo de la clase de carretera, tipo de superficie del pavimento y clase de tráfico.

### 3.7.- Módulos del HDM-4.

Las tres herramientas de análisis del HDM-4: Estrategia, Programa y Proyecto, operan sobre datos definidos en los siguientes gestores o módulos de datos (PIARC, 2000):

- a).- Red de carreteras: Define las características físicas de tramos de carreteras en una red o subred que se va a analizar.
- b).- Parque de vehículos: Define las características del parque de vehículos que operan en una red de carreteras que se va a analizar.
- c).- Obras: Define los estándares de conservación y mejora, junto con sus costos unitarios y que serán aplicados a los distintos tramos de la carretera por analizar.
- d).- Configuración del HDM: Define los datos por defecto que se usarán en las aplicaciones. Al instalar el HDM-4 se suministra un conjunto de datos predefinidos, pero se pueden modificar para adecuarlos a los entornos y circunstancias locales.

El modelo HDM-4 predice para cada tramo de carretera, año a año, las condiciones de la misma y los recursos que se requieren para su tratamiento (Conservación, rehabilitación, mejora o construcción), con cada estrategia, así como las velocidades de los vehículos y los recursos físicos consumidos por su operación.

Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para la ejecución de las obras y la operación de los vehículos, se aplican los precios y costos unitarios especificados, el HDM-4 está en condiciones de poder determinar los costos financieros y económicos. Luego se hace el cálculo de los beneficios relativos de las diferentes alternativas, seguido del cálculo del valor actual neto (VAN) y de la tasa interna de rentabilidad (TIR).

El sistema HDM-4 está diseñado para interactuar con sistemas externos, además el diseño del sistema tiene una estructura modular que permite implantar independientemente los módulos del HDM-4 en los sistemas de gestión de carreteras. Los parámetros técnicos, además de los datos por defecto específicos del país se pueden calibrar para ajustarlas a las condiciones locales usando la configuración del HDM-4.

Las aplicaciones del HDM-4 han sido diseñadas para trabajar con una amplia gama de tipos y calidades de datos. Por ejemplo, los datos del estado del pavimento recogidos en inspecciones visuales según las distintas condiciones (por ejemplo, muy bueno, bueno, regular o malo) se pueden convertir a las necesidades del modelo HDM-4 antes de ejecutar cualquiera de las aplicaciones.

De forma similar, el HDM-4 puede trabajar con datos detallados del estado del pavimento, si se dispone de ellos. Esta flexibilidad en los datos requeridos permite que con datos distintos se pueda integrar el HDM-4 en las funciones de la gestión de carreteras. A continuación se hace una breve descripción de los módulos del HDM-4:

a).- Redes de carreteras.

Proporciona las funciones básicas para almacenar las características de uno o más tramos de carretera y permite definir diferentes redes y subredes, además de definir tramos, que es la unidad fundamental del análisis.

b).- Parques de vehículos.

Parques de vehículos proporciona funciones para almacenar las características de los vehículos necesarias para calcular velocidades, costos de operación, costos de tiempos de viaje y otros efectos; además no tiene límites al número o al tipo de vehículos que se pueden especificar, pudiéndose incluir vehículos motorizados y no motorizados, además, se pueden definir diversos parques de vehículos para usarlos en diferentes análisis.

c).- Estándares de obras.

Se refiere a los objetivos o niveles de condición y respuesta que propone conseguir una organización o dependencia gubernamental para la gestión de sus carreteras. Las organizaciones de carreteras definen diferentes estándares que se pueden aplicar en situaciones prácticas para satisfacer objetivos concretos que están relacionados con las características funcionales del sistema de la red de carreteras. La carpeta obras proporciona funciones que permiten definir una lista de estándares de conservación y mejora, los cuales se definen en la carpeta estándares de obras, además, se pueden usar en cualquiera de las tres herramientas de análisis: proyecto, programa y estrategia.

d).- Configuración de HDM-4.

Como el HDM-4 se utiliza en muy distintos entornos, su configuración proporciona funciones para personalizar la operación del sistema y para reflejar la normativa habitual en el entorno estudiado. Los datos por defecto y los coeficientes de calibración se pueden definir de manera flexible para minimizar la cantidad de datos que se deben cambiar para cada aplicación del HDM-4. También se suministran valores por defecto, pero todos ellos se pueden definir y se proporcionan funciones para poder modificarlos, además el conjunto de herramientas del HDM-4 se pueden usar como módulos adicionales a los actuales sistemas de gestión de pavimentos.

Los datos necesarios para los análisis en el HDM-4 se pueden importar de fuentes de datos existentes, como sistemas de gestión de pavimentos (SGP). La importación y exportación de datos al HDM-4 está organizada en función de redes de carreteras, parques de vehículos, estándares de conservación y mejora y configuración, permitiendo importar directamente desde cualquier base de datos todos los datos requeridos por el HDM-4 y es necesario implantar reglas de transformación de datos para convertir los que están en las bases de datos externas al formato usado por el sistema.

Otros datos requeridos por los análisis de HDM-4 se pueden guardar directamente en su base de datos interna, como datos de características del parque de vehículos, estándares de conservación y mejora, costos unitarios y parámetros para análisis económicos (por ejemplo, tipo de interés, período del análisis, etc.). En la figura 10 se ilustra el espacio de trabajo del HDM-4.

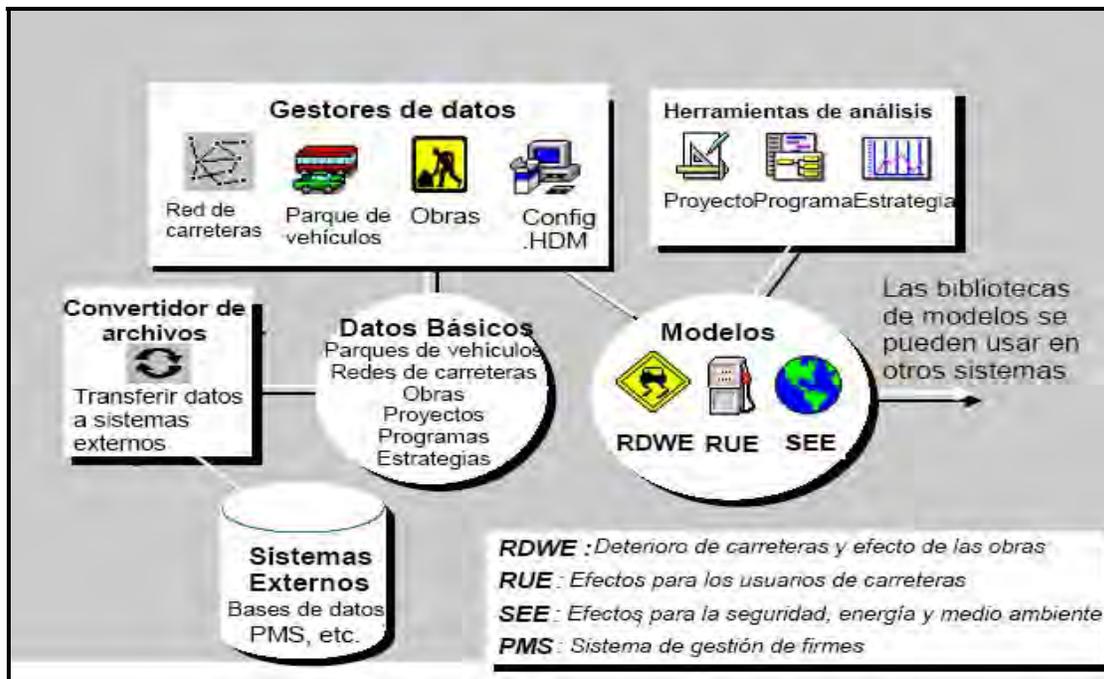


Figura 10. Espacio de trabajo del HDM-4 (Fuente: The World Road Association, Volumen 1, 2000)

En la figura 11 se muestra el funcionamiento del HDM-4.

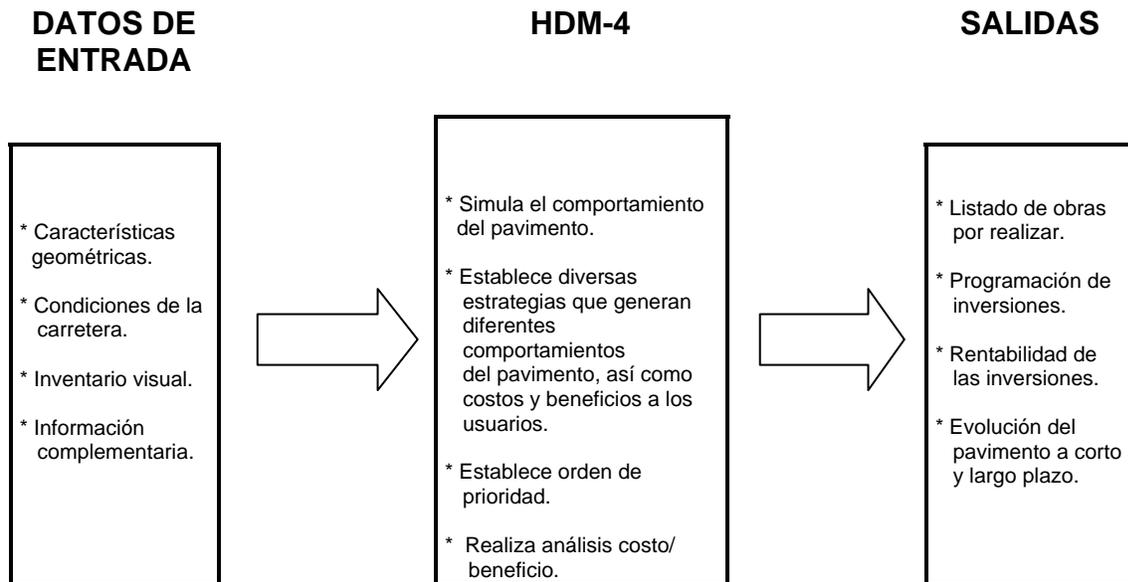


Figura 11. Funcionamiento del HDM-4 (Fuente: Elaboración propia con modelo tomado de González García M., 2005)

### 3.8.- Datos necesarios para el HDM-4

Para la implantación del HDM-4 en la carretera piloto: Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), se necesitaron y se obtuvieron los siguientes datos:

#### 1.- Características geométricas:

- ❖ Secciones
- ❖ Pendientes
- ❖ Curvas
- ❖ Sobreelevación
- ❖ Intersecciones
- ❖ Altura sobre el nivel del mar

#### 2.- Determinación de las condiciones de la carretera:

- ❖ IRI
- ❖ Deflexiones
- ❖ Número estructural
- ❖ VRS de las diferentes capas
- ❖ Resistencia al deslizamiento
- ❖ Estructura del pavimento

#### 3.- Inventario visual:

- ❖ Drenaje
- ❖ Deterioros superficies:
  - ❖ Número de baches por km
  - ❖ Roderas
  - ❖ Agrietamiento
  - ❖ Expulsión de finos
  - ❖ Descascaramiento
  - ❖ Rotura de borde

#### 4.- Información complementaria:

- ❖ Flota vehicular
- ❖ Aforo vehicular
- ❖ Costos de combustibles, lubricantes y neumáticos
- ❖ Ejes equivalentes
- ❖ Precios unitarios y costos de las obras
- ❖ Zonas climáticas

# III.- INFORMACIÓN DE LA CARRETERA JIQUILPAN – LÍMITES DE MICHOACÁN Y JALISCO (San José de Gracia)

## 1.- ASPECTOS GENERALES.

El Estado de Michoacán se localiza en la parte centro occidente de la República Mexicana; su extensión es de 59,864 km<sup>2</sup> y representa el 3% de la superficie total del país. Cuenta con 213 km de litorales y 78,000 km<sup>2</sup> de aguas marítimas, al norte colinda con Guanajuato; al noreste con Querétaro; al oriente con el Estado de México; al sur y sureste con Guerrero y el Océano Pacífico; al occidente con Jalisco y Colima. En la figura 12 se muestra la red carretera en El estado de Michoacán.

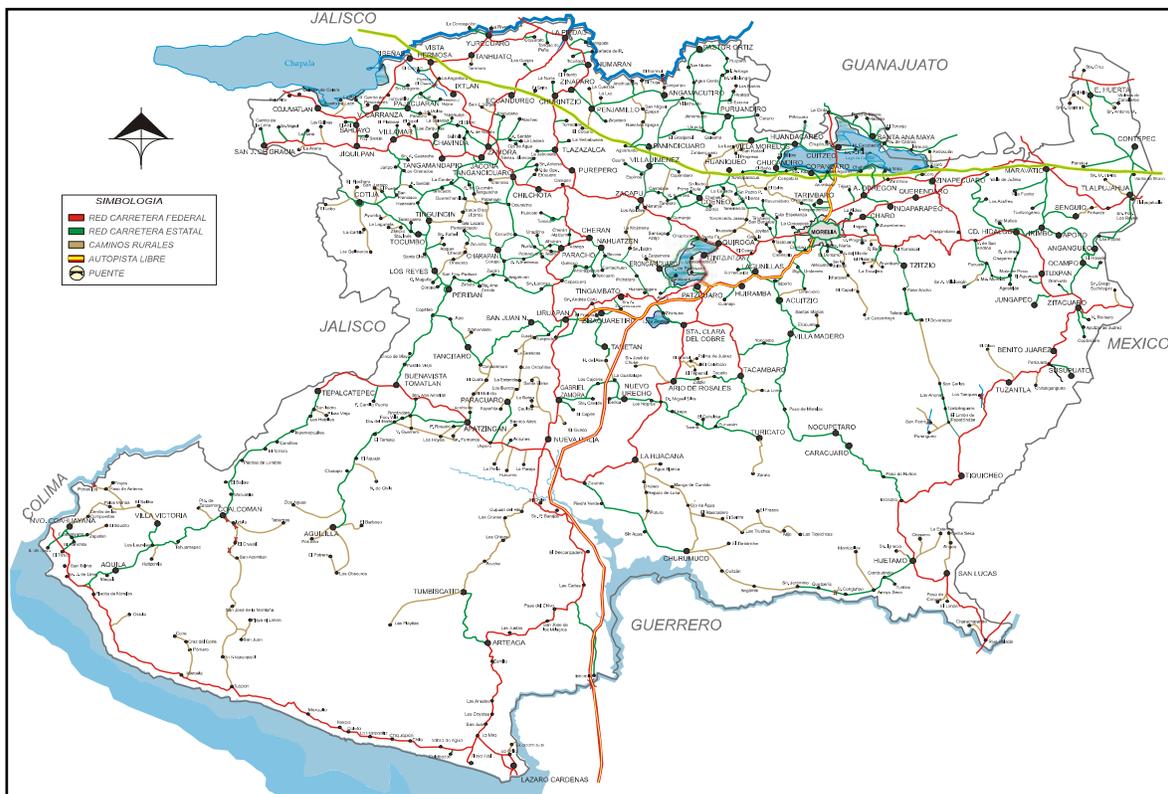


Figura 12. Red de caminos del Estado de Michoacán (Fuente: Junta de Caminos, 2005)

El objeto de este trabajo de investigación, es la aplicación del HDM-4 en una carretera piloto, de la cual se muestran los siguientes datos:

CARRETERA	:	JIQUILPAN - COLIMA
TRAMO	:	JIQUILPAN-LÍMS. EDO MICH. / JAL.
SUBTRAMO	:	DEL KM 0+000 AL 41+000
LONGITUD	:	41 Km
ORIGEN	:	JIQUILPAN, MICH.
TIPO	:	"B"

La ubicación de esta carretera se muestra en la figura 13.

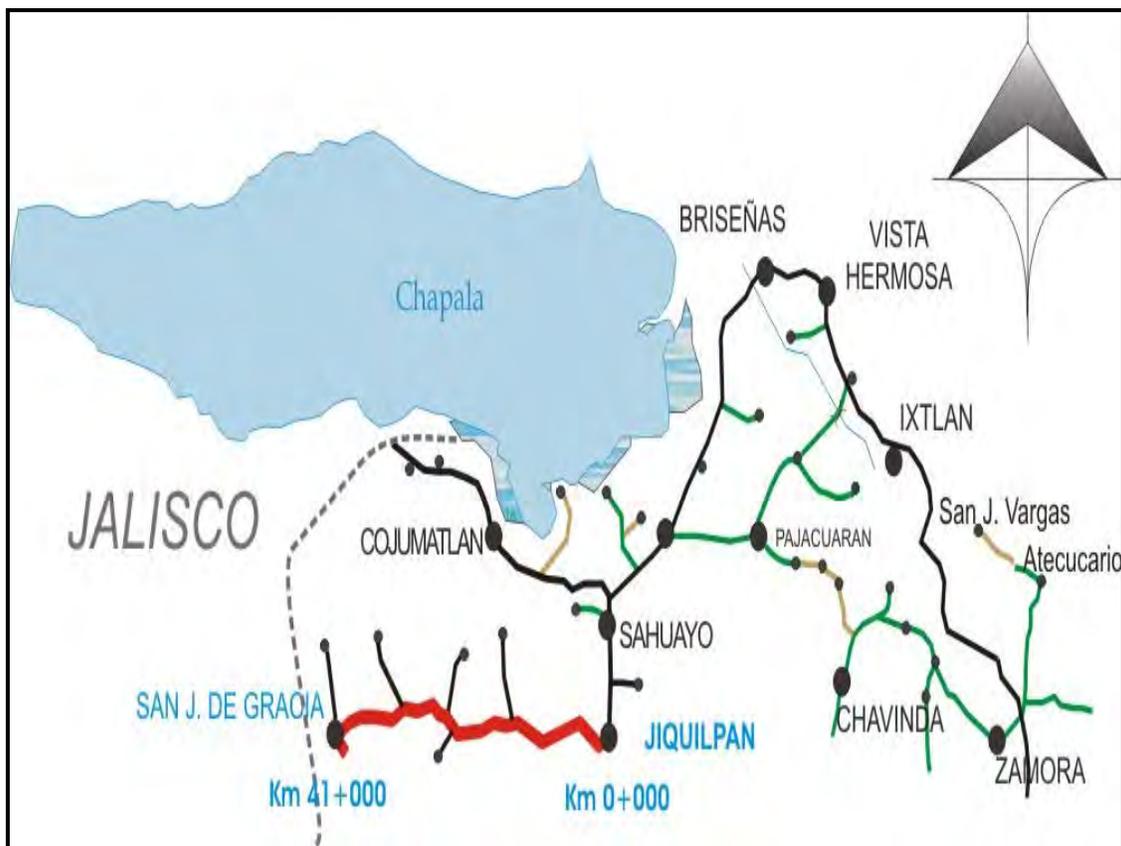


Figura 13. Ubicación de la carretera Jiquilpan – Límites de Michoacán y Jalisco (Fuente: Junta de Caminos, 2006)

La función de esta carretera es la de ser alimentadora y complementaria al eje troncal Manzanillo – Guadalajara - Lagos de Moreno - San Luis Potosí - Tampico, cuenta con 15 entronques o intersecciones a nivel y actualmente se encuentra bajo la jurisdicción de la SCT para su conservación, rehabilitación o reconstrucción.

Esta carretera en estudio tiene una longitud de 41 km y cuenta con un ancho de corona promedio de 10.50 m del km 0+000 al km 2+200 y 4 carriles de circulación (zona urbana de Jiquilpan); del km 2+200 al km 41+000 cuenta con 2 carriles de circulación y un ancho de corona promedio de 7 m, correspondiendo a la ruta 110 de la red federal de carreteras. Esta carretera en su desarrollo comunica a Jiquilpan y San José de Gracia en Michoacán con los límites del Estado de Jalisco, además de otras poblaciones que beneficia; además la zona de influencia está formada por regiones predominantemente agrícolas y de pastizales.

Al realizar el estudio de este tramo carretero no se habían ejecutado trabajos de reconstrucción o de rehabilitación recientemente, por lo que la estrategia de mantenimiento era actualmente con conservación rutinaria. En la figura 14 se muestra el estado de esta carretera durante los estudios de campo.



**Figura 14.** Estado de la carretera en el km 26+000 (Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Algunas de las características regionales de la zona de influencia donde se desarrolla esta carretera, se mencionan a continuación:

a).- Morfología.

El tramo tiene un desarrollo sobre terreno que va de recto, lomerío suave a lomerío fuerte, por lo cual las secciones transversales se presentan en balcón y terraplenes, teniendo estos últimos una variación de 0.5 a 2 m.

b).- Geología Superficial.

La carretera en estudio se desarrolla dentro de la provincia fisiográfica denominada sistema volcánico transversal y se ubica dentro de la región hidrológica No 12 Lerma-Santiago, donde es característica la presencia de rocas ígneas extrusivas basálticas y tobas riolíticas. Los suelos son de tipo residual y transportados con poca longitud de arrastre, formando depósitos aluviales en las partes bajas.

c).- Clima.

De acuerdo a la clasificación de climas köpen – Geiger, modificado y adaptado a la República Mexicana, el de la región es de tipo semicálido, subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación pluviométrica promedio de 900 a 1,000 mm anuales y la temperatura media es de 22 a 24 °C.

d).- Drenaje y obras complementarias.

Los escurrimientos de agua pluvial fluyen predominantes hacia la laguna de Chapala, con arrastre de partículas finas principalmente y regular de partículas granulares sólidas. El drenaje carretero esta integrado mediante alcantarillas de tubo, bóvedas y losas de concreto hidráulico, las cuales funcionan correctamente, además cuenta con cunetas que en gran parte requieren mantenimiento.

## 2.- REQUERIMIENTOS DEL HDM-4.

Para estar en condiciones de hacer la aplicación del HDM-4 en esta carretera piloto: Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), se realizaron varios estudios de campo, de gabinete y de laboratorio, con lo cual se obtuvieron datos y resultados, los cuales se enuncian a continuación:

### 2.1.- Características geométricas:

Primero se realizó un registro de la geometría de la carretera, de acuerdo con la tabla 3.

**Tabla 3.** Registro de la geometría de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco Jalisco (Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

UBICACIÓN:		TRAZO:
DEL km:	AL km:	
0+000	2+400	Recto
2+400	7+000	Poco sinuoso
7+000	9+500	Recto
9+500	15+000	Poco sinuoso
15+000	29+000	Sinuoso
29+000	41+000	Sinuoso

Enseguida se procedió a realizar un registro de los tipos de sección existente en la carretera, de acuerdo a lo mostrado en la tabla 4.

**Tabla 4.** Registro de los tipos de sección en la carretera Jiquilpan – Límites de Michoacán y Jalisco (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

UBICACIÓN:		SECCIÓN:	
DEL km:	AL km:	IZQUIERDA:	DERECHA:
0+000	2+500	Terraplén	Terraplén
2+500	7+000	Terraplén	Corte
7+000	20+000	Terraplén	Terraplén
20+000	25+000	Corte	Terraplén
25+000	41+000	Terraplén	Terraplén

También se realizó un registro de las intersecciones con que cuenta esta carretera, y las cuales se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Tipos de intersecciones que tiene la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

No	UBICACIÓN	TIPO	IDENTIFICACIÓN DE LA INTERSECCIÓN	OBSERVACIONES
1	0+200	" Y "	ENTRONQUE A SAHUAYO Y A ZAMORA	CAMINOS A CARGO DE LA SCT
2	8+100	" T " izquierda	A SANTA BARBARA	CAMINO A CARGO DE LA JUNTA DE CAMINOS DE MICH.
3	9+650	" T " izquierda	A QUITUPAN	CAMINO A CARGO DE LA JUNTA DE CAMINOS DE MICH.
4	12+000	" T " izquierda	A LOS TABANOS	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
5	14+900	" T " derecha	A LAS GALLINAS	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
6	15+700	" T " derecha	A EL GUIRO	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
7	17+200	Poblado	ABADIANO	PASO POR POBLADO DEL KM 17+000 AL KM 17+400
8	21+300	" T " izquierda	A LA ARENA	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
9	23+800	" T " derecha	A LA TINAJA DE LOS RUIZ	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
10	23+900	" T " derecha	A OJO DE RANA	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
11	27+500	" T " izquierda	A EL SABINO	CAMINO A CARGO DE LA JUNTA DE CAMINOS DE MICH.
12	30+000	" T " izquierda	A VALLE DE JUÁREZ	CAMINO A CARGO DE LA JUNTA DE CAMINOS DE MICH.
13	36+550	" T " derecha	A PASO REAL	CAMINO A CARGO DE CARRETERAS ALIMENTADORAS (SCT)
14	38+500	Poblado	SAN JOSÉ DE GRACIA	PASO POR POBLADO DEL KM 37+000 AL KM 40+000
15	41+000	Fin de cadenamieto	LÍMITES DE LOS ESTADOS DE MICHOACÁN Y JALISCO	INICIA CAMINO A CARGO DE LA SCT DE JALISCO

Como dato importante se menciona que de acuerdo con datos del INEGI consultados en el año 2006, la altitud sobre el nivel del mar al inicio de esta carretera es de 1,550 m.

## 2.2.- Determinación de las condiciones de la carretera:

La Subsecretaría de Infraestructura perteneciente a la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT realizó mediciones del IRI para esta carretera, con el equipo Mays Ride Meter a finales del año 2004 y principios del año 2005, y los resultados se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** IRI medido en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

TRAMO:	LONGITUD (km)	IRI
0+000 - 2+200	2.2	5
2+200 - 15+000	12.8	4.4
15+000 - 41+000	26	4

También se realizó la medición y el cálculo de las deflexiones en el pavimento existente de esta carretera a finales del año 2004 y principios del año 2005, utilizando la viga Benkelman, obteniendo resultados como los que se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Deflexiones medidas en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

DEL km:	AL km:	CARRIL:	DEFL. CARACT: &80
0+800	0+900	DERECHO	34.94
1+000	1+100	IZQUIERDO	30.91
2+200	2+300	DERECHO	34.94
3+200	3+300	IZQUIERDO	43.01
4+200	4+300	DERECHO	34.94
5+200	5+300	IZQUIERDO	37.63
6+200	6+300	DERECHO	63.07
7+200	7+300	IZQUIERDO	51.07
8+200	8+300	DERECHO	45.70
9+200	9+300	IZQUIERDO	56.45
10+200	10+300	DERECHO	48.38
11+200	11+300	IZQUIERDO	77.95
12+000	12+100	DERECHO	37.63
13+000	13+100	IZQUIERDO	36.29
14+000	14+100	DERECHO	33.60
15+000	15+100	IZQUIERDO	32.26
16+000	16+100	DERECHO	45.70
17+000	17+100	IZQUIERDO	45.70
18+000	18+100	DERECHO	40.32
19+000	19+100	IZQUIERDO	37.63
20+000	20+100	DERECHO	51.07
21+000	21+100	IZQUIERDO	45.70
22+000	22+100	DERECHO	37.63
23+000	23+100	IZQUIERDO	43.01
24+000	24+100	DERECHO	34.32
25+000	25+100	IZQUIERDO	34.32
26+000	26+100	DERECHO	31.68
27+000	27+100	IZQUIERDO	36.96
28+000	28+100	DERECHO	44.88
29+000	29+100	IZQUIERDO	62.04
30+000	30+100	DERECHO	39.60
31+000	31+100	IZQUIERDO	36.96
32+000	32+100	DERECHO	40.92
33+000	33+100	IZQUIERDO	39.60
34+000	34+100	DERECHO	40.92
35+000	35+100	IZQUIERDO	36.96
36+000	36+100	DERECHO	33.00
37+000	37+100	IZQUIERDO	34.32
38+000	38+100	DERECHO	30.36
39+000	39+100	IZQUIERDO	34.32
40+000	40+100	DERECHO	27.72
41+000	41+100	IZQUIERDO	31.68

Por otro lado, para obtener la capacidad estructural del pavimento en esta carretera y de acuerdo con el método AASHTO, se obtuvo un número estructural (SN=3.2), esto, con base al tránsito, a las características de cada una de las capas que integran la estructura del pavimento, así como también a las condiciones de drenaje existentes.

Para conocer las características físicas y los parámetros mecánicos como el VRS y otros, en el material que integra cada una de las capas de la estructura del pavimento existente se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

- ❖ Cuarenta y un sondeos del tipo pozo a cielo abierto.
- ❖ Los trabajos de laboratorio consistieron en el ensaye de las muestras de material obtenidas de las capas estructurales que integran la carretera.

En la figura 15 se observa la realización de los sondeos para explorar la estructura en esta carretera.



**Figura 15.** Sondeos tipo PCA realizados en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia)  
(Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Con los resultados de las pruebas realizadas al terreno natural en el laboratorio, se procedió a procesar la información en cuadros de resumen de cada prueba representativa de acuerdo a lo siguiente:

### Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

**Tabla 8.** Resultados de pruebas de laboratorio realizadas al terreno natural en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Carretera : Jiquilpan-Colima  
 Tramo : Jiquilpan-Límites de los Estados de Michoacán y Jalisco  
 Longitud : 41 km  
 Subtramo : Del km 0+000 al km 41+000  
 Origen : Jiquilpan  
 CAPA : TERRENO NATURAL

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	1+000	4+000	5+000	6+000	7+000	8+000	9+000	10+000	11+000	12+000	13+000	14+000	15+000	16+000	17+000	18+000	19+000	20+000	20+850	21+950	22+800	23+900	24+800	26+000	27+000	28+000	29+000	30+000	31+000	32+000	33+000	34+000	35+000	36+000	37+000	38+100	39+000	40+000	40+900	NORM SCT
------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	----------

LADO	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	D	I	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	I	I	I		
PROFUNDIDAD ( m )	0.51	0.61	0.61	0.46	0.7	0.76	0.71	0.62	0.78	0.72	0.48	0.41	0.55	0.5	0.52	1.8	0.74	0.55	0.5	0.72	0.66	0.59	0.6	0.38	0.45	1.85	0.51	0.48	1.44	0.62	0.54	0.46	0.46	0.46	0.46	0.41	0.4	0.38	0.46			
TAMAÑO MÁXIMO (mm)	50	32.5	37.5	4.75	9.5	4.75	9.5	4.75	4.75	4.75	4.75	9.5	50	75	4.75	4.8	4.75	9.5	4.5	4.5	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	9.5	19	9.5	4.5	9.5	19	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	4.75	4.75	4.75	4.75		
RETENIDO EN LA MALLA DE 75 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 4.75 mm	84	52	78	100	99	100	98	100	100	100	100	99	86	85	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	98	98	98	100	91	87	90	90	90	90	90	100	100	100	100			
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 0.425 mm	66	31	71	83	85	78	79	83	72	81	83	81	71	66	87	71	88	83	84	93	88	79	90	90	88	73	75	62	81	63	59	61	63	61	51	55	51	59	64			
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 0.075 mm	53	23	65	71	68	69	65	71	68	72	71	65	57	51	71	63	71	70	68	81	77	70	81	73	68	57	59	55	71	32	29	31	32	31	28	27	28	31	25			
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	1	13	1	0.5	1	0	1	0	0.5	0	0	0.4	6	8	1	0	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0.2	0	2	2	1	0	5	6	7	5	7	11	13	11	12	15			
LÍMITE LÍQUIDO (%)	59	48	65	68	63	59	60	59	63	61	59	60	57	59	63	59	63	65	60	65	61	63	60	58	61	51	55	57	60	44	47	43	44	43	45	46	45	48	49	50		
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	35	20	37	35	37	35	37	31	33	34	33	36	36	34	38	35	36	37	33	38	38	33	37	34	36	31	32	31	37	21	20	21	21	21	20	21	20	23	16			
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	13.2	7.4	14.1	14.5	13.8	13.8	15.1	12.5	13.5	14.2	14.2	13.8	12.4	12.5	14.5	13.1	13.8	15.1	13.9	15.5	14	13.5	14.8	12.9	14.5	12.4	13	12.1	14.5	7.5	7.1	8.4	7.5	8.4	7.2	7.5	7.2	8.1	6.2			
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m <sup>3</sup> )	1003	1134	962	891	902	898	857	871	902	895	889	895	901	897	857	891	901	806	871	1806	806	891	814	901	847	906	902	911	814	937	968	991	991	991	916	937	916	973	961			
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (kg/m <sup>3</sup> )	1676	1744	1561	1502	1498	1537	1536	1506	1531	1516	1520	1537	1537	1590	1537	1516	1502	1521	1502	1498	1495	1511	1567	1498	1516	1572	1537	1525	1495	1721	1695	1706	1706	1706	1706	1715	1706	1715	1716			
PESO VOLUMÉTRICO DE LUGAR (kg/m <sup>3</sup> )	1492	1514	1325	1249	1293	1277	1307	1319	1287	1293	1289	1385	1321	1325	1322	1306	1300	1275	1291	1257	1266	1302	1287	1364	1291	1283	1345	1371	1243	1516	1392	1569	1569	1569	1569	1499	1481	1439	1565			
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	22.2	21	27.1	24.2	26.2	23.4	26	24.4	25.1	24.1	24.1	26.1	24.1	25.9	23.2	24.5	26.1	26.2	24.4	255	24.2	23.6	22.7	23.4	24.5	22.4	21.9	22	24.5	23.4	24.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.5	25	26.6	27.4			
HUMEDAD NATURAL (%)	30.1	29.8	35.1	31.2	32.7	29.6	34.2	33	36.1	31.4	30.5	27.2	33.8	34.8	31.7	37.2	34.4	30.1	35.1	33.7	25.5	31.6	35.4	20.1	30.7	32.8	22.8	24	37.2	31.7	35.3	29.1	29.1	29.1	29.1	37.1	31.4	34.8	28			
COMPACTACIÓN DEL LUGAR (%)	89	87	85	83	86	83	85	88	84	85	84	90	86	83	86	86	87	84	86	84	85	86	82	91	85	82	88	90	83	88	82	92	92	92	92	92	187	87	84	91	90	
VRS ESTANDAR SATURADO (%)	2	9	2	3	3	2	3	3	4	2	3	2	4	2	2	3	2	3	3	1	2	2	3	3	2	4	4	3	2	9	11	8	8	8	8	12	11	13	14	5		
EXPANSIÓN (%)	7.93	3.58	8.23	8.12	7.99	8.36	8.12	7.98	7.62	8.91	7.91	10.10	8.62	9.12	9.74	9.14	8.48	9.28	9.72	10.12	9.28	10.12	8.68	9.27	10.16	7.86	7.98	8.16	10.14	5.61	7.12	5.11	5.11	5.11	5.11	4.75	4.24	4.99	4.12	5		
CLASIFICACIÓN SUCS:	CH	SC	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	SC																					

### Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

**Tabla 9.** Resultados de pruebas de laboratorio realizadas al cuerpo de terraplén en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Carretera : Jiquilpan - Colima  
 Tramo : Jiquilpan - Límites de los Estados de Michoacán y Jalisco  
 Longitud : 41 km  
 Subtramo : Del km 0+000 al km 41+000  
 Origen : Jiquilpan  
 CAPA : TERRAPLÉN

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	1+000	4+000	5+000	6+000	7+000	8+000	9+000	10+000	11+000	12+000	13+000	14+000	15+000	16+000	17+000	18+000	19+000	20+000	28+000	31+000	NORM SCT	
LADO	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	I		
PROFUNDIDAD ( m )	0.51	0.61	0.61	0.46	0.7	0.76	0.71	0.62	0.78	0.72	0.48	0.41	0.55	0.5	0.52	1.8	0.74	0.55	1.08	0.8		
TAMAÑO MAXIMO (mm)	50	32.5	37.5	4.75	9.5	4.75	9.5	4.75	4.75	4.75	4.75	9.5	50	75	4.75	4.8	4.75	9.5	19	19		
RETENIDO EN LA MALLA DE 75 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 4.75 mm	84	52	78	100	99	100	98	100	100	100	100	99	86	85	100	100	100	99	96	97		
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 0.425 mm	66	31	71	83	85	78	79	83	72	81	83	81	71	66	87	71	88	83	75	76		
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA DE 0.075 mm	53	23	65	71	68	69	65	71	68	72	71	65	57	51	71	63	71	70	53	55		
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	1	13	1	0.5	1	0	1	0	0.5	0	0	0.4	6	8	1	0	0.4	0.4	3	1		
LÍMITE LÍQUIDO (%)	59	48	65	68	63	59	60	59	63	61	59	60	57	59	63	59	63	65	56	59	50	
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	35	20	37	35	37	35	37	31	33	34	33	36	36	34	38	35	36	37	33	35		
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	13.2	7.4	14.1	14.5	13.8	13.8	15.1	12.5	13.5	14.2	14.2	13.8	12.4	12.5	14.5	13.1	13.8	15.1	14.1	14.2		
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m <sup>3</sup> )	1003	1134	962	891	902	898	857	871	902	895	889	895	901	897	857	891	901	806	872	874		
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (kg/m <sup>3</sup> )	1676	1744	1561	1502	1498	1537	1536	1506	1531	1516	1520	1537	1537	1590	1537	1516	1502	1521	1609	1601		
PESO VOLUMÉTRICO DE LUGAR (kg/m <sup>3</sup> )	1492	1514	1325	1249	1293	1277	1307	1319	1287	1293	1289	1385	1321	1325	1322	1306	1300	1275	1521	1516		
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	22.2	21	27.1	24.2	26.2	23.4	26	24.4	25.1	24.1	24.1	26.1	24.1	25.9	23.2	24.5	26.1	26.2	21.4	21.4		
HUMEDAD NATURAL (%)	30.1	29.8	35.1	31.2	32.7	29.6	34.2	33	36.1	31.4	30.5	27.2	33.8	34.8	31.7	37.2	34.4	30.1	21.1	21.1		
COMPACTACIÓN DEL LUGAR (%)	89	87	85	83	86	83	85	88	84	85	84	90	86	83	86	86	87	84	95	95	90	
VRS ESTÁNDAR SATURADO (%)	2	9	2	3	3	2	3	3	4	2	3	2	4	2	2	3	2	3	5	4	5	
EXPANSIÓN (%)	7.93	3.58	8.23	8.12	7.99	8.36	8.12	7.98	7.62	8.91	7.91	10.1	8.62	9.12	9.74	9.14	8.48	9.28	7.9	8.66	5	
CLASIFICACIÓN SUCS:	CH	SC	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	

### Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

**Tabla 10.** Resultados de pruebas de laboratorio realizadas a la capa de subbase en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Carretera : Jiquilpan – Colima  
 Tramo : Jiquilpan – Límites de los Estados de Michoacán y Jalisco  
 Longitud : 41 km  
 Subtramo : Del km 0+000 al km 41+000  
 Origen : Jiquilpan  
 CAPA : SUB-BASE

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	ESTACIONES																												NORM SCT			
	1+000	2+000	5+000	6+000	7+000	8+000	9+000	10+000	12+000	13+000	15+000	16+000	17+000	18+000	19+000	20+850	21+950	22+800	23+900	24+800	26+000	27+000	29+000	30+000	31+000	32+000	33+000	35+000		36+000	37+000	
LADO	I	D	I	D	I	D	I	D	D	I	I	D	I	D	I	I	D	I	D	I	D	I	I	D	I	D	I	I	D	I		
ESPESOR ( cm )	18	10	19	12	15	17	15	12	12	15	15	12	18	25	25	13	20	18	14	11	23	27	20	18	15	12	13	22	24	29		
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m3)	1406	1021	1418	1406	1453	1411	1395	1357	1428	1391	1102	1162	1093	1051	1171	1992	1202	1098	1127	1087	1162	1125	1061	1025	1432	1395	1406	1093	1108	1318		
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (kg/m3)	2016	1561	2030	1998	2006	1985	1987	1984	2006	1999	1657	1702	1657	1613	1683	1492	1702	1713	1693	1513	1815	1868	1702	1562	2000	1999	2012	1788	1795	1974		
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	13.9	13.1	14.5	13.8	13.5	14	13.5	13.6	13.3	14.1	20.1	18.8	21.1	19.9	20.4	15.6	18.4	17.2	20.8	19.9	19.1	17	21	21.6	10.2	10.1	9.5	18	18	12.8		
PESO VOLUMÉTRICO DE LUGAR (kg/m3)	1982	1542	1951	1903	1947	1951	1901	1983	1981	1851	1577	1655	1559	1571	1651	1495	1639	1701	1594	1431	1711	1795	1653	1502	1963	1981	1976	1664	1725	1953		
HUMEDAD DEL LUGAR (%)		10.4	13.1	11.4	11.4	12.4	13.1	10	13.6	12.4	15	14.3	18.3	17.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.4	14.1	16	13.6	16.4	17.3	11.4	11.5	10.4	16.4	18.1	11.4		
GRANULOMETRÍA	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	34	30	33	34	34	34	35	33	34	37	37	35	39	34	35	28	33	37	32	33	39	38	31	34	31	31	31	31	32	35	33	30
LÍMITE PLÁSTICO (%)	24	INAP	25	25	26	25	26	25	25	29	27	25	28	25	27	INAP	24	26	24	25	28	26	23	25	23	23	22	25	27	25		
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	10	N.P.	8	9	8	9	9	8	9	8	10	10	11	9	8	NP	9	9	8	8	11	12	8	9	8	8	9	7	8	8	10	
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	2.8	0	2.6	2.9	2.5	2.9	3	2.9	3.2	3.2	3.3	3.4	4.1	3.5	3	0	3.7	3.4	3.5	2.9	4.2	4.1	2.2	3	2.4	2	2	2	3	2.6		
MRS ESTÁNDAR SATURADO (%)	89	97	86	97	94	91	89	90	88	85	87	89	77	68	78	89	83	81	78	88	83	83	69	85	102	101	103	93	93	91	50	
EXPANSIÓN (%)	0.38	0	0.45	0.16	0.11	0.24	0.86	0.36	0.74	0.96	1.64	1.08	1.94	2.14	1.04	0	0.86	1.24	1.46	0.96	1.91	1.26	0.46	1.21	0	0	0	0.16	0.24	0.12		
ABSORCIÓN (%)	4.16	9.61	5.21	5.02	4.28	5.12	4.16	4.71	5.16	4.21	6.14	5.27	5.21	4.21	7.12	7.8	9.14	10.1	9.12	11.1	7.41	9.76	10.1	14.1	3.15	3	3.1	10.2	7.06	5.23		
DENSIDAD (gr/cm3)	2.39	1.81	2.38	2.34	2.35	2.39	2.39	2.41	2.34	2.3	2.01	1.98	2.11	2.1	1.98	1.51	1.91	1.74	1.98	1.71	1.81	1.84	1.98	1.62	2.58	2.61	2.61	1.83	2.51	2.32		
DURABILIDAD (%)																																
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	18	63	14	21	21	24	19	21	20	19	19	21	20	23	18	27	22	21	22	23	30	24	17	23	30	30	31	28	25	29	30	
COMPACTACIÓN DEL LUGAR (%)	98	99	96	95	97	98	96	100	99	93	95	97	94	97	98	96	96	99	94	95	94	96	97	96	98	99	98	93	96	99	100	
CLASIFICACIÓN SUCS	SP-SC	GW-GM	GC	SP-SC	GP-GC	GC	GC	SP-SC	GC	SP-SC	SP-SC	SC	SC	SC	SC	GP	GC	GC	SP-SC	GP-GC	SP-SC	SP-SC	GC	GP-GC	GW-GM	GW-GC	GW-GC	SP-SC	SP-SC	GW-GC		
DICTAMEN DE ACUERDO CON LA NORMATIVA SCT	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	



### Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

**Tabla 12.** Resultados de pruebas de laboratorio realizadas a la capa de base asfáltica en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

Carretera : Jiquilpan - Colima  
 Tramo : Jiquilpan - Límites de los Estados de Michoacán y Jalisco  
 Longitud : 41 km  
 Subtramo : Del km 0+000 al km 41+000  
 Origen : Jiquilpan  
 CAPA : BASE ASFÁLTICA

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL												NORM SCT
	1+000	3+000	4+000	5+000	6+000	7+000	8+000	9+000	10+000	12+000	13+000	
LADO	I	I	D	I	D	I	D	I	D	D	I	
ESPESOR ( cm )	15	18	16	22	27	20	17	27	10	20	20	
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m <sup>3</sup> )												
ABSORCIÓN (%)												
EQUIVALENTE DE ARENA (%)												
CONTRACCIÓN LINEAL (%)												
DESGASTE (%)												
GRANULOMETRÍA	CUMPLE											
PARTÍCULAS ALARGADAS (%)												
PARTÍCULAS LAJEADAS (%)												
ADHERENCIA												
% DE TRITURACIÓN												
CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO (%)												
CONTENIDO DE ASFALTO EN MEZCLA (%)	2.5	3.5	4.8	3	2.1	3	2.2	4.1	4.1	4	2.1	
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m <sup>3</sup> )	1198	1414	1345	1206	1209	1306	1292	1306	1306	1306	1321	
PESO VOLUMÉTRICO MÁXIMO (kg/m <sup>3</sup> )												
RESISTENCIA ESP. EN ESTADO SECO (kg/cm <sup>2</sup> )												
RESISTENCIA ESP. SATURADOS (kg/cm <sup>2</sup> )												
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN EN AGUA (%)												



Con los resultados de los trabajos de verificación de la calidad de las capas que integran la estructura de esta carretera, se pueden apreciar las características de los parámetros mecánicos y físicos del material; de lo cual se pueden realizar algunas observaciones:

- ❖ La estratigrafía encontrada mediante los sondeos realizados indica que la estructura de la carretera está integrada por una carpeta asfáltica, con un espesor promedio de 14.8 cm; le subyace una capa de base asfáltica en algunos tramos de 19.2 cm en promedio; luego una base hidráulica de 22.9 cm de espesor promedio; en seguida una capa de subbase de 14.5 cm de espesor promedio y por último se localiza el cuerpo de terraplén de 66 cm de espesor promedio.
- ❖ La estructura de esta carretera se apoya sobre el terreno natural compuesto en general por arcillas de mediana a alta plasticidad.
- ❖ Para la capa de Terraplén, el valor arrojado en las pruebas del límite líquido máximo, se encuentra por arriba del valor límite especificado por la SCT (50); el % de compactación encontrado en las pruebas, no alcanza el valor mínimo especificado por la SCT (90); en cuanto al VRS encontrado en las pruebas realizadas al material de esta capa, estos se encontraron muy por abajo del valor mínimo especificado por la SCT (5); para la expansión, los valores arrojados por las pruebas, fueron muy superiores al valor máximo especificado por la SCT (5).
- ❖ Para la capa de Sub-Base, los resultados de las pruebas de límite líquido en las muestras de material arrojó valores por arriba del valor máximo especificado por la SCT (30); en lo que se refiere al índice plástico, los valores encontrados en las pruebas, estos se ubicaron por abajo del valor máximo especificado por la SCT (10); en cuanto a los valores del VRS encontrados en las pruebas realizadas; estos se ubicaron por arriba del valor mínimo especificado por la SCT (50); los valores del equivalente de arena se encontraron por abajo del valor mínimo especificado por la SCT (30); los valores de compactación encontrados, estuvieron por abajo del valor mínimo especificado por la SCT (100).
- ❖ Para la capa de Base Hidráulica, los resultados de las pruebas de límite líquido en las muestras de material arrojó valores por arriba del valor máximo especificado por la SCT (25); en lo que se refiere al índice plástico, los valores encontrados en las pruebas, estos se ubicaron por arriba del valor máximo especificado por la SCT (6); en cuanto a los valores del VRS encontrados en las pruebas realizadas; estos cumplen, ya que se ubicaron por arriba del valor mínimo especificado por la SCT (80); los valores del equivalente de arena se encontraron por abajo del valor mínimo especificado por la SCT (40); los valores de compactación encontrados, estuvieron por abajo del valor mínimo especificado por la SCT (100).
- ❖ Para la capa de Base Asfáltica, existe una variabilidad en su espesor que va de 0 a 27 cm; en donde únicamente se encontró esta capa del km 0+000 al km13+000. El % de contenido de producto asfáltico encontrado en esta capa va del 2% al 4.8%; aquí la normativa de la SCT establece que para materiales estabilizados se deberá añadir emulsión o rebajado de un 3% a 4% y para bases asfálticas o bases negras se deberá de incorporar de un 4% a 5%.

- ❖ Para la capa de Carpeta Asfáltica existe una variabilidad en su espesor que va de 6 a 28 cm en todo el tramo; el % de contenido de producto asfáltico encontrado en esta capa va del 5% al 7%; aquí la normativa de la SCT establece un intervalo de contenido de cemento asfáltico de un 5% a 7%.
- ❖ Finalmente se concluye que en el tramo analizado de esta carretera que va del km 0+000 al km 41+000, la calidad del cuerpo de terraplén no cumple con la normativa vigente de la SCT; la capa de subbase es de regular a mala calidad, ya que algunos parámetros no cumplen con la normativa de la SCT; la capa de base hidráulica es de regular a mala calidad, ya que algunos parámetros no cumplen con la normativa de la SCT; la capa de base asfáltica cumple con los requisitos de contenido de asfalto para una base estabilizada de buena calidad o para una base asfáltica o base negra de regular a mala calidad y la carpeta asfáltica cumple con los requisitos en cuanto al contenido de cemento asfáltico.

Por otro lado, y en relación con la fricción existente entre llanta y la rugosidad de la superficie de rodamiento en esta carretera, encontramos que de acuerdo con la publicación técnica No 245, del año 2004, publicada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) el intervalo del coeficiente de fricción está entre 0.80 y 0.50, teniendo este último valor para las condiciones más críticas, es decir, con pavimento mojado, el cual se puede medir utilizando el péndulo TRRL (Transport and Road Research Laboratory), y este parámetro muestra la capacidad que tiene el pavimento de facilitar el contacto de la llanta con el pavimento en condiciones de seguridad y comodidad. Al no contar con la medición de este parámetro, se decidió tomar un valor de 0.5 para este coeficiente.

### 2.3.- Inventario visual.

Personal de la Dirección General de Conservación de Carreteras en Michoacán realizó en esta carretera una inspección de las condiciones en las cuales se encuentran las obras de drenaje existentes, arrojando los resultados mostrados en la tabla 14.

**Tabla 14.** Condiciones del estado que guardan las obras de drenaje en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

No OBRA	UBICACIÓN (km)	TIPO	AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
1	1+800	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
2	2+190	TUBO	0%	0.60 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
3	2+500	TUBO	0%	0.70 m de diám.	BUENO	Tiene un tubo de agua potable de lado a lado de 4"
4	2+700	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	
5	3+200	TUBO	20%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
6	3+400	TUBO	40%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
7	3+530	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
8	3+810	TUBO	100%	0.80 m de diám.	BUENO	Cancelada
9	4+150	TUBO	40%	0.80 m de diám.	BUENO	Cabezote derecho dañado y desazolver en conservación rutinaria
10	4+380	TUBO	40%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
11	4+640	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
12	4+940	TUBO	20%	1m de diám.	BUENO	Cabezote izquierdo dañado y desazolver en conservación rutinaria
13	5+260	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
14	5+610	LOSA	0%	3.2 x 2.4 x 27.5 m	BUENO	
15	5+800	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
16	6+010	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
17	6+230	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
18	6+450	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo

Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

No OBRA	UBICACIÓN (km)	TIPO	AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
19	6+700	TUBO	20%	0.70 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria y reemplazar 2 tubos
20	6+930	LOSA	0%	1.75 x 1.10 x 10.4 m	BUENO	
21	7+160	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
22	7+370	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
23	7+580	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes y 3 tubos de concha de 90 cm
24	7+710	TUBO	10%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
25	8+410	LOSA	30%	2x1.5x9.7	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
26	8+900	TUBO	30%	0.75 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria y reparar cab. der.
27	8+960	TUBO	50%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
28	9+180	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
29	9+540	TUBO	20%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes y desazolver en conservación rutinaria
30	9+650	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
31	9+970	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
32	10+180	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
33	10+370	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
34	10+570	TUBO	20%	0.75 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
35	11+150	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
36	11+400	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
37	11+600	TUBO	0%	1.25 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes
38	12+100	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
39	12+450	TUBO	0%	0.85 m de diám.	BUENO	
40	12+950	LOSA	10%	3.2x2x10.65	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
41	13+200	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
42	13+350	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes
43	13+500	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes
44	13+600	TUBO	0%	0.60 m de diám.	BUENO	
45	13+750	LOSA	0%	2.9x2x10.30	BUENO	

Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

No OBRA	UBICACIÓN (km)	TIPO	AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
46	13+850	TUBO	20%	0.95 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo y desazolver en consev. rut.
47	14+000	TUBO	30%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
48	14+150	TUBO	20%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote derecho y desazolver en conserv. rut.
49	14+350	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Rep. 2 tubos de concha dañados de 0.90 m de diámetro
50	14+600	LOSA	0%	1.5X0.8X9	BUENO	
51	14+800	TUBO	30%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes y desazolver en conservación rutinaria
52	15+100	TUBO	10%	0.95 m de diám.	BUENO	Reparar cabezotes y desazolver en conservación rutinaria
53	15+200	LOSA	0%	2x0.85x9.80	BUENO	
54	15+500	LOSA	0%	1.5x1.55x8.90	BUENO	
55	15+710	TUBO	30%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
56	15+900	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote izquierdo
57	16+250	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
58	16+400	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
59	16+800	BÓVEDA	0%	2.9x2.4x8.80	BUENO	
60	16+950	LOSA	50%	2x3x9	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
61	17+650	TUBO	20%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
62	17+850	TUBO	20%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
63	18+200	BÓVEDA	0%	1.6x1.25	BUENO	
64	19+150	LOSA	30%	2x3x9	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
65	19+350	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
66	19+550	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
67	19+750	TUBO	20%	0.90 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
68	19+900	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
69	20+550	LOSA	0%	2.9x2.4x8.80	BUENO	Reparar cabezote derecho
70	20+950	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	

Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

No OBRA	UBICACIÓN (km)	TIPO	AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
71	21+670	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
72	22+270	LOSA	0%	3.9x2.9x9.85	BUENO	
73	22+430	TUBO	30%	0.75 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote derecho y desazolvar en conserv. rut.
74	22+820	TUBO	20%	0.75 m de diám.	BUENO	Tiene dañada una concha del lado derecho y desazolvar en conservación rutinaria
75	22+950	LOSA	0%	1.75x0.75x9.3	BUENO	
76	23+190	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
77	23+420	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	
78	23+900	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	MALO	Repellar el cielo de la bóveda
79	24+200	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3		cancelada
80	24+980	LOSA	0%	2x0.85x9.50	BUENO	
81	25+150	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
82	25+350	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	
83	25+930	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	
84	26+250	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
85	26+550	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
86	27+100	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
87	27+400	TUBO	0%	0.85 m de diám.	MALO	
88	27+900	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	MALO	
89	28+200	BÓVEDA	0%	2x1.5x9.3	BUENO	
90	28+300	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
91	28+400	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
92	29+150	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote derecho
93	29+450	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Reparar cabezote derecho
94	29+800	LOSA	0%	2.45x1.7x10.30	BUENO	
95	30+330	LOSA	30%	3x1.5x15.80	BUENO	Desazolvar en conservación rutinaria
96	30+750	LOSA	0%	4.9x1x10.55	BUENO	
97	30+890	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
98	30+930	BÓVEDA	0%	1.5x1.5x11.75	BUENO	
99	31+400	BÓVEDA	0%	4x1.6x10.35	BUENO	
100	31+810	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	

No OBRA	UBICACIÓN (km)	TIPO	AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
101	32+180	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
102	32+390	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	
103	32+580	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Se requiere doble tubo
104	32+970	BÓVEDA	0%		BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
105	33+200	LOSA	0%	2.2x2.4x12.3	BUENO	
106	33+450	TUBO	0%	0.90 m de diám.	BUENO	Se requiere doble tubo
107	33+800	BÓVEDA	0%	1.55x1.65x11.10	BUENO	
108	33+950	TUBO	100%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
109	34+200	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
110	34+450	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
111	34+850	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
112	35+150	LOSA	0%	1.6x2.6x14.50	BUENO	
113	35+450	TUBO	0%	0.95 m de diám.	BUENO	
114	35+620	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
115	36+100	TUBO	30%	0.75 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
116	36+250	BÓVEDA	0%	1x2.3x16	BUENO	
117	36+610	TUBO	0%	0.90 m de diámetro	BUENO	
118	36+840	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
119	37+100	TUBO	0%	0.75 m de diám.	BUENO	
120	37+250	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
121	37+390	LOSA	20%	3x3.1x14.80	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
122	37+450	TUBO	0%	0.90 m de diámetro	BUENO	
123	37+750	TUBO	50%	0.75 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
124	38+990	TUBO	100%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
125	39+350	TUBO	0%	0.80 m de diám.	BUENO	
126	39+610	LOSA	0%	1.45x1.7x11.65	BUENO	Se requiere doble tubo
127	39+750	LOSA	0%	3x2.4x2	BUENO	
128	40+150	TUBO	0%	0.90 m de diámetro	BUENO	
129	40+750	TUBO	100%	0.80 m de diám.	BUENO	Desazolver en conservación rutinaria
130	40+880	LOSA	0%	2x2.4x13	BUENO	

Adicionalmente se realizó un inventario de las condiciones en las cuales se encuentran las obras complementarias de drenaje en esta carretera, de acuerdo con lo mostrado en la tabla 15.

Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

**Tabla 15.** Condiciones del estado que guardan las obras complementarias de drenaje en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

No	DEL km	AL km	IZQUIERDA			DERECHA			IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
			TIPO	ESTADO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS	TIPO	ESTADO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS	
1	0+000	0+200	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL				Desazolvar en conservación rutinaria
2	0+000	0+900	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	Desazolvar en conservación rutinaria
3	1+600	2+700				CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Desazolvar en conservación rutinaria
4	2+800	3+700				CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
5	4+600	7+000				CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
6	7+600	7+800				CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
7	9+600	10+000				CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
8	10+000	10+150				CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
9	10+000	10+600	CUNETA	REGULAR	ZAMPEADO				Desazolvar en conservación rutinaria
10	11+800	15+050	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
11	15+200	15+500	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
12	15+600	16+000	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
13	16+500	16+800	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	CUNETA	BUENO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
14	18+700	19+000	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
15	19+100	19+400	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
16	19+500	19+650	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
17	19+700	19+900	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico

Capítulo III.- Información de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

No	DEL km	AL km	IZQUIERDA			DERECHA			IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO
			TIPO	ESTADO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS	TIPO	ESTADO FÍSICO	CARACT.	
18	21+050	21+300	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
19	21+350	21+500				CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
20	21+550	21+750	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
21	21+800	22+100				CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
22	22+300	23+400				CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
23	23+100	23+300	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
24	23+400	23+700	CUNETA	MALO	ZAMPEADO	CUNETA	MALO	ZAMPEADO	Desazolver en conservación rutinaria
25	24+000	27+600				CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
26	31+000	33+000	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
27	33+000	33+200	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
28	33+200	33+900	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
29	34+300	34+600	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
30	35+600	36+000	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico
31	36+400	36+800	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
32	37+300	37+500	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
33	39+000	39+150	CUNETA	REGULAR	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
34	39+300	40+100	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
35	40+200	40+600	CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL				Construir cuneta de concreto hidráulico
36	40+700	40+900				CUNETA	MALO	TERRENO NATURAL	Construir cuneta de concreto hidráulico

Respecto a las condiciones superficiales con las que cuenta esta carretera, se realizó un inventario a pie de los daños que presenta la superficie de rodamiento, y en la tabla 16 se muestran los resultados.



## 2.4.- Información complementaria.

Se realizaron estudios de aforo de tránsito a finales del 2004 y principios del año 2005 por parte de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT y para esta carretera se muestran los resultados en la tabla 17.

**Tabla 17.** Tránsito Diario Promedio Anual y su composición en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

TDPA		
TIPO DE VEHÍCULO	%	NÚMERO
A	78.2	3,793
B	5.5	267
C2	6.1	296
C3	4	194
T3-S2	2.5	121
T3-S3	2.1	102
T3-S2-R4	1.6	78

**4,850**

Para cada uno de los vehículos que aparecen en la tabla anterior se calcularon los costos de sus insumos por kilómetro, considerando un tipo de vehículo específico que hay en el mercado para cada uno de ellos y que intervienen en la flota vehicular que circulan en esta carretera. Los costos obtenidos fueron de combustibles, lubricantes, llantas, refacciones, mantenimiento, etc; y de igual forma se realizó también una investigación de los precios unitarios existentes de cada vehículo en el mercado durante Enero y Febrero del 2006 y con lo cual se obtuvieron precios unitarios promedios de los insumos y los resultados se muestran enseguida:

### VEHÍCULO LIGERO (A)

Combi Volkswagen con motor de 86 HP  
Llantas goodyear convencionales

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	157.59
Uso de lubricantes	Litros	1.85
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.06
Tiempo de operador	Horas	11.35
Mano de obra de mantenimiento	Horas	2.15
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.14
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.4
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.12

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	194,587.90
Costo del combustible	\$/litro	5.65
Costo de lubricantes	\$/litro	29.46
Costo de llanta nueva	\$/llanta	791.78
Tiempo de operador	\$/hora	28.29
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	26.63
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.20

### AUTOBÚS (B)

Camión pesado de dos ejes DINA 551 con motor CATERP. 3126 B EPA 99.

Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	366.12
Uso de lubricantes	Litros	3.37
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.3
Tiempo de operador	Horas	11.45
Mano de obra de mantenimiento	Horas	11.06
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.13
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.02

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	1,715,608.40
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,014.50
Tiempo de operador	\$/hora	83.21
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	70.73
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.62

### **CAMIÓN ARTICULADO ( C2 )**

Camión pesado de dos ejes DINA 551 con motor CATERP. 3126 B EPA 99.

Carrocería de "estacas" 2.44 x 2.10 m x 21 pies.  
Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	329.43
Uso de lubricantes	Litros	3.37
Consumo de llantas	Nº llantas nuevas equiv.	0.17
Tiempo de operador	Horas	14
Mano de obra de mantenimiento	Horas	8.18
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.15
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.07
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.03

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	519,350.00
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	58.25
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	46.61
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.33

### **CAMIÓN ARTICULADO ( C3 )**

Camión pesado de tres ejes DINA 661 con motor CATERP. 3126 B EPA 99.

Carrocería de "estacas" 2.44 x 2.10 m x 22 pies.

Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	483.12
Uso de lubricantes	Litros	3.37
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.26
Tiempo de operador	Horas	13.76
Mano de obra de mantenimiento	Horas	12.44
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.22
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.03

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	660,790.00
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	58.25
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	46.61
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.47

### **CAMIÓN ARTICULADO ( T3-S2 )**

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Semiremolque de dos ejes tipo caja de aluminio de 40 pies.

Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	480.64
Uso de lubricantes	Litros	5.45
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.38
Tiempo de operador	Horas	11.63
Mano de obra de mantenimiento	Horas	30.48
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.02

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	1,122,373.44
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	66.57
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	46.61
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.75

### **CAMIÓN ARTICULADO ( T3-S3 )**

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Semiremolque de tres ejes tipo caja de aluminio de 40 pies.

Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	574.66
Uso de lubricantes	Litros	5.45
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.45
Tiempo de operador	Horas	12.44
Mano de obra de mantenimiento	Horas	30.48
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.02

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	1,164,915.95
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	66.57
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	46.61
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.69

### **CAMIÓN ARTICULADO ( T3-S2-R4 )**

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Sem. de dos ejes y remolque de 4 ejes tipo caja de aluminio de 40 pies

Llantas 1100-20 normal

CONSUMOS POR CADA 1,000 VEHÍCULO - KM	UNIDAD	CANTIDAD
Consumo de combustible	Litros	753.68
Uso de lubricantes	Litros	5.45
Consumo de llantas	No llantas nuevas equiv.	0.64
Tiempo de operador	Horas	14.63
Mano de obra de mantenimiento	Horas	30.48
Refacciones	% Precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% Precio vehículo nuevo	0.07
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio vehículo nuevo	0.03

COSTOS UNITARIOS ( \$ )	UNIDAD	CANTIDAD
Precio del vehículo nuevo	\$	1,425,031.40
Costo del combustible	\$/litro	5.14
Costo de lubricantes	\$/litro	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	66.57
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	46.61
Tasa de interés anual	%	10
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.94

También se realizó el cálculo de los ejes equivalentes que transmite las cargas y produce esfuerzos en la estructura de esta carretera, de acuerdo al tránsito vehicular y el resultado de este cálculo se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18.** Ejes equivalentes en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) (Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, Residencia Morelia, 2005)

### CÁLCULO DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

CARRETERA : JIQUILPAN - COLIMA  
 TRAMO : JIQUILPAN - LÍMITES DE MICHOACÁN Y JALISCO  
 SUBTRAMO : DEL KM 0+000 AL KM 41+000

TIPO DE VEHÍCULO	COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO (1)	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS CARGADOS O VACIOS (2)	COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO CARGADOS O VACIOS (3) = (1) x (2)	COEFICIENTES DE DAÑO		NÚMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 Ton		
				CARPETA Y BASE z = 15 cm (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS z = 90 cm (5)	CARPETA Y BASE (6) = (3) x (4) (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS (7) = (3) x (5) (5)	
A	0.782	CARGADOS	70	54.74	0.700	0.500	38.3	27.4
		VACIOS	30	23.46	0.300	0.300	7.0	7.0
B	0.055	CARGADOS	70	3.85	2.093	1.869	8.1	7.2
		VACIOS	30	1.65	0.897	0.801	1.5	1.3
C2	0.061	CARGADOS	70	4.27	1.603	3.367	6.8	14.4
		VACIOS	30	1.83	0.687	1.443	1.3	2.6
C3	0.04	CARGADOS	70	2.8	2.093	1.869	5.9	5.2
		VACIOS	30	1.2	0.897	0.801	1.1	1.0
T3-S2	0.025	CARGADOS	70	1.75	3.570	2.961	6.2	5.2
		VACIOS	30	0.75	1.530	1.269	1.1	1.0
T3-S3	0.021	CARGADOS	70	1.47	3.479	2.961	5.1	4.4
		VACIOS	30	0.63	1.491	1.269	0.9	0.8
T3-S2-R4	0.016	CARGADOS	70	1.12	3.598	1.757	4.0	2.0
		VACIOS	30	0.48	1.542	0.753	0.7	0.4
<b>SUMAS</b>	<b>1</b>	<b>—————</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>EJES EQUIVALENTES PARA TRÁNSITO UNITARIO (8)</b>		<b>88.2</b>	<b>79.8</b>
COEFICIENTE DE ACUMULACIÓN DEL TRÁNSITO, $CT = [(1+r)^n - 1] * 365$				$3.43 \times 10^{13}$	<b>TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO (9)</b>		<b>213,885</b>	<b>193,515</b>
n = AÑOS DE SERVICIO = 15 AÑOS r = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO = 5 %					<b>C<sub>T</sub> (10)</b>		<b>0.52</b>	<b>0.68</b>
<b>TDPA = TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL = 4,850</b>			<b>CD CARRIL PROYECTO =</b>		<b>ΣL (11) = (8) x (9) x (10)</b>		<b>9.80</b>	<b>10.49</b>

## 2.5.- Acciones y costos de conservación

A las carreteras que se encuentran bajo la jurisdicción de la SCT a nivel nacional y a las que tiene bajo su jurisdicción en Michoacán se les proporciona algún tipo de trabajo de conservación de acuerdo con diferentes perspectivas, como las que se muestran en la figura 16.

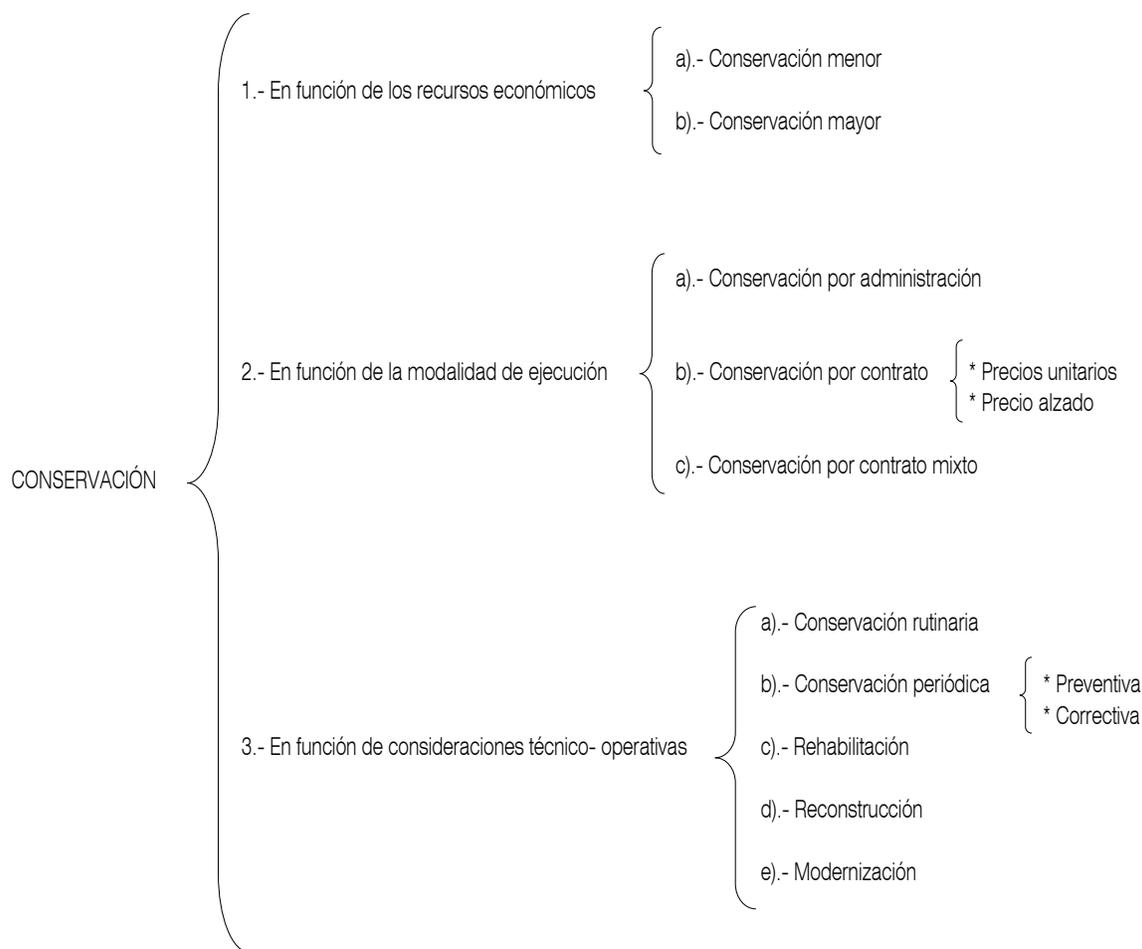


Figura 16. Tipos de conservación en carreteras.

Las técnicas generales de conservación para pavimentos flexibles que normalmente utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) en México y en Michoacán son: rutinaria, periódica, de rehabilitación y de reconstrucción, que pueden considerarse para su aplicación en carreteras y es importante su aplicación en el momento preciso y con la técnica precisa durante su vida de servicio como se muestra en la figura 17.



Existen distintos tipos de modernizaciones que van desde la modificación de curvas (peralte y grados de curvatura), reducción de pendientes, construcción del tercer carril de ascenso, construcción de un nuevo cuerpo y hasta construir nuevamente una carretera con un trazo diferente (Albrecht G., 2004). En la figura 18 se presentan las técnicas específicas que más utilizan los organismos encargados de la conservación de carreteras en México.

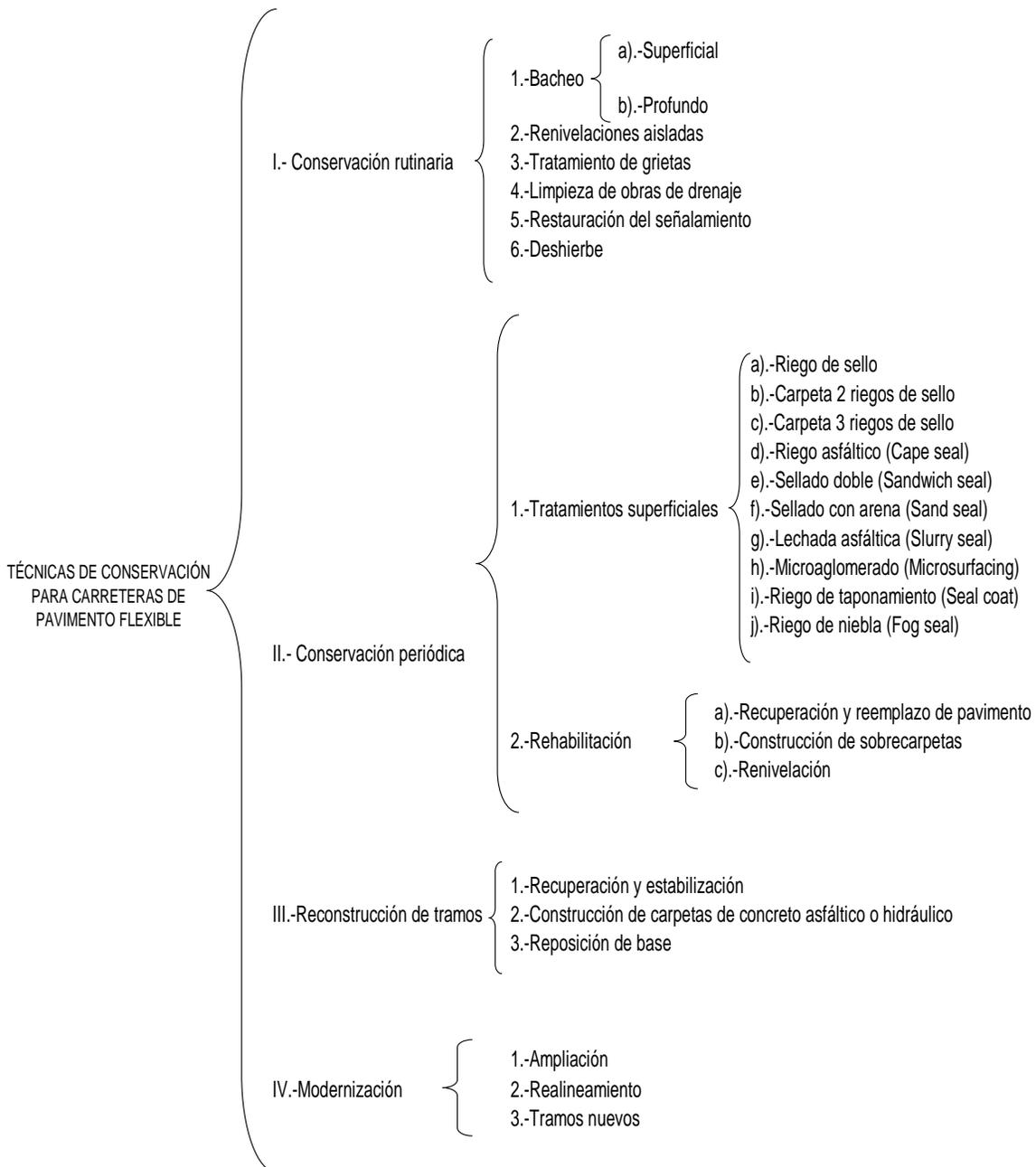


Figura 18. Técnicas empleadas en la conservación para carreteras de pavimento flexible en México

Enseguida se dará una breve descripción de algunos trabajos específicos de conservación (Orozco y Orozco, et al, 2004):

El riego de sello consiste en colocar una película delgada de asfalto (emulsión) y encima de ella una capa de material graduado. Fundamentalmente se utiliza para sellado de grietas, en especial cuando aparece agrietamiento generalizado, malla de gallinero o piel de cocodrilo; cuando existen problemas de pulimento en la superficie de rodamiento; o cuando se presentan zonas con asfalto llorado.

El objetivo principal del riego de sello es mejorar la textura de la superficie de rodamiento aplicando una capa con mejor índice de fricción entre llanta y pavimento. Existen otras clases de riego de sello de mejor calidad y más resistencia, como la lechada asfáltica, riego con cemento asfáltico, también denominado Slurry-seal, empleadas en carreteras de altos volúmenes vehiculares y en carreteras de altas especificaciones. Las carpetas a base de riegos son superficies asfálticas de espesor no mayor a 3 cm que alcanzan este grosor mediante la aplicación de uno o más riegos, y colocando material graduado de diferentes tamaños.

La sobrecarpeta tendida sobre la superficie de rodamiento, y elaborada con mezclas bien diseñadas de concreto asfáltico en frío o en caliente, tiene por objeto principal reforzar estructuralmente la sección del pavimento. Esta acción comúnmente toma la decisión de ejecutarla en períodos cada 5, 7 o 10 años, con el fin de prolongar la vida útil de todo el pavimento.

Por razones constructivas, es conveniente tender sobrecarpetas de refuerzo con un máximo de espesor de 10 cm por capa, con el propósito de alcanzar la compactación especificada. Es conveniente emplear espesores que van de los 3 cm hasta los 10 cm, ya que para espesores de refuerzo mayores se puede optar mejor por la reconstrucción parcial o total.

La renivelación es el tendido de una capa de mezcla asfáltica cuyo espesor varía a lo largo del tramo, aunque se considera que no debe ser superior a los 3 cm. Esta solución se adopta cuando existen problemas de deformaciones longitudinales o transversales, siempre y cuando las capas inferiores cuenten con una capacidad estructural adecuada, y si hay carpetas, estas no deben presentar agrietamiento.

La recuperación y reemplazo del pavimento consiste en el levantado de parte o de toda la sección estructural del pavimento, pudiendo si es el caso, llegar hasta la subrasante, para reciclar si es conveniente y nuevamente tender y compactar cada una de las capas con el material recuperado y estabilizado con cal, cemento hidráulico o asfalto.

Cada una de las intervenciones que se efectúen a una carretera, evidentemente traen implícitamente asociado un costo, que dependerá de la magnitud de la acción de mantenimiento y del precio de los insumos para poder llevarla a cabo (personal, equipo menor, maquinaria y materiales).

La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ha elaborado un catálogo de conceptos de conservación, el cual incluye 63 acciones divididas en terracerías, estructuras y obras de drenaje, y pavimentos; para cada una establece un precio a costo directo, e incluye el análisis del precio unitario correspondiente.

Para este trabajo de investigación únicamente se consideraron las acciones de conservación rutinaria o de rutina, periódica y reconstrucción del catálogo de conceptos, ya que se trata de valores promedios en el país y forma parte del tabulador de costos directos de la SCT.

Pueden existir diferencias entre el costo promedio calculado por la Dirección General de Conservación de Carreteras y el costo local, y considerando que la ejecución de las acciones se realizará durante el periodo presupuestal siguiente a partir del que se obtienen los resultados con el HDM-4, por lo que habrá variación entre lo estimado y lo real, debido a la inflación acumulada en el periodo de tiempo considerado (Orozco y Orozco, et al, 2004).

Si los resultados de las acciones propuestas por el HDM-4 no se llevaran a cabo de manera inmediata, se vuelve necesario establecer un factor de proyección que determine los montos para el horizonte en el cual se pretende realizar los trabajos. Esta proyección considera los factores inflacionarios que se han presentado en el país durante los últimos años, de acuerdo con lo reportado por el Banco de México (Orozco y Orozco, et al, 2004).

Existen dos posibilidades; la primera, es que la acción se ejecute de manera inmediata o casi inmediata a los resultados arrojados por el HDM-4, por lo que puede considerarse despreciable el factor inflacionario; y la segunda, es que la intervención se realice en un año posterior, siendo necesario incluir el factor inflacionario en la determinación del costo. Es posible ajustar el factor inflacionario, de acuerdo con las condiciones de la región, puesto que el incremento en los precios no necesariamente es uniforme en todo el territorio nacional; ni en todos los años, ya que la estimación de la inflación por parte del Banco de México se realiza con base en la canasta básica (Orozco y Orozco, et al, 2004).

Existen varias posibilidades para utilizar los resultados de costos que arroja el HDM-4, como son la estimación de los recursos necesarios para el siguiente año presupuestal, a lo largo de un periodo específico, o para asignar los recursos con que ya se cuenta para la conservación de carreteras; por ello, será necesario asignar un factor o índice inflacionario como un elemento adicional que permita tomar en cuenta los cambios en los montos en un periodo determinado de tiempo. Para esto puede utilizarse un índice que se calcula como el cociente entre el Índice nacional de precios al consumidor actual entre el Índice nacional de precios al consumidor del año de referencia (Orozco y Orozco, et al, 2004).

En la tabla 19 se presentan los costos en dólares americanos para los trabajos que más se utilizan en la conservación de carreteras.

**Tabla 19.** Costos de los trabajos de conservación en dólares americanos (Fuente: SCT y HDM-4, 2006)

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Dólares americanos)
* Sellado de fisuras cuando la fisuración estructural sea $\geq 5\%$ , deshierbe, limpieza de obras y señalamiento	m <sup>2</sup>	3
* Bacheo	m <sup>2</sup>	8
* Fog seal (Sello niebla) cuando el agrietamiento superficial sea $\geq 3\%$	m <sup>2</sup>	4
* Incrustación en rodera cuando la profundidad de la rodera sea $\geq 20$ mm	m <sup>2</sup>	20
* Resellado cuando el agrietamiento superficial sea $\geq 3\%$	m <sup>2</sup>	6
* Refuerzo de 50 mm cuando el IRI sea $\geq 6$ o cuando el agrietamiento estructural sea $\geq 15\%$	m <sup>2</sup>	15
* Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm cuando el IRI sea $\geq 6$ o cuando el agrietamiento estructural sea $\geq 20\%$	m <sup>2</sup>	26
* Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm cuando el IRI sea $\geq 6$ o cuando el agrietamiento estructural sea $\geq 20\%$	m <sup>2</sup>	30
* Reconstrucción cuando el IRI sea $\geq 12$ o cuando el área dañada sea $\geq 40\%$	m <sup>2</sup>	40
<b>Trabajos preparatorios:</b>		
* Renivelación superficial	m <sup>2</sup>	14
* Bacheo	m <sup>2</sup>	8
* Reparación de bordes	m <sup>2</sup>	12
* Sellado de fisuras	m <sup>2</sup>	3

## IV.- APLICACIÓN DEL HDM-4

Para llevar a cabo la aplicación del HDM-4 en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) primero se especificó el método de análisis, el cual se menciona a continuación:

### 1.- MÉTODO DE ANÁLISIS.

La aplicación del HDM-4 en la carretera piloto estudiada en este trabajo de investigación se realizó utilizando la herramienta de análisis de proyecto y el procedimiento general nos permitió valorar la viabilidad física, funcional y económica de alternativas de proyecto específicas comparándolas con un caso base. El análisis de proyecto está asociado a los siguientes tipos de proyecto de carreteras:

a).- Conservación de carreteras existentes.

Estos trabajos cubren una gran cantidad de técnicas de conservación para diferentes tipos de pavimento. En este tipo de trabajo también se incluyen aquellos que surgen cuando un pavimento ha recibido una deficiente conservación en su tiempo de vida o porque el pavimento no fue construido siguiendo los estándares de calidad requeridos en el diseño original (conocido como rehabilitación).

b).- Mejora de carreteras existentes.

Este proyecto tiene como finalidad el de proveer capacidad adicional cuando la carretera está cercana al final de su vida útil o cuando ha sufrido un imprevisto cambio en su utilización. Los trabajos incluyen medidas para mejorar la calidad del servicio, tales como alivio de la congestión del tráfico, seguridad, necesidad de ampliar los carriles, etc. Ejemplos de proyectos de mejora son la rehabilitación, reconstrucción del pavimento, pavimentado de carreteras de grava, mejoras geométricas, etc.

c).- Nueva construcción.

Incluye la construcción de un nuevo pavimento en una ubicación totalmente nueva, aunque en muchos casos se utilicen trazados existentes, por ejemplo, para conectar nuevos desarrollos de infraestructura.

d).- Construcción por etapas.

Consiste en mejoras planificadas a los estándares del pavimento de una carretera, por etapas a lo largo de su vida, en donde frecuentemente el alineamiento requerido al final de las etapas del proyecto se establece desde el principio de su construcción. Una estrategia podría comenzar con la construcción de una carretera de grava que será pavimentada cuando la intensidad del tráfico haya alcanzado un nivel preestablecido.

e).- Evaluación de proyectos anteriores.

En esta etapa se evalúa el rendimiento de un proyecto terminado para ver si los objetivos fijados durante el periodo de valoración, han sido alcanzados. El proyecto de evaluación requiere datos que han sido recopilados y almacenados de forma sistemática a través de todas las etapas del ciclo del proyecto.

De la evaluación, podrían obtenerse recomendaciones sobre aspectos de mejora del diseño del proyecto que pueden ser usadas inmediatamente o en planificaciones futuras. Un ejemplo de evaluación puede ser evaluar la condición actual de la carretera piloto que es objeto de este trabajo y que se muestra en la figura 19.



**Figura 19.** Condición superficial en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia)

## 2.- PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS POR PROYECTO.

Un proyecto se define como un conjunto de trabajos que serán llevados a cabo en uno o más tramos de una carretera y que pueden ser convenientemente agrupados para ser realizados como un solo trabajo y se pueden analizar varias alternativas de proyecto para determinar cual es la más costo-efectiva de implantar. Una alternativa de proyecto consiste en diferentes opciones de trabajo aplicadas a los diferentes tramos que componen el proyecto (The World Road Association, 2000).

En el análisis por proyecto los tramos de la carretera se agrupan en un conjunto para considerar las alternativas como una unidad básica al realizar el análisis económico. Los indicadores económicos se calculan para cada alternativa comparándolos con la alternativa base y solamente usando este método se pueden realizar análisis de nuevos tramos y tráfico derivado (The World Road Association, 2000). El procedimiento general para realizar el análisis de proyecto en el HDM-4 se resume como sigue:

a).- Crear el proyecto que será estudiado, definiendo la carretera que será analizada asignándole un título, especificando la red que será analizada y el parque de vehículos que usará la red.

b).- Definir el proyecto, especificando lo siguiente:

- ❖ Información general sobre el proyecto.
- ❖ Tramos que serán analizados.
- ❖ Tipos de vehículos que circulan por cada uno de los tramos.
- ❖ Características del tráfico en los tramos seleccionados.
- ❖ Alternativas de conservación del proyecto que serán analizadas para cada uno de los tramos.

c).-Ajustar la configuración del análisis, especificando las comparaciones que serán llevadas a cabo, la tasa de descuento y los análisis requeridos.

d).- Ejecutar el análisis.

e).- Los resultados del análisis que realiza el HDM-4 se agrupan de la siguiente manera:

- ❖ Efectos del deterioro y de los trabajos.
- ❖ Efectos sobre los usuarios de la carretera.
- ❖ Efectos ambientales.
- ❖ Uso de energía.
- ❖ Flujo de costos.
- ❖ Otros.

La aplicación del HDM-4 en la carretera piloto se describe a continuación:

### 3.- APLICACIÓN DEL HDM-4 EN LA CARR. JIQUILPAN-LÍM. DE MICH. Y JAL.

En este trabajo se realizó la aplicación del HDM-4 al proyecto piloto de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), el cual se realiza considerando 3 tramos en que se ha dividido esta carretera pavimentada de 41 km; esta división es debida a que existen variaciones en las características geométricas, como el ancho, pendiente, tipo de terreno; también existe variación en cuanto a la condición superficial de la superficie de rodamiento, ya que el IRI medido es diferente en cada uno de ellos; así mismo existe una variación en la capacidad estructural de cada uno de estos tramos, y además las deflexiones que se obtuvieron son diferentes para cada uno de ellos.

En este estudio se evaluaron diferentes alternativas de conservación que incluyen trabajos de rutina (Bacheo, sellado de grietas, deshierbe, limpieza de obras de drenaje y mantenimiento del señalamiento), sello niebla, incrustación, refuerzo, fresado y reemplazo, y resellado. Para este estudio se realizó la comparativa de las alternativas de cada uno de los tramos que componen a la carretera y así tener la posibilidad de elegir la mejor de ellas y aplicarla para lograr una conservación efectiva y eficaz en esta carretera.

Una vez instalado el programa HDM-4 en la computadora se debe abrir, mostrándonos su espacio de trabajo, en donde se creó la base de datos para este estudio en la pestaña análisis de proyecto. Inmediatamente se abre una ventana, la cual nos pide el nombre del proyecto, el de la red de carreteras y el del parque de vehículos por analizar. En la figura 20 se muestran los datos generales del HDM-4.



Figura 20. Datos generales del HDM-4 (Fuente: HDM-4, 2001)

En este trabajo de investigación, el nombre del estudio se llama: Análisis de alternativas de conservación de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco. El nombre de la red carretera es Red federal de carreteras en Michoacán y el del parque de vehículos se llama: Flota vehicular Jiquilpan-Lím. Mich.-Jalisco.

Después de introducir estos datos al HDM-4, automáticamente son guardados en la carpeta de estudios existentes y para abrirlo nuevamente basta con pulsar 2 veces esta carpeta, en donde se despliega otra ventana con 3 iconos que corresponden a proyectos, programas y estrategias como se muestra en la figura 21; debemos pulsar el icono de análisis de proyecto; en donde se abre otra nueva ventana en donde nos muestra la ubicación de nuestro estudio y pulsando 2 veces esta, se abrirá otra ventana conteniendo la base de datos que requiere el HDM-4 para realizar el análisis por proyecto de este trabajo de investigación.

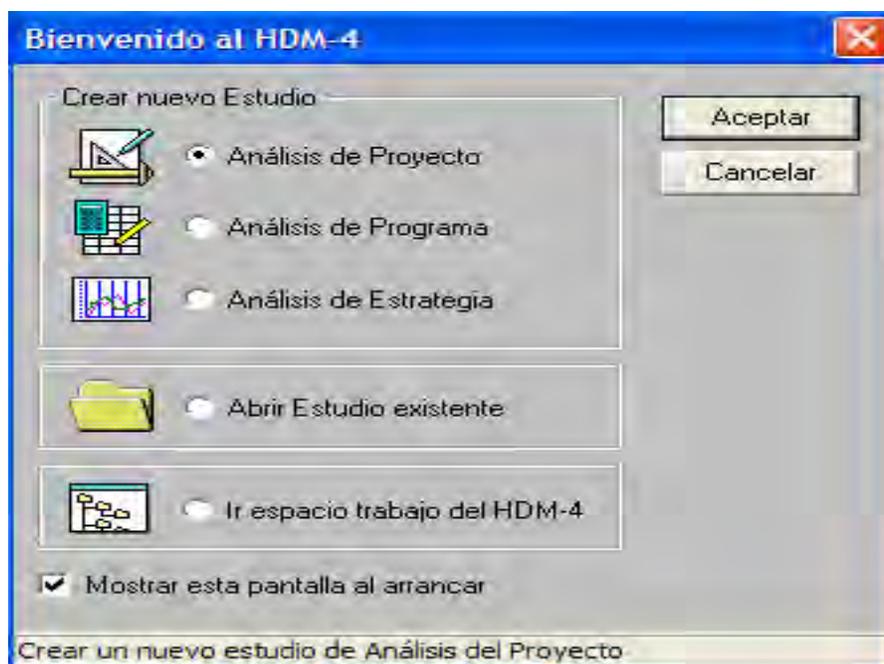


Figura 21. Pantalla de entrada al HDM-4

### 3.1.- Definición de los detalles del proyecto.

La base de datos de este proyecto se introduce desde las siguientes pantallas del proyecto de HDM-4:

a).- Detalles de definición del proyecto:

- a.1).- General.
- a.2).- Selección de tramos.
- a.3).- Selección de vehículos.
- a.4).- Definición de tráfico normal.

b).- Especificación de alternativas.

- b.1).- Alternativas.

c).- Análisis del proyecto.

- c.1).- Configuración.
- c.2).- Ejecución del análisis.

En la figura 22 se describe el proceso de introducción de los datos requeridos, así como también al mismo tiempo se muestra el funcionamiento del análisis de proyecto para este trabajo de investigación, utilizando el HDM-4:

a.1).- General.

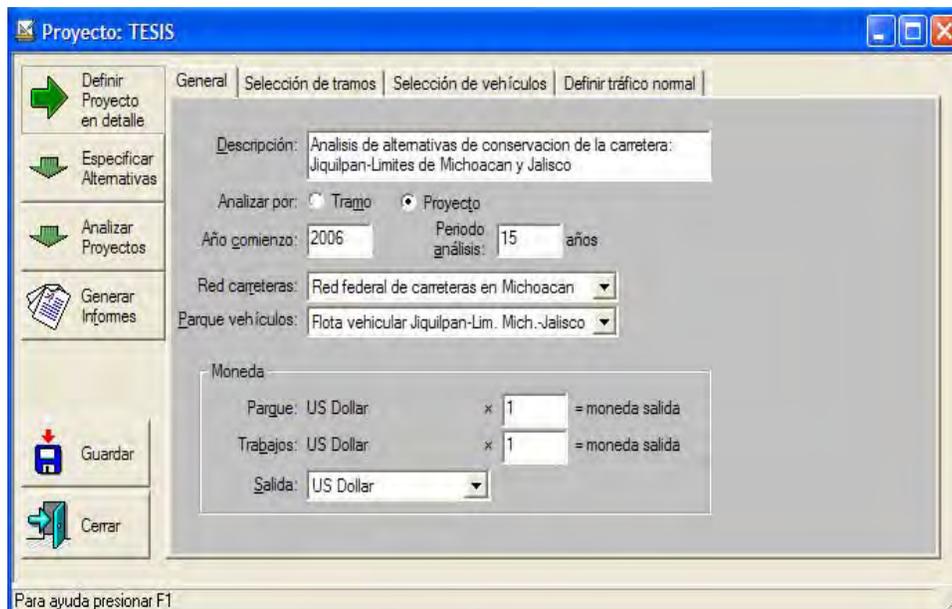


Figura 22. Pantalla general que muestra el proyecto en estudio.

Esta pantalla muestra la descripción del proyecto, el tipo de análisis, el período de análisis y los datos de la red de carreteras y del parque de vehículos, realizándose el estudio como un análisis de proyecto. La carretera que se estudia se representa por tres tramos como se muestra en la figura 23 y las diferentes propuestas de conservación se representan como alternativas.

Las características de los tres tramos de la carretera se introducen dentro de red de carreteras, específicamente en la red federal de carreteras en Michoacán. Las características de los vehículos que usan la carretera se introducen en parque de vehículos, y específicamente en flota vehicular Jiquilpan- Lím. Mich.-Jalisco. El período de análisis se define comenzando en el año 2006 y terminando en el año 2020, con una duración de 15 años.

a.2).- Selección de tramos.

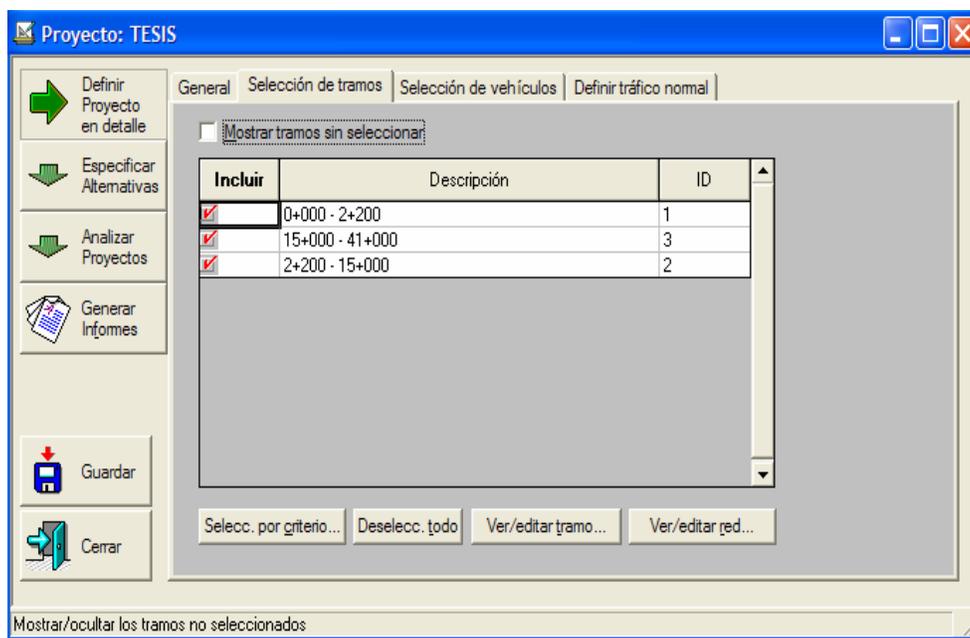


Figura 23. Pantalla selección de tramos

Esta pantalla nos muestra cuales son los tramos que se incluirán en el análisis y pulsando dos veces en la descripción del tramo se muestra la pantalla Definición/Geometría/Pavimento/Condición, donde se muestran las características de cada uno de ellos.

❖ Definición.

Tramo: 0+000 - 2+200

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo: 0+000 - 2+200  
ID del tramo: 1  
Nombre ruta: MEX-110  
ID de ruta:  
Tipo de vel/cap: Four Lane Road  
Modelo de tráfico: Free-Flow  
Zona climática: Semi-arid/Tropical  
Clase carretera: Secondary or Main  
Tipo c.rodadura: Bituminosa  
Tipo fime: T. superficial sobre mezcla bituminosa

Longitud: 2.2 km  
Ancho de calzada: 10.5 m  
Ancho de arcén: 0 m  
Número de cantiles: 4

Trafico  
Motorizado: 2116 IMD  
No motorizado: 0 IMD  
Año: 2006  
Sentido: Ambos sentidos

Detalles... Aceptar Cancelar

Atributos de definición de tramo

Figura 24. Pantalla definición de un tramo

La figura 24 muestra la pantalla definición en donde se especifican los detalles de las características básicas de cada uno de los tramos, incluyendo la clase de carretera, el clima, la intensidad del tráfico, etc. El tipo de pavimento se especifica como tratamiento superficial sobre mezcla asfáltica (STAP, por sus siglas en inglés).

❖ Geometría.

Tramo: 0+000 - 2+200

Definición | Geometría | Fime | Estado

Rampas + pendientes: 7 m/km  
Curvatura horizontal media: 30  $\text{m}^2/\text{km}$   
Velocidad límite: 40 km/h  
Altitud: 1550 m  
Tipo dren: Forma de V - blando

Detalles... Aceptar Cancelar

Datos de geometría

Figura 25. Pantalla para introducir datos de la geometría del tramo

La figura 25 muestra la pantalla geometría en donde se especifican los detalles de la geometría de cada uno de los tramos de la carretera, incluyendo el alineamiento vertical y horizontal, tales como rampas + pendientes, limitado a velocidades máximas que van de 40 km/hr hasta 80 km/hr. Los datos del alineamiento de cada uno de los tramos se estimaron a partir de mapas topográficos del INEGI y de información proporcionada de la DGCC durante el año 2006.

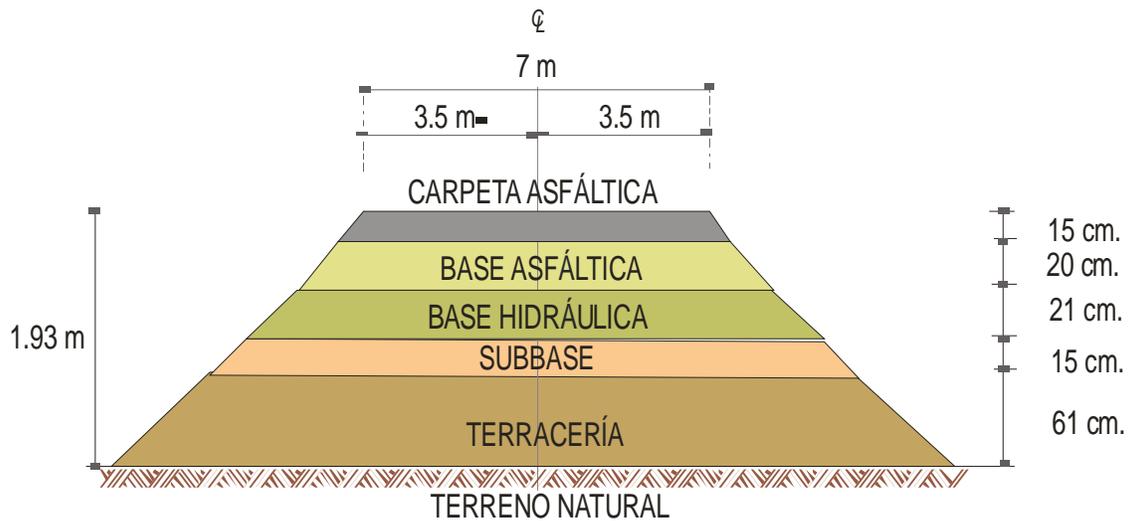
❖ Firme.

La construcción del pavimento existente para los tres tramos de la carretera consisten en un tratamiento superficial sobre una carpeta de concreto asfáltico, la cual en los 2 primeros tramos se apoya sobre una capa de base asfáltica y esta sobre una capa de base hidráulica, además se apoya esta sobre una capa de subbase granular. La terracería tiene un VRS igual a 2% del km 0+000 al km 2+200; del km 2+200 al km 15+000 el VRS es de 3.3% y en el tramo del km 15+000 al km 41+000 tiene 3%, y la estructura de esta carretera para cada uno de los tramos se muestran en las figuras 26, 27 y 28.



**Figura 26.** Corte que muestra la estructura del tramo del km 0+000 al km 2+200

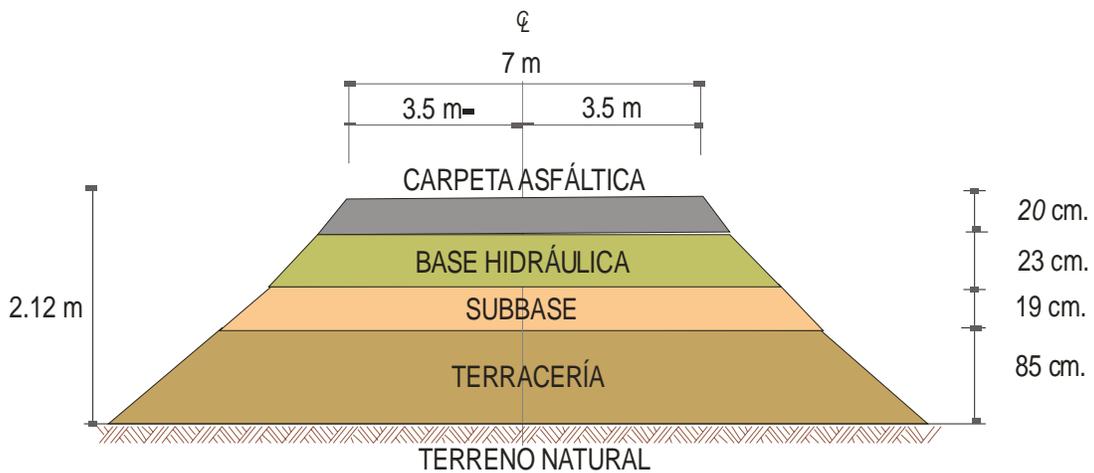
## Del 2+200 al 15+000



## SECCIÓN TRANSVERSAL

Figura 27. Corte que muestra la estructura del tramo del km 2+200 al km 15+000

## Del 15+000 al 41+000



## SECCIÓN TRANSVERSAL

Figura 28. Corte que muestra la estructura del tramo del km 15+000 al km 41+000

Los datos requeridos por el HDM-4 para este tipo de pavimento, se aprecian en la figura 29.

Figura 29. Pantalla para introducir datos del pavimento del tramo

La especificación del tipo de pavimento se refiere a la construcción del pavimento actual y deben especificarse los trabajos realizados con anterioridad en la pantalla firme. El tipo de pavimento se actualiza automáticamente después de cualquier trabajo de conservación.

Para el caso específico de esta carretera se han llevado a cabo varios trabajos en el pavimento, en donde implican cambios realizados al tipo de pavimento desde la fecha de la última reconstrucción (1995), utilizando mezcla asfáltica sobre una base granular (AMGB). Posteriormente, en 1999, se aplicó un refuerzo estructural de concreto asfáltico:

$$\text{AMGB+Refuerzo} = \text{AMAP}$$

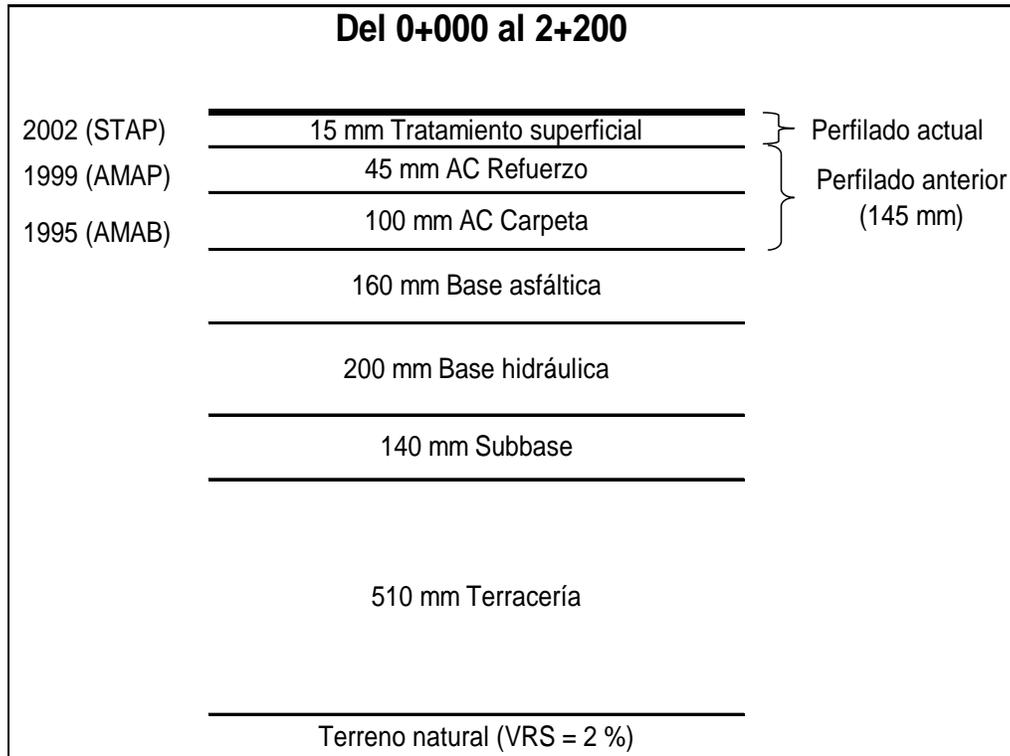
En el año 2002 se aplicó un tratamiento superficial en la capa de rodamiento a base de un resellado:

$$\text{AMAP+Tratamiento superficial} = \text{STAP}$$

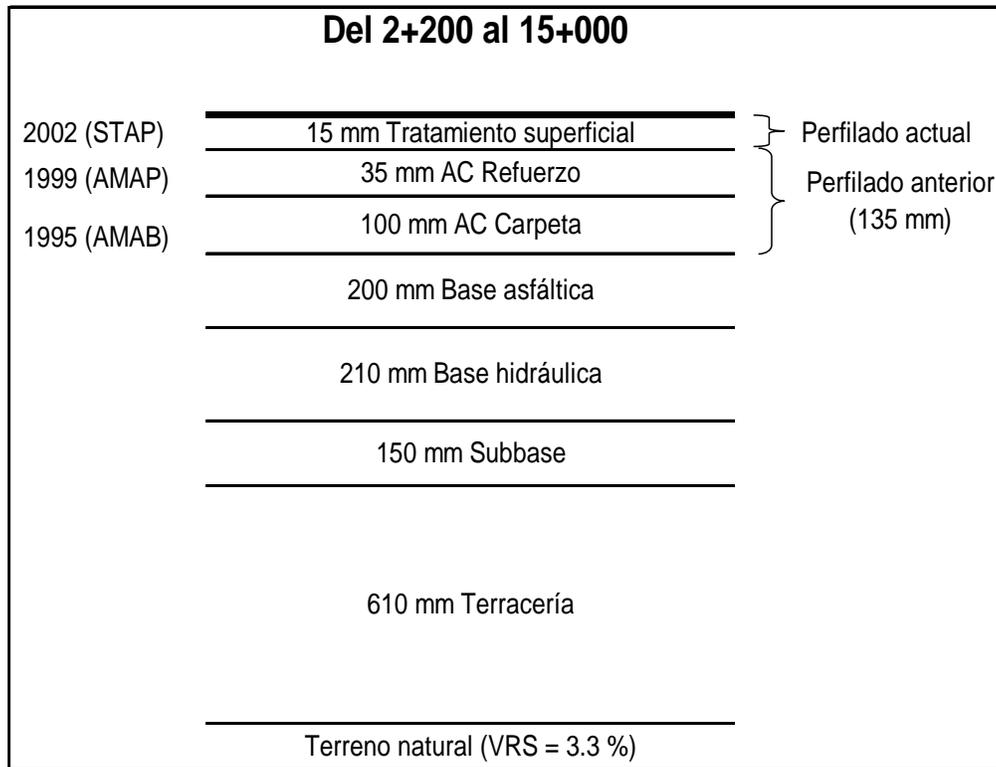
Las fechas de cada uno de los trabajos anteriores se refieren a tipos de trabajos de HDM-4 y se incluyen en la ventana de tramo/pavimento, los cuales se reconocen como edad 1, edad 2, edad 3 y edad 4, quedando ubicadas y especificadas como se muestra a continuación:

Edad 4 = Fecha de la última reconstrucción	= 1995
Edad 3 = Fecha de la última rehabilitación	= 1999
Edad 2 = Fecha de la última renovación superficial	= 2002
Edad 1 = Fecha del último tratamiento preventivo	= 2002

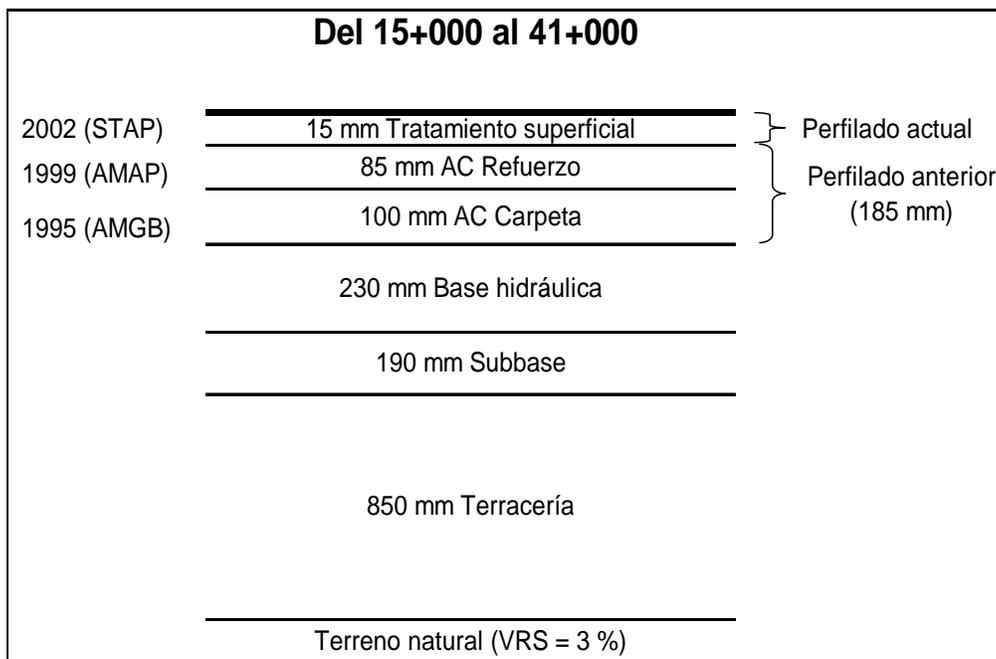
En las figuras 30, 31 y 32 se muestran los cambios realizados al tipo de pavimento desde la fecha de la última reconstrucción.



**Figura 30.** Cambios realizados al pavimento del tramo del km 0+000 al km 2+200



**Figura 31.** Cambios realizados al pavimento del tramo del km 2+200 al km 15+000



**Figura 32.** Cambios realizados al pavimento del tramo del km 15+000 al km 41+000

En la tabla 20 se presenta un resumen de los tipos de pavimento ajustados y que se actualizan automáticamente después de los trabajos de conservación.

**Tabla 20.** Ajustes a los tipos de pavimentos después de los trabajos de conservación (Fuente: The World Bank, volumen 2 de la documentación técnica del HDM-4, año 2000)

ACTIVIDAD	TIPOS DE PAVIMENTO EXISTENTE							
	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Trabajos rutinarios	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Tratamiento preventivo	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Resellado	STAP	STAP/ STSB <sup>1</sup>	STAP	STAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Refuerzo	AMAP	AMAP/ AMSB <sup>1</sup>	AMAP	AMAP	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP
Incrustación	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Fresado y reemplazo de la capa de rodamiento	**AP	**AP	**AP	**AP	N/A	**SB	**AB	**AP
Fresado y reemplazo de capa	**GB	**SB	**AB	**AP	**GB	**SB	**AB	**AP

Notas:

1.- El tipo de pavimento depende del espesor crítico (Hmín.) de la capa de rodamiento asf. existente

\*\*Indica que esos dos caracteres dependen de la actividad específica o acción de conservación y del material de la capa de rodamiento

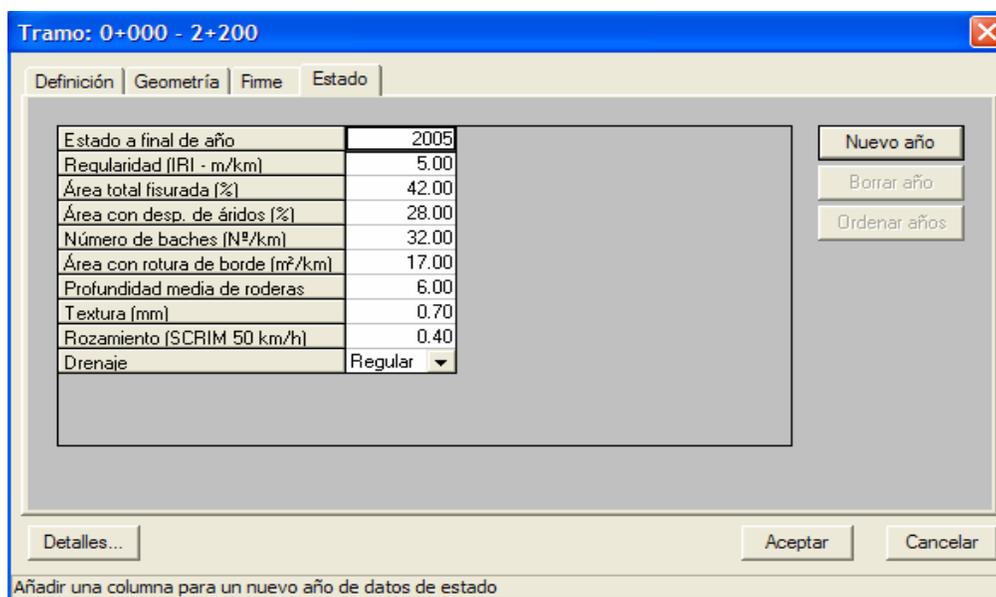
N/A = No aplicable

La pantalla firme nos muestra la resistencia del pavimento, definido por el número estructural ajustado (SPN, por sus siglas en inglés). El número SPN incorpora un factor de peso que reduce la contribución de la subbase y de la terracería. En la tabla 21 se muestra la clasificación de las actividades por tipo de trabajo.

**Tabla 21.** Posicionamiento de los trabajos aplicables a la calzada de una carretera (Fuente: The World Bank, volumen 2 de la documentación técnica del HDM-4, año 2000)

TIPO DE TRABAJO	ACTIVIDAD / OPERACIÓN	POSICIÓN	COSTO UNITARIO
Nuevo tramo	Duplicación de un tramo existente	1	Por km
Actualización	Actualización a un tipo de calzada mejorada	2	Por km
Mejora del trazado	Mejora del trazado geométrico	3	Por km
Ensanche	Adición de un carril	4	Por m <sup>2</sup> o por km
	Ensanche parcial	5	Por m <sup>2</sup> o por km
Reconstrucción	Reconstrucción del pavimento	6	Por m <sup>2</sup> o por km
Mejoras	Fresado y reemplazo	7	Por m <sup>2</sup>
	Refuerzo con mezcla asfalto-caucho	8	Por m <sup>2</sup>
	Refuerzo con mezcla asfáltica	9	Por m <sup>2</sup>
	Refuerzo con mezcla porosa o asfáltica	10	Por m <sup>2</sup>
	Incrustación	11	Por m <sup>2</sup>
Renovación superficial (Resellado)	Refuerzo fino	12	Por m <sup>2</sup>
	Sellado de capa con corrección de forma	13	Por m <sup>2</sup>
	Sellado de capa	14	Por m <sup>2</sup>
	Doble sellado de capa de rodamiento con corrección de forma	15	Por m <sup>2</sup>
	Doble sellado de capa de rodamiento	16	Por m <sup>2</sup>
	Sellado sencillo de capa de rodamiento con corrección de forma	17	Por m <sup>2</sup>
Tratamiento preventivo	Sellado sencillo de capa de rodamiento	18	Por m <sup>2</sup>
	Mezcla selladora	19	Por m <sup>2</sup>
	Sello niebla	20	Por m <sup>2</sup>
Rutina del pavimento	Rejuvenecimiento	21	Por m <sup>2</sup>
	Reparación del borde	22	Por m <sup>2</sup>
	Bacheo	22	Por m <sup>2</sup>
	Sellado de fisuras	22	Por m <sup>2</sup>

❖ Condición o estado.



**Figura 33.** Pantalla que muestra el estado de la carretera

En la figura 33 se muestra la pantalla estado, en donde debemos introducir datos de IRI, daños superficiales, estado del drenaje, deterioros, textura, coeficiente de fricción, etc.

a.3).- Selección de vehículos.

En la figura 34 se muestra la pantalla en donde debemos introducir las características de cada uno de los vehículos que integran el parque vehicular y que circula en esta carretera.

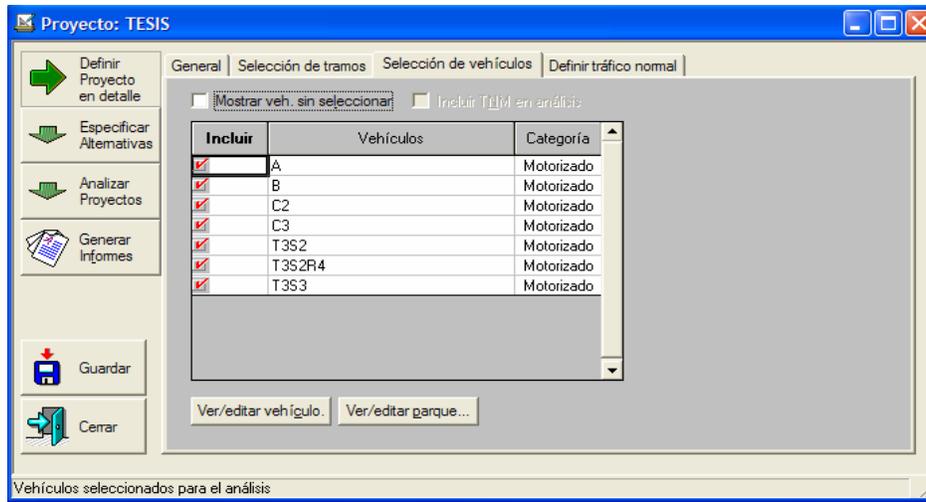


Figura 34. Pantalla que muestra los vehículos seleccionados en el análisis

a.4).- Definición del tráfico normal.

En la figura 35 se presenta la pantalla en donde se muestran las características del tráfico normal para cada uno de los tres tramos de la carretera y en donde podemos introducir las características del volumen de tráfico en términos de la intensidad media diaria (IMD) en el año de inicio del análisis. También se debe especificar la composición del tráfico inicial y las tasas de crecimiento para cada tipo de vehículo.

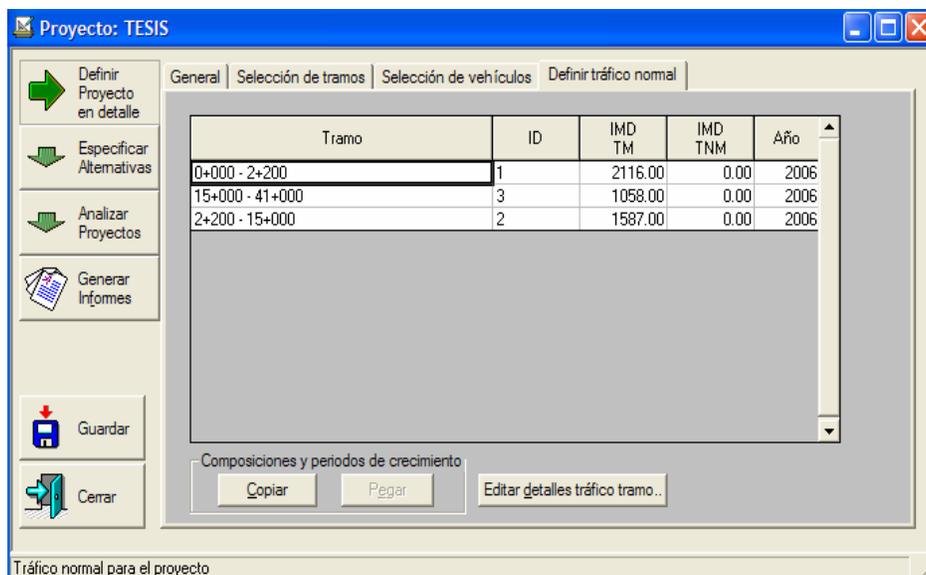


Figura 35. Pantalla que muestra la definición del tráfico normal que circula en la carretera

### 3.2.- Especificación de alternativas.

La figura 36 muestra la pantalla en donde se aprecian las alternativas elegidas después de seleccionar el botón especificar alternativas, dividiéndose en dos partes, la parte superior muestra los nombres de las alternativas que han sido seleccionadas para el estudio de este trabajo y la parte inferior muestra los detalles de los estándares de trabajos asociados con cada alternativa.

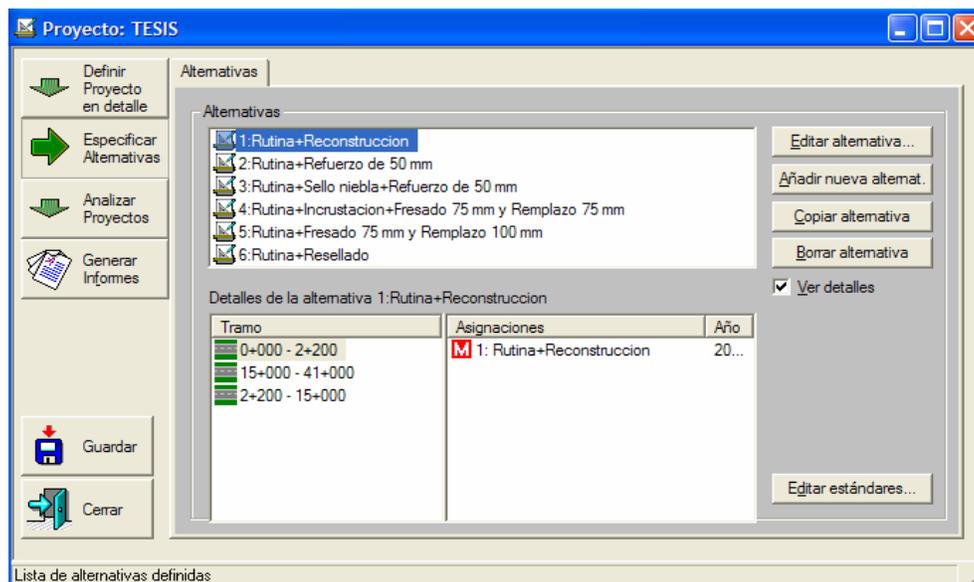


Figura 36. Pantalla que muestra las alternativas elegidas de conservación para esta carretera

En la tabla 22 se muestran las alternativas elegidas para la conservación de la carretera piloto y poder realizar el análisis con el HDM-4.

**Tabla 22.** Alternativas elegidas de conservación para la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN
1	Esta es la alternativa de mínimo trabajo. La conservación rutinaria del pavimento se realizará, si es necesario, cada año basada en la condición en que se encuentre el mismo. No se realizarán trabajos de mejora hasta que la carretera alcance una pobre condición, esto es, se hará la reconstrucción cuando el IRI $\geq$ 12 y el área total dañada $\geq$ 40% del área de la calzada. Los trabajos de reconstrucción incluye: el fresado de 275 mm, reciclado y colocación de una base de 200 mm y 75 mm de mezcla asfáltica nueva.
2	En esta alternativa, un refuerzo de 50 mm de concreto asfáltico se aplicará cuando el nivel de regularidad (IRI) $\geq$ 6, o cuando la fisuración estructural afecte al 15% del área de la calzada. Esta alternativa incluye las renivelaciones superficiales necesarias y la conservación rutinaria del pavimento a lo largo de todo el periodo de análisis.
3	En esta alternativa se propone la aplicación de un sello niebla cuando la fisuración superficial sea $\geq$ 3% del área de la calzada y además se aplicará un refuerzo de concreto asfáltico de 50 mm cuando el IRI sea $\geq$ 6 o cuando la fisuración estructural sea $\geq$ 15%. Durante el periodo de análisis se aplicará conservación rutinaria al pavimento.
4	En esta alternativa se considera la aplicación de una incrustación de mezcla asfáltica cuando la profundidad de rodadura sea $\geq$ 20 mm y además se propone el fresado de 75 mm superiores del pavimento asfáltico y se reemplazan por un refuerzo de 75 mm cuando del valor de la regularidad IRI $\geq$ 6, o cuando el agrietamiento estructural sea $\geq$ 20% del área de la calzada. Durante el periodo de análisis se aplicará conservación rutinaria al pavimento.
5	En esta alternativa se propone el fresado de los 75 mm de la capa de rodamiento cuando el valor del IRI sea $\geq$ 6, o cuando el agrietamiento estructural sea $\geq$ 20%, aplicándose una capa de 100 mm de concreto asfáltico, la cual, reemplaza la superficie superior existente y aplica un refuerzo adicional de 25 mm. Durante el periodo de análisis se aplicará conservación rutinaria al pavimento.
6	En esta alternativa se recomienda realizar una conservación rutinaria durante el periodo de análisis y además se aplicará un resellado de la superficie de rodamiento cuando el agrietamiento superficial sea $\geq$ 3%.

En la tabla 23 se muestra un resumen de las alternativas de conservación.

**Tabla 23.** Resumen de las alternativas elegidas de conservación

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN
1	* Conservación rutinaria. * Reconstrucción cuando el IRI $\geq 12$ y cuando el área dañada $\geq 40\%$ del área de la calzada con un fresado de 275 mm, base de 200 mm y carpeta nueva de mezcla asfáltica de 75 mm.
2	* Conservación rutinaria. * Refuerzo de 50 mm cuando el IRI $\geq 6$ o se presente una fisuración estructural $\geq 15\%$ del área de la calzada (Incluye las renivelaciones superficiales necesarias).
3	* Conservación rutinaria. * Sello niebla cuando la fisuración superficial $\geq 3\%$ . * Refuerzo de 50 mm cuando el IRI $\geq 6$ o se presente un agrietamiento estructural $\geq 15\%$ del área de la calzada.
4	* Conservación rutinaria. * Incrustación cuando la profundidad de rodera sea $\geq 20$ mm. * Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm cuando el IRI $\geq 6$ o se presente un agrietamiento estructural $\geq 20\%$ del área de la calzada.
5	* Conservación rutinaria. * Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm cuando el IRI $\geq 6$ o se presente un agrietamiento estructural $\geq 20\%$ del área de la calzada.
6	* Conservación rutinaria. * Resellado de la superficie de rodamiento cuando el agrietamiento superficial sea $\geq 3\%$ .

Para cada una de estas alternativas elegidas se incluye la conservación rutinaria o de rutina que se debe realizar en la conservación del pavimento, y los trabajos o tareas que se realizan son:

- ❖ Sellado de fisuras sí el área de fisuración estructural  $\geq 3\%$ .
- ❖ Bacheo sí el área dañada severamente  $\geq 5\%$ .
- ❖ Trabajos varios (Deshierbe, limpieza de obras y señalamiento)

Los estándares de trabajos, así como también las tareas o trabajos asociados y asignados a cada alternativa se indican en la tabla 24.

**Tabla 24.** Detalles de los estándares de los trabajos para cada alternativa de este proyecto en el HDM-4

ALTERNATIVA DE PROYECTO	ESTÁNDAR DE TRABAJO	EFFECTIVO DESDE	TRABAJO DE CONSERVACIÓN
ALTERNATIVA 1 * Rutina + Reconstrucción	Rutina + Reconstrucción (R&REC)	2006	Reconstrucción en IRI =12 y 40% daños (RECON)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
			Trabajos varios (DLOS)
ALTERNATIVA 2 * Rutina + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Refuerzo de 50 mm (R&R 50)	2006	Refuerzo de 50 mm en IRI=6 y 15% de agr. estr. (REF 50) (Incluye las renivelaciones superficiales)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
			Trabajos varios (DLOS)
ALTERNATIVA 3 * Rutina + Sello niebla + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Sello niebla + Refuerzo de 50 mm (R&SR 50)	2006	Refuerzo de 50 mm en IRI=6 y 15% de agr. estr. (REF50)
			Sello niebla en fisuración sup. $\geq$ 3% (SELLN)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
ALTERNATIVA 4 * Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm	* Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm (RIFR 75)	2006	Fresado 75 mm+ Reemplazo 75 mm en IRI=6 y 20% de agrietamiento estructural (FRREM)
			Incrustación cuando la prof. de rodera $\geq$ 20 mm ( INCR)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
ALTERNATIVA 5 * Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm	* Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm (RFR 100)	2006	Fresado 75 mm+ Reemplazo 100 mm en IRI=6 y 20% de agrietamiento estructural (FR100)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
			Trabajos varios (DLOS)
ALTERNATIVA 6 * Rutina + Resellado	* Rutina + Resellado de la superficie de rodamiento cuando la fisuración superficial es mayor a 3 % (R&RES)	2006	Resellado de la superficie de rodamiento cuando la fisuración superficial sea $\geq$ de 3 % (RESEL)
			Sellado de fisura (SELGR)
			Bacheo (BACH)
			Trabajos varios (DLOS)

Para ser considerada la implantación de cualquier alternativa durante cualquier año analizado, los trabajos de rutina y mejora deberán ser especificados en el mismo estándar de conservación y los límites de intervención para los trabajos se identifican en la tabla 25.

**Tabla 25.** Límites de intervención para los trabajos de conservación en el HDM-4 (Fuente: The World Bank, volumen 2 de la documentación técnica del HDM-4, año 2000)

No	ESTÁNDAR DE CONSERVACIÓN	EFECTIVO DESDE AÑO	TRABAJO DE CONSERVACIÓN	*P/R	ULTIMO AÑO	IRI máx.	CANTIDAD MÁXIMA (m <sup>2</sup> /km/año)	INTERVALO		IMD	
								Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1	* Rutina + Reconstrucción	2006	Reconstrucción	R	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
2	* Rutina + Refuerzo de 50 mm	2006	Refuerzo de 50 mm	R	2099	16	n/a	3 años	99 años	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
3	* Rutina + Sello niebla + Refuerzo de 50 mm	2006	Refuerzo de 50 mm	R	2099	12.5	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Sello niebla	R	2099	16	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
4	* Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm	2006	Fresado 75 mm+ Reemplazo 75 mm	R	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Incrustación	R	2099	12.5	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
5	* Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm	2006	Fresado 75 mm+ Reemplazo 100 mm	R	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000
6	* Rutina + Resellado	2006	Resellado de la superficie de rodamiento	R	2099	16	2,100	1 año	99 años	0	100,000
			Sellado de fisura	P	2099	12.5	1,500	n/a	n/a	0	100,000
			Bacheo	P	2099	12.5	100	n/a	n/a	0	100,000
			Trabajos varios	P	2099	n/a	n/a	n/a	n/a	0	100,000

Para algunos trabajos de conservación, se realizan tareas o trabajos de preparación, en donde el costo por unidad se incluye separadamente en la pantalla tipos de trabajos/Costos. En este estudio, estas tareas se aplican a los trabajos mostrados en la tabla 26.

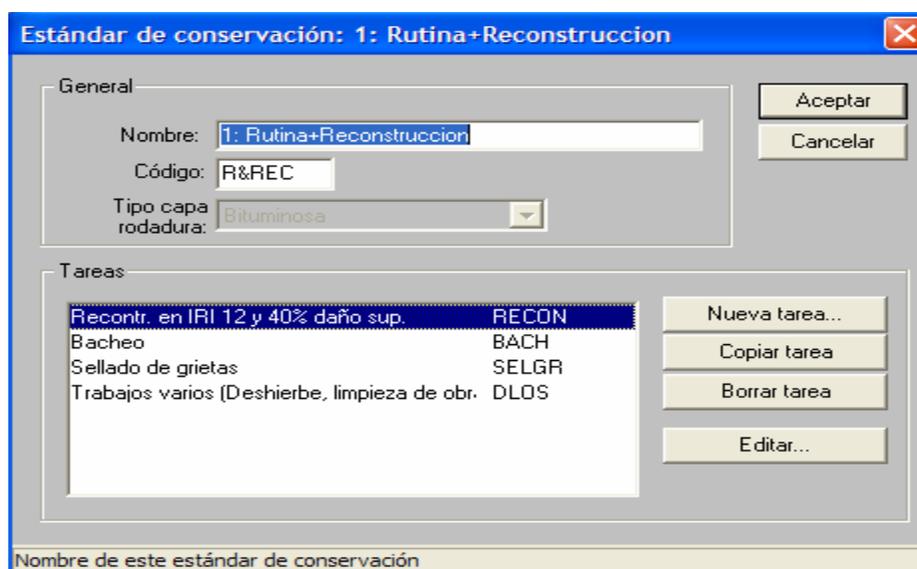
**Tabla 26.** Trabajos o tareas de preparación (Fuente: The World Bank, volumen 2 de la documentación técnica del HDM-4, año 2000)

ALTERNATIVA	TRABAJO DE CONSERVACIÓN	TRABAJOS DE PREPARACIÓN
2	Refuerzo de 50 mm	Renivelaciones superficiales
		Bacheo
		Reparación del borde
3	Refuerzo de 50 mm	Renivelaciones superficiales
		Bacheo
		Reparación del borde
4	Incrustación	Bacheo
		Reparación del borde
		Sellado de fisura
6	Resellado de la superficie de rodamiento	Bacheo
		Reparación del borde
		Sellado de fisura

A continuación se describen las características de los estándares para los trabajos de conservación de cada alternativa en esta carretera:

a).- Alternativa 1: Estándar de conservación: Rutina + reconstrucción

En la figura 37 se muestran los trabajos incluidos en este estándar de conservación, como son la rutina del pavimento, que incluye el sellado de fisuras, bacheo, trabajos varios (deshierbe, limpieza de obras y señalamiento) y además se considera un trabajo de mejora como es la reconstrucción. Las especificaciones para cada uno de estos trabajos se pueden incluir y modificar pulsando dos veces en los nombres correspondientes.



**Figura 37.** Pantalla que muestra los trabajos que se incluyen en la primera alternativa de conservación

A continuación se describen cada uno de los trabajos de conservación que integran este estándar:

- ❖ Rutina: Sellado de fisuras, bacheo y trabajos varios (Deshierbe, limpieza de obras y señalamiento).

Las especificaciones para estos trabajos, incluidos en todas las alternativas para el estudio de esta carretera, se especifican dentro de cada estándar y las cuales pueden ser modificadas.

- ❖ Reconstrucción cuando se presente un IRI de 12 y 40% de daños.

Las especificaciones de reconstrucción se detallan en la pantalla: General/Diseño/Intervención/Costos/Efectos; especificándose los datos generales de este trabajo en la pantalla general; la pantalla diseño muestra los datos requeridos del pavimento y estos detalles de diseño se refieren a la construcción del nuevo pavimento. En las figuras 38, 39, 40, 41 y 42 se aprecian los datos requeridos para este estándar.

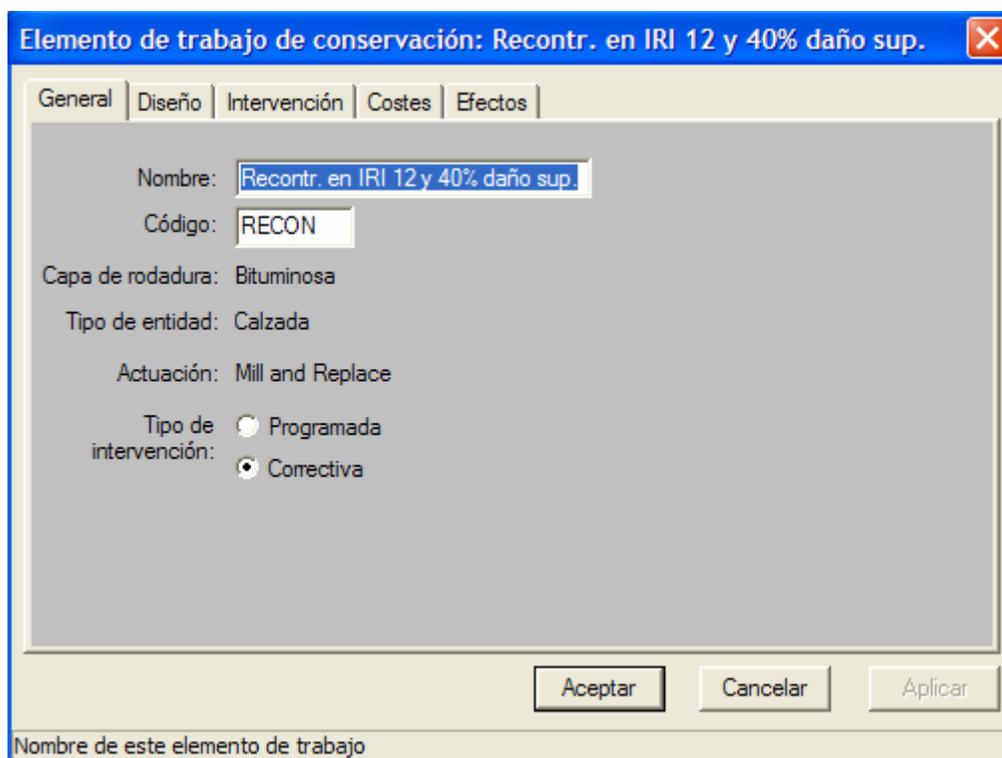


Figura 38. Pantalla que muestra los datos generales de una tarea de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Reconstr. en IRI 12 y 40% daño sup.

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Material de capa de rodadura: Mezcla bituminosa

Espesor de nuevo pavimento: 75 mm

Coef. resistencia estación seca: 0.4

Profundidad de fresado: 275 mm

Área of carriageway to inlay: 50 %

Indicadores de defectos de construcción

Capa bituminosa: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

Aceptar Cancelar Aplicar

Material para la nueva capa de rodadura

Figura 39. Pantalla que muestra los datos para el diseño de una tarea de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Reconstr. en IRI 12 y 40% daño sup.

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Roughness >= 12 IRI Y

Total damaged area >= 40 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099

Frecuencia max: 16 IRI (m/km)

Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año

Intervalo: 1

IMD: 0

Mínimo Máximo

9999 año(s)

100000

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 40. Pantalla que muestra los criterios de intervención de una tarea de conservación



b).- Alternativa 2: Estándar de conservación: Rutina + Refuerzo de 50 mm

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son los de rutina del pavimento (sellado de fisuras, bacheo y trabajos varios) y refuerzo de 50 mm de espesor, considerando que en este refuerzo se incluyen las renivelaciones superficiales que se deban realizar previamente a la aplicación de este refuerzo. En la figura 43 se aprecian los datos generales de este estándar.

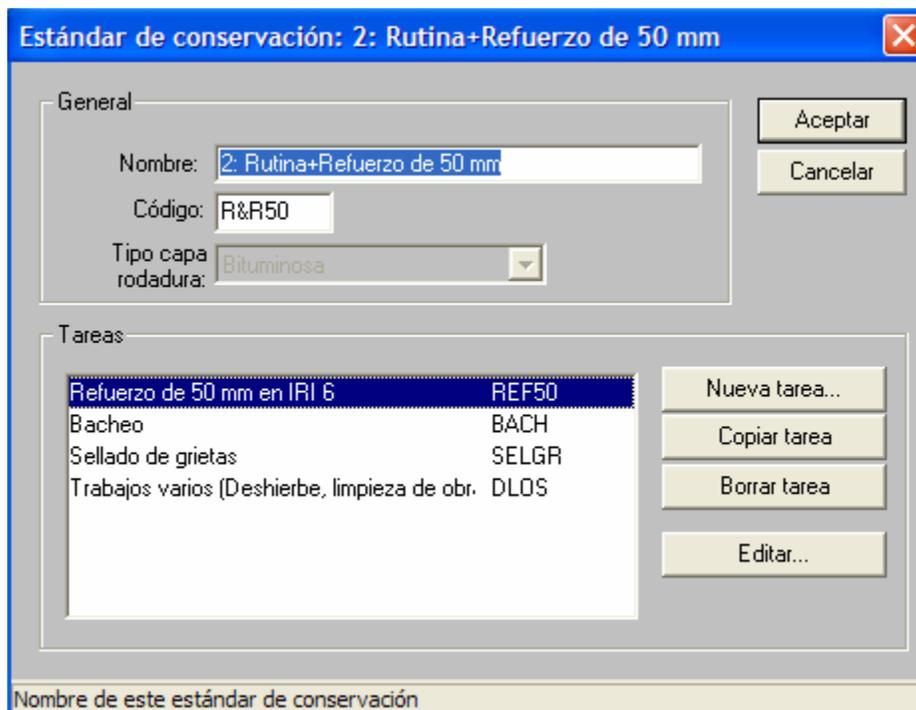


Figura 43. Pantalla que muestra los trabajos o tareas que se incluyen en la segunda alternativa de conservación

Las especificaciones para los trabajos de refuerzo pueden introducirse o ser modificados los valores propuestos por el HDM-4; además se pueden especificar dos tipos de trabajos de refuerzo basados en condición de respuesta, uno basado en regularidad y el otro en agrietamiento estructural, es decir, que tanto la regularidad como el agrietamiento pueden provocar reforzamiento del pavimento.

Los diferentes trabajos que integran esta alternativa se describen a continuación:

- ❖ Refuerzo de 50 mm cuando el IRI sea mayor o igual a 6.

La especificación para los trabajos de refuerzo se puede incluir o modificar en las pantallas: General/Diseño/Intervención/Costos/Efectos y las actividades de trabajo se especifican en la pantalla general. El material de refuerzo, el coeficiente de espesor y de resistencia durante períodos de sequía, se especifican en la pantalla diseño, también se especifican los indicadores de los defectos de construcción para el refuerzo de mezcla asfáltica (CDS, por sus siglas en inglés).

Al incluir el refuerzo, el tipo de pavimento se ajusta automáticamente a su nuevo tipo de pavimento de acuerdo con lo indicado en la tabla 20. Los trabajos de refuerzo se especifican en las figuras 44, 45, 46, 47 y 48.

The screenshot shows a dialog box titled "Elemento de trabajo de conservación: Refuerzo de 50 mm en IRI 6". It has five tabs: "General", "Diseño", "Intervención", "Costes", and "Efectos". The "General" tab is active. The fields are as follows:

- Nombre: Refuerzo de 50 mm en IRI 6
- Código: REF50
- Capa de rodadura: Bituminosa
- Tipo de entidad: Calzada
- Actuación: Overlay dense-graded asphalt
- Tipo de intervención:  Programada,  Correctiva

Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar. Footer: Nombre de este elemento de trabajo

Figura 44. Pantalla que muestra los datos generales de una tarea o trabajo de conservación

The screenshot shows the same dialog box, but with the "Diseño" tab active. The fields are as follows:

- Material de capa de rodadura: Mezcla bituminosa (dropdown menu)
- Espesor de nuevo pavimento: 50 mm
- Coef. resistencia estación seca: 0.4
- Profundidad de fregado: 0 mm
- Área of carriageway to inlay: 50 %
- Indicadores de defectos de construcción: Capa bituminosa: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar. Footer: Material para la nueva capa de rodadura

Figura 45. Pantalla que muestra los datos para el diseño del trabajo de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Refuerzo de 50 mm en IRI 6

General | Diseño | **Intervención** | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Roughness >= 6 IRI

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099

Regularidad max: 16 IRI (m/km)

Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año

Intervalo: 1

Mínimo: 0

Máximo: 9999 año(s)

IMD: 100000

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 46. Pantalla que muestra los criterios de intervención de los trabajos o tareas de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Refuerzo de 50 mm en IRI 6

General | Diseño | Intervención | **Costes** | Efectos

Coste unitario: Económico 15 Financiero 18 por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios

Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	8	10	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	12	14	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	0	1.26	por m <sup>2</sup>

Drenaje

Factor coste mantenimiento drenajes: 1 0 < DMCF <= 1

Aceptar Cancelar Aplicar

Coste económico unitario de los trabajos

Figura 47. Pantalla que muestra los costos unitarios del trabajo de conservación

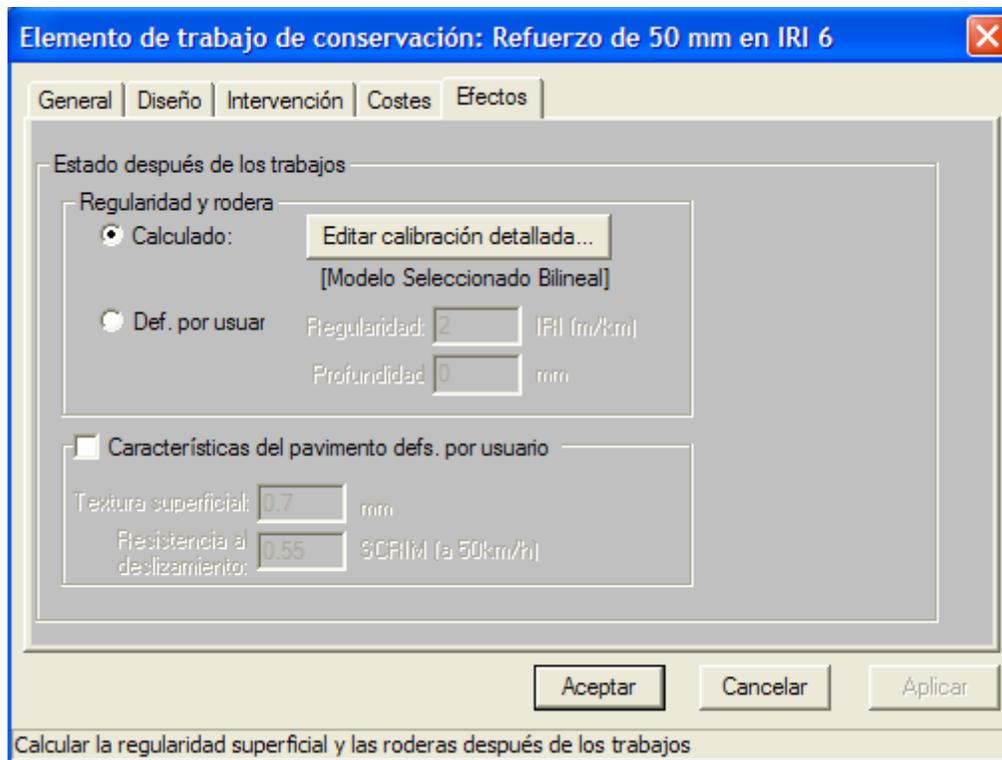


Figura 48. Pantalla que muestra los efectos en la carretera después de aplicados los trabajos de conservación

c).- Alternativa 3: Estándar de conservación: Rutina + Sello niebla + refuerzo de 50 mm

Los trabajos incluidos en este estándar son los de rutina (sellado de grietas, bacheo y trabajos varios), sello niebla y un refuerzo de 50 mm cuando el IRI sea mayor o igual a 6 o cuando se presente un agrietamiento estructural mayor o igual a 15%. Los trabajos que incluye esta alternativa se muestran en la figura 49.

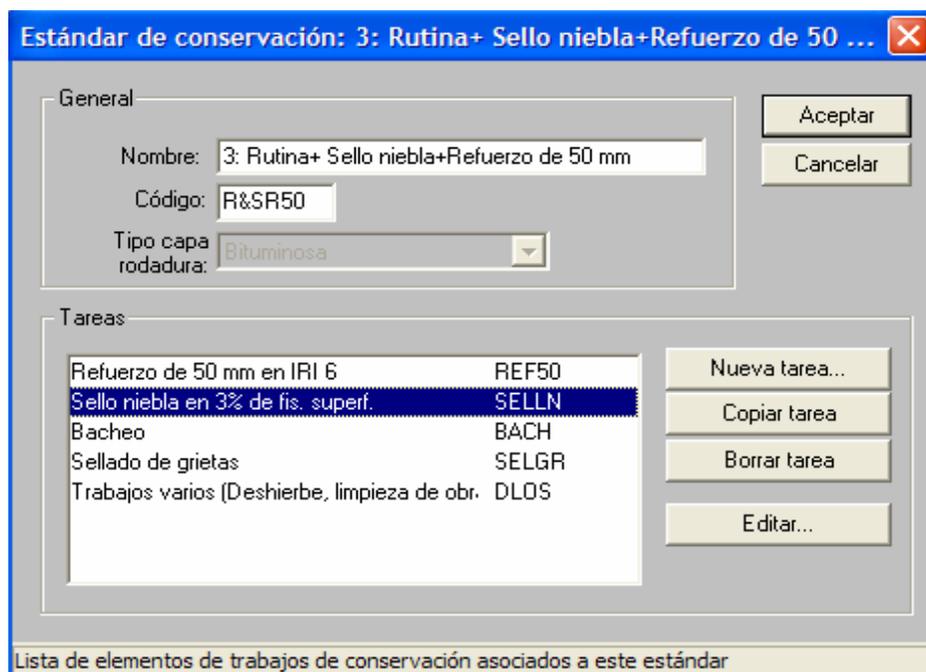


Figura 49. Pantalla que muestra los trabajos que se incluyen en la tercera alternativa de conservación

Las especificaciones para este trabajo pueden incluirse o ser modificadas en la anterior pantalla y sus trabajos son:

❖ Sello niebla.

Es la aplicación de un producto asfáltico (emulsión) que se riega con una petrolizadota y que cubre la superficie de rodamiento con el propósito de sellar las grietas superficiales y retrasar la presencia de deterioros más severos.

❖ Refuerzo de 50 mm cuando el IRI sea mayor o igual a 6.

Este trabajo de refuerzo se especifica en la pantalla general, y los detalles en la pantalla diseño. En esta alternativa se deben de realizar tareas de preparación como son las renivelaciones superficiales necesarias, el bacheo y la reparación de borde, además de los trabajos de rutina; y el espesor de la nueva capa superficial se especifica como 50 mm (refuerzo de carpeta de concreto asfáltico).

El criterio de intervención para la aplicación del refuerzo se basa en IRI, además se pueden utilizar otros criterios de intervención basados en agrietamiento estructural, ejes equivalentes (ESAL) acumulativos, profundidad de las roderas, áreas con baches, desprendimiento del árido, área total dañada, etc.

El costo unitario de los trabajos debe de incluir todos los asociados para la aplicación de los mismos. El nuevo pavimento después de aplicados los trabajos se ajustará automáticamente de acuerdo con lo indicado en la tabla 20.

$$\text{AMAP} + \text{refuerzo} = \text{AMAP}$$

En las figuras 50, 51 y 52 se muestran las pantallas que contienen las especificaciones para los trabajos del sello niebla de la alternativa 3.

The screenshot shows a software window with a blue title bar containing the text "Elemento de trabajo de conservación: Sello niebla en 3% de fis. superf." and a close button. Below the title bar are four tabs: "General", "Intervención", "Costes", and "Efectos", with "General" selected. The main area contains the following fields and options:

- Nombre: Sello niebla en 3% de fis. superf.
- Código: SELLN
- Capa de rodadura: Bituminosa
- Tipo de entidad: Calzada
- Actuación: Fog Seal
- Tipo de intervención:  Programada,  Correctiva

At the bottom of the window are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar". Below the window frame, the text "Nombre de este elemento de trabajo" is visible.

Figura 50. Pantalla que muestra los datos generales de un trabajo de conservación

**Elemento de trabajo de conservación: Sello niebla en 3% de fis. superf.**

General | **Intervención** | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Total carriageway cracked >= 3 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099      Mínimo: 1      Máximo: 9999      año(s)  
 Regularidad max: 16      IRI (m/km)      Intervalo: 1  
 Max. cantidad: 5000      m<sup>2</sup>/km/año      IMD: 0      100000

Aceptar      Cancelar      Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 51. Pantalla que muestra los criterios de intervención del trabajo de conservación

**Elemento de trabajo de conservación: Sello niebla en 3% de fis. superf.**

General | Intervención | **Costes** | Efectos

Económico      Financiero

Coste unitario: 4      5      por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	0	1.61	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	2.3	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	0	1.26	por m <sup>2</sup>

Drenaje

Factor coste mantenimiento drenajes: 1      0 < DMCF <= 1

Aceptar      Cancelar      Aplicar

Coste económico unitario de los trabajos

Figura 52. Pantalla que muestra los costos unitarios del trabajo de conservación

d).- Alternativa 4: Estándar de conservación: Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm

Este estándar incluye los trabajos de rutina del pavimento (sellado de fisuras, bacheo y trabajos varios), la incrustación de mezcla asfáltica en la zona de roderas y el fresado y reemplazo, de acuerdo con una condición de respuesta basada en IRI y agrietamiento estructural. Las especificaciones de estos trabajos, incluyendo el fresado y reemplazo se pueden introducir o modificar al pulsar 2 veces en cada uno de ellos y con lo cual se abrirán las pantallas General/Diseño/Intervención/Costes/Efectos de acuerdo con lo mostrado en la figura 53.

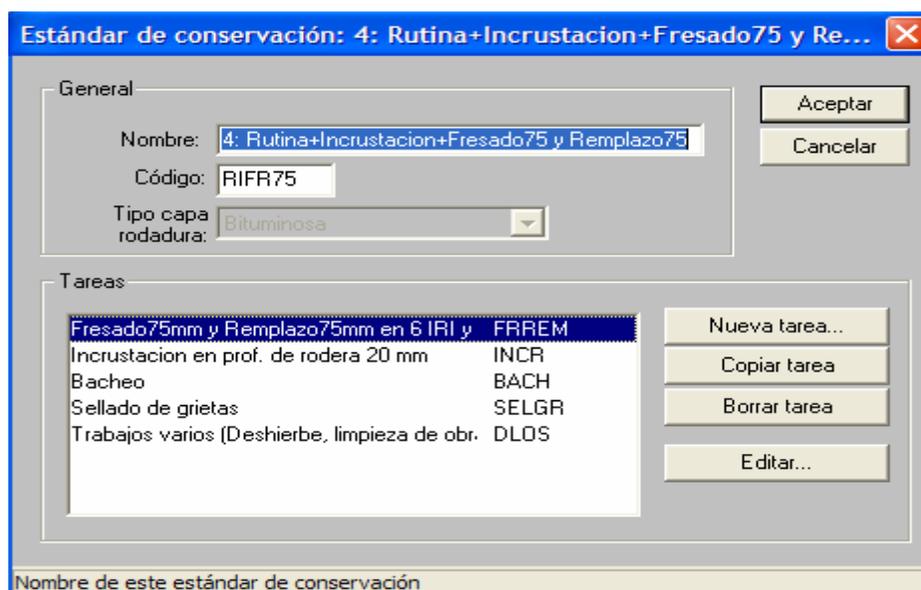


Figura 53. Pantalla que muestra los trabajos que se incluyen en la cuarta alternativa de conservación

Los trabajos que se incluyen en este estándar se mencionan a continuación:

❖ Incrustación.

Este trabajo consiste en la aplicación de mezcla asfáltica en las zonas de rodera y el criterio de intervención utilizado es de respuesta, basado en la profundidad de rodera, cuando esta sea mayor o igual a 20 mm.

❖ Fresado de 75 mm + reemplazo de 75 mm cuando el IRI sea mayor o igual 6 y o que se presente un 20% de agrietamiento estructural.

Este trabajo de fresado y reemplazo se especifica en la pantalla general, y los detalles en la pantalla diseño. En esta alternativa, la profundidad del fresado y el espesor de la nueva capa superficial se especifica como 75 mm, lo que representa el reemplazo de anteriores capas superiores (refuerzo de carpeta de concreto asfáltico).

Los criterios de intervención del fresado y reemplazo se basan en IRI y en agrietamiento estructural, además se pueden utilizar otros criterios de intervención como ejes equivalentes (ESAL) acumulados, profundidad de las roderas, áreas con baches, desprendimiento del árido, área total dañada, etc.

El costo unitario de los trabajos debe de incluir todos los asociados a la aplicación de los mismos, además el trabajo de fresado y reemplazo se ajustará automáticamente de acuerdo con lo indicado en la tabla 20.

AMAP + Fresado y reemplazo = AMAP

En las figuras 54, 55, 56, 57 y 58 se muestran las pantallas que contienen las especificaciones para los trabajos de fresado y reemplazo de la alternativa 4.

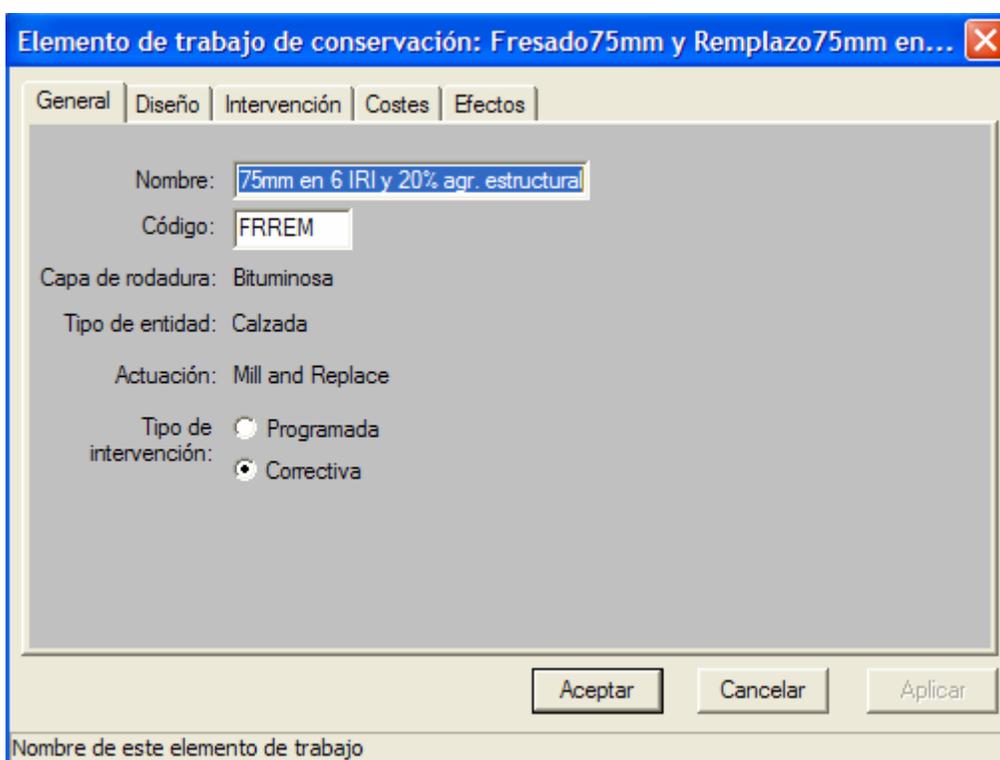


Figura 54. Pantalla que muestra los datos generales de un trabajo de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Fresado75mm y Reemplazo75mm en...

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Material de capa de rodadura:

Espesor de nuevo pavimento:  mm

Coef. resistencia estación seca:

Profundidad de fresado:  mm

Área of carriageway to inlay:  %

Indicadores de defectos de construcción

Capa bituminosa:	<input type="text" value="1"/>	0.5 <= CDS <= 1.5
------------------	--------------------------------	-------------------

Aceptar Cancelar Aplicar

Material para la nueva capa de rodadura

Figura 55. Pantalla que muestra los datos para el diseño de un trabajo de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Fresado75mm y Reemplazo75mm en...

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Roughness >= 6 IRI	Y	Nuevo criterio...
Total carriageway cracked >= 20 %		

Borrar

Editar...

Límites

Último año:	<input type="text" value="2099"/>	Mínimo	<input type="text" value="1"/>	Máximo	<input type="text" value="99"/>	año(s)
Frecuencia max:	<input type="text" value="12.5"/>	IRI (m/km)	Intervalo:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100000"/>	
Max. cantidad:	<input type="text" value="5000"/>	<input type="text" value="m²/km/año"/>	IMD:			

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 56. Pantalla que muestra los criterios de intervención de un trabajo de conservación



e).- Alternativa 5: Estándar de conservación: Rutina + fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm

En la figura 59 se muestran los trabajos incluidos en esta alternativa.

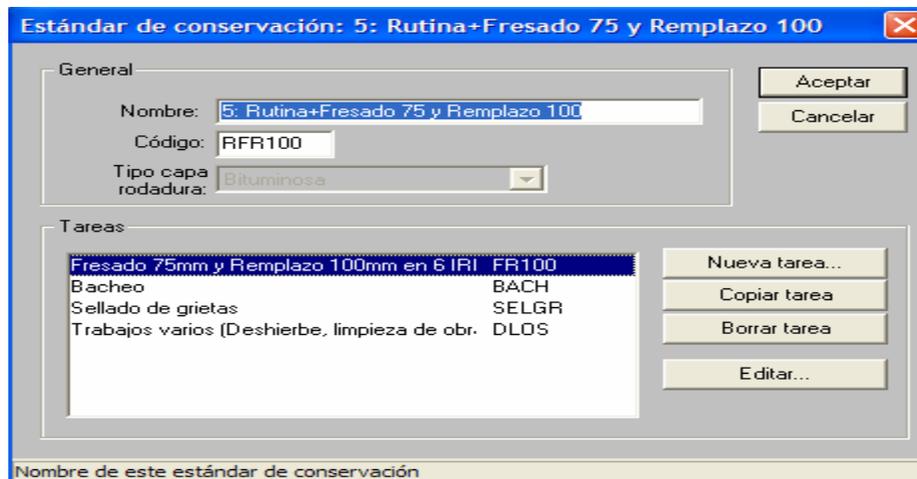


Figura 59. Pantalla que muestra los trabajos que se incluyen en la quinta alternativa de conservación

En este estándar se contempla la conservación rutinaria o de rutina (Bacheo, sellado de grietas, deshierbe, limpieza de obras y señalamiento), además de un fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm. Después de la implantación del trabajo de fresado y reemplazo el tipo de pavimento se actualiza automáticamente de acuerdo con lo mostrado en la tabla 20.

AMAP + Fresado y reemplazo = AMAP

Las pantallas que contienen las especificaciones de los trabajos de fresado y reemplazo para la alternativa 5 se muestran en las figuras 60, 61, 62, 63 y 64.



Figura 60. Pantalla que muestra los datos generales de un trabajo de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Fresado 75mm y Reemplazo 100mm ...

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Material de capa de rodadura: Mezcla bituminosa

Espesor de nuevo pavimento: 100 mm

Coef. resistencia estación seca: 0.4

Profundidad de fresado: 75 mm

Área of carriageway to inlay: 50 %

Indicadores de defectos de construcción

Capa bituminosa: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

Aceptar Cancelar Aplicar

Material para la nueva capa de rodadura

Figura 61. Pantalla que muestra los datos necesarios para el diseño de un trabajo de conservación

Elemento de trabajo de conservación: Fresado 75mm y Reemplazo 100mm ...

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Roughness >= 6 IRI Y

Total carriageway cracked >= 20 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099

Regularidad max: 12.5 IRI (m/km)

Max. cantidad: 5000 m²/km/año

Intervalo: 1

Mínimo: 0

Máximo: 99 año(s)

100000

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 62. Pantalla que muestra los criterios de intervención para un trabajo de conservación

The screenshot shows a software window titled "Elemento de trabajo de conservación: Fresado 75mm y Reemplazo 100mm ...". It has a tabbed interface with "Costes" selected. The "Económico" column has a unit cost of 30 and the "Financiero" column has a unit cost of 36, both in "por m²". Below this, there are input fields for preparatory work costs: "Recargo puntual", "Bacheo", "Repar. de bordes", and "Sellado de fisuras", each with a value of 0. A "Drenaje" section has a "Factor coste mantenimiento drenajes" set to 1. At the bottom, there are "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar" buttons. The status bar at the bottom reads "Coste económico unitario de los trabajos".

Figura 63. Pantalla que muestra los costos unitarios de un trabajo de conservación

The screenshot shows the same software window, but with the "Efectos" tab selected. It displays the "Estado después de los trabajos" section. Under "Regularidad y rodera", the "Calculado" radio button is selected, with an "Editar calibración detallada..." button. The "Def. por usar" radio button is unselected, with "Regularidad" set to 2 (IFI (m/km)) and "Profundidad" set to 0 (mm). A checkbox for "Características del pavimento defs. por usuario" is unselected, showing "Textura superficial" at 0.7 (mm) and "Resistencia al deslizamiento" at 0.55 (SCRIM (a 50km/h)). At the bottom, there are "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar" buttons. The status bar at the bottom reads "Calcular la regularidad superficial y las roderas después de los trabajos".

Figura 64. Pantalla que muestra los efectos en la carretera después de aplicados los trabajos de conservación

f).- Alternativa 6: Estándar de conservación: Rutina + Resellado

En la figura 65 se presentan los trabajos incluidos en este estándar, en donde se contempla realizar trabajos de rutina del pavimento, como son sellado de fisuras, bacheo y trabajos varios (Deshierbe, limpieza de obras y señalamiento), además se incluye el resellado de la superficie de rodamiento empleando una condición de respuesta basada en la fisuración superficial de la calzada. Las especificaciones para estos trabajos incluyendo el resellado de la superficie de rodamiento se pueden introducir o modificar dentro de las pantallas General/Diseño/Intervención/Costos/Efectos.

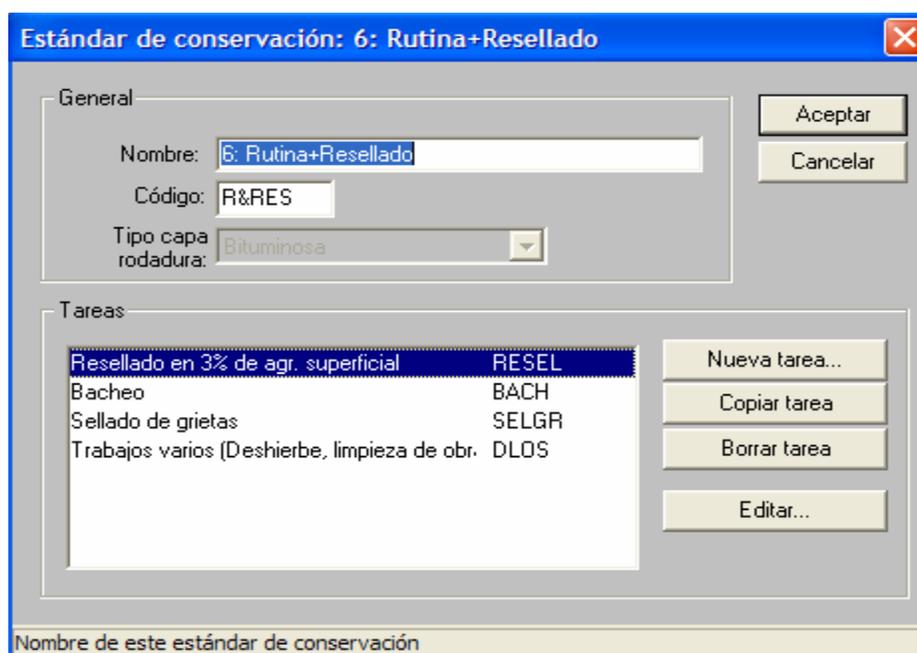


Figura 65. Pantalla que muestra los trabajos que se incluyen en la sexta alternativa de conservación

Los trabajos de conservación por realizar en este estándar se mencionan a continuación:

- ❖ Resellado de la superficie de rodamiento cuando la superficie fisurada sea mayor o igual a un 3 %.

El trabajo de resellado se especifica en la pantalla general y para este estudio el resellado es a base de un tratamiento superficial simple de 15 mm de espesor y en este caso la fisuración superficial de la calzada se adopta como criterio de intervención; además se pueden utilizar otros criterios como son el IRI, coeficiente de fricción, etc. El costo unitario de los trabajos de resellado y el de sus trabajos de preparación se especifican en la pantalla costos y también en este caso si los trabajos de resellado se implantan, el tipo de pavimento se actualizará automáticamente de acuerdo con lo indicado en la tabla 20.

$$AMAP + STAP = STAP$$

Las pantallas que permiten la introducción, modificación o revisión de los datos del trabajo de resellado se muestran en las figuras 66, 67, 68, 69 y 70.

The screenshot shows a dialog box titled "Elemento de trabajo de conservación: Resellado en 3% de agr. superficial". It has five tabs: "General", "Diseño", "Intervención", "Costes", and "Efectos". The "General" tab is active. The fields are as follows:

- Nombre: Resellado en 3% de agr. superficial
- Código: RESEL
- Capa de rodadura: Bituminosa
- Tipo de entidad: Calzada
- Actuación: Surface dressing single
- Tipo de intervención:  Programada,  Correctiva

Buttons at the bottom: Aceptar, Cancelar, Aplicar. A status bar at the bottom reads "Nombre de este elemento de trabajo".

Figura 66. Pantalla que muestra los datos generales de un trabajo de conservación

The screenshot shows the same dialog box, but with the "Diseño" tab active. The fields are as follows:

- Material de capa de rodadura: Tratamiento superficial monocapa (dropdown menu)
- Espesor de nuevo pavimento: 15 mm
- Coef. resistencia estación seca: 0.2
- Profundidad de fresador: 0 mm
- Área of carriageway to inlay: 50 %
- Indicadores de defectos de construcción: Capa bituminosa: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

Buttons at the bottom: Aceptar, Cancelar, Aplicar. A status bar at the bottom reads "Material para la nueva capa de rodadura".

Figura 67. Pantalla que muestra los datos necesarios para el diseño de un trabajo de conservación

**Elemento de trabajo de conservación: Resellado en 3% de agr. superficial**

General | Diseño | **Intervención** | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Total carriageway cracked >= 3 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099

Regularidad max: 16 IRI (m/km)

Mínimo Máximo

Intervalo: 1 9999 año(s)

Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año IMD: 0 100000

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención al estándar de mejora

Figura 68. Pantalla que muestra los criterios de intervención de un trabajo de conservación

**Elemento de trabajo de conservación: Resellado en 3% de agr. superficial**

General | Diseño | Intervención | **Costes** | Efectos

Económico Financiero

Coste unitario: 6 7 por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios

Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	8	10	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	12	14	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	3	4	por m <sup>2</sup>

Drenaje

Factor coste mantenimiento drenaje: 1 0 < D/MCF <= 1

Aceptar Cancelar Aplicar

Coste económico unitario de los trabajos

Figura 69. Pantalla que muestra los costos unitarios de un trabajo de conservación

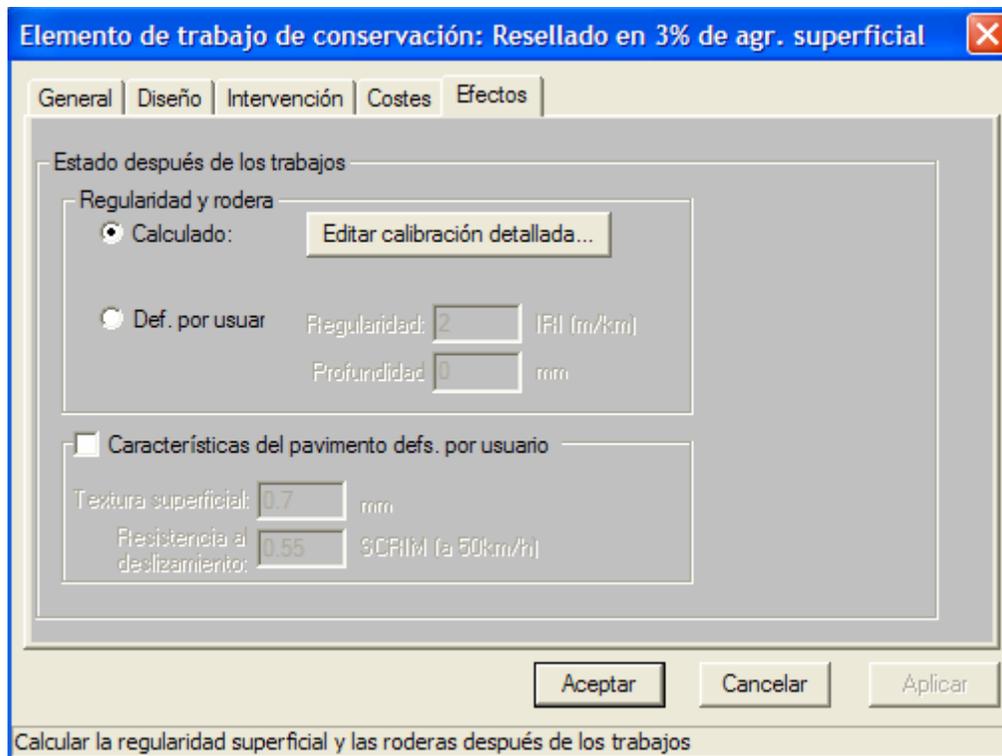


Figura 70. Pantalla que muestra los efectos en la carretera después de aplicado el trabajo de conservación

### 3.3.- Analizar el proyecto.

El análisis del proyecto se realiza pulsando en este botón, el cual está integrado por dos pestañas, que son configurar la ejecución y ejecutar análisis, las cuales se describen a continuación:

a).- Configurar la ejecución.

La pantalla configurar la ejecución se activa pulsando el botón de analizar proyectos y además se debe confirmar cual es la alternativa base que se empleará para el análisis económico (En este trabajo la primera alternativa es la seleccionada), eligiéndose una tasa de descuento del 6%.

En este estudio, el costo de los accidentes, los efectos causados por el balance de energía y aceleración no se incluyen en el análisis. En la figura 71 se muestra la pantalla para la realizar la configuración y poder realizar el análisis de este proyecto.

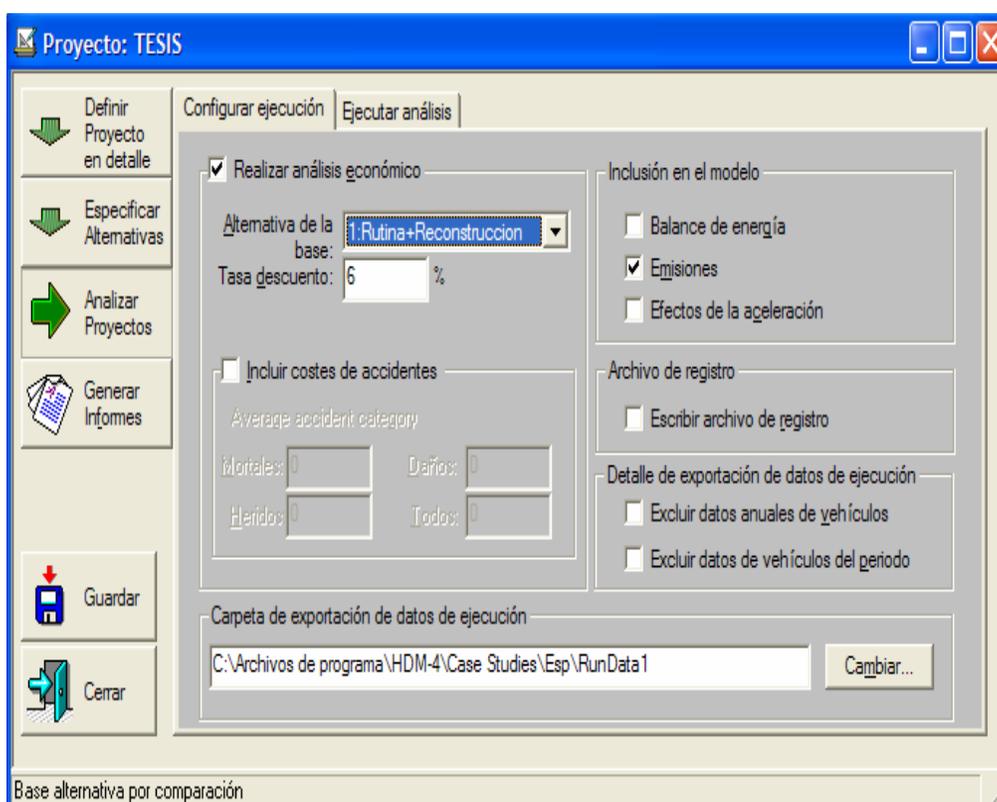


Figura 71. Pantalla que muestra los datos requeridos para configurar la ejecución del análisis de proyecto de este estudio

b).- Ejecución del análisis.

Pulsando esta pestaña comienza el análisis y se produce la salida de resultados necesarios para producir los informes, como se muestra en la figura 72.

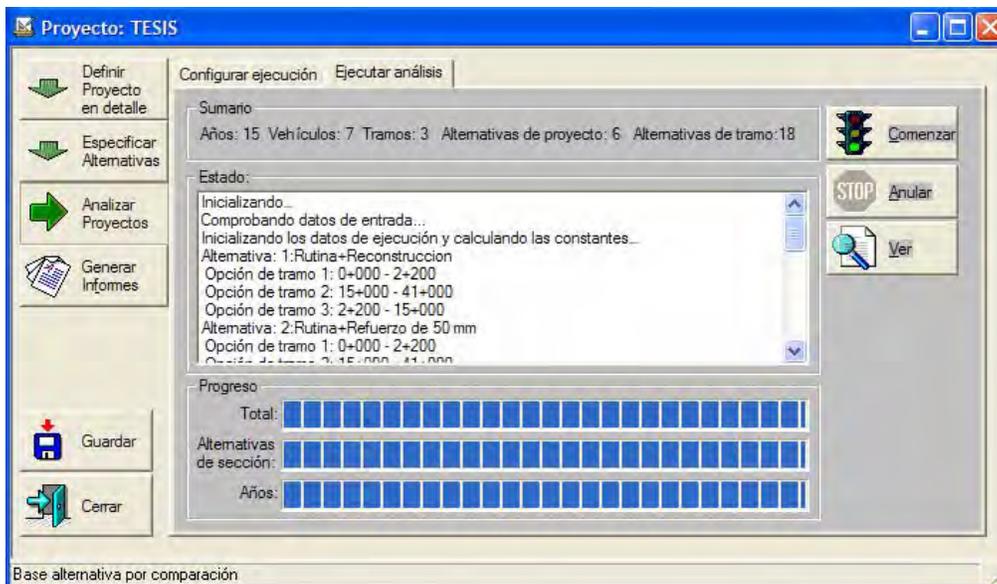


Figura 72. Pantalla que muestra el momento de la ejecución del análisis de proyecto de este estudio con el HDM-4

### 3.4.- Generación de informes.

Los resultados generados con el análisis del HDM-4 se obtienen al pulsar en la pestaña generar informes, desplegándose la pantalla mostrada en la figura 73.

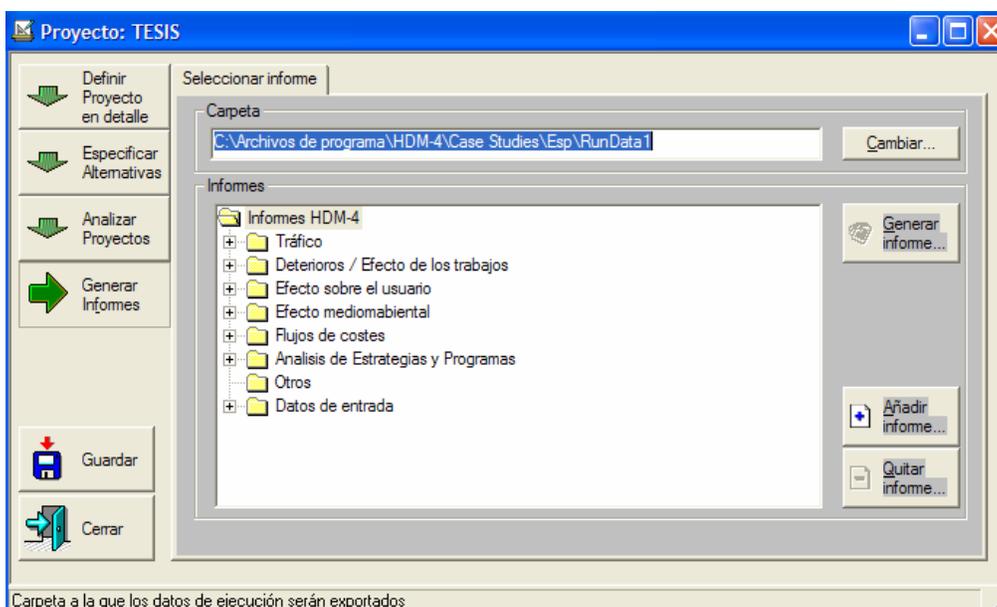


Figura 73. Pantalla que muestra los resultados que se pueden elegir después de realizado el análisis del HDM-4

#### 4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Terminada la aplicación del HDM-4 en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), se obtuvieron diversos resultados, los cuales se mencionan a continuación:

##### 4.1.- Efectos de los deterioros y de los trabajos:

a).- En las tablas 27, 28, 29, 30, 31 y 32 se presenta un resumen de las actuaciones que deben aplicarse para cada alternativa de conservación y para cada uno de los tramos y en cada año del periodo de análisis. En la base de datos del HDM-4 se pueden consultar las cantidades de trabajo y sus importes y toda la información correspondiente a estos resultados.

**Tabla 27.** Alternativa 1: Rutina + Reconstrucción (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Rutina	Rutina	Rutina
2007	Rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Rutina	Rutina
2012	Rutina	Rutina	Rutina
2013	Rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Rutina
2015	Rutina	Rutina	Rutina
2016	Rutina	Rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Rutina	Rutina	Rutina
2019	Rutina	Rutina	Rutina
2020	Reconstrucción y rutina	Rutina	Rutina

**Tabla 28.** Alternativa 2: Rutina + Refuerzo de 50 mm (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 en el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Rutina	Rutina	Rutina
2007	Refuerzo de 50 mm y rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Rutina	Rutina
2012	Rutina	Rutina	Rutina
2013	Rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Refuerzo de 50 mm y rutina
2015	Rutina	Refuerzo de 50 mm y rutina	Rutina
2016	Rutina	Rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Rutina	Rutina	Rutina
2019	Refuerzo de 50 mm y rutina	Rutina	Rutina
2020	Rutina	Rutina	Rutina

**Tabla 29.** Alternativa 3: Rutina + Sello niebla +Refuerzo de 50 mm (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Rutina	Rutina	Rutina
2007	Refuerzo de 50 mm y rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Rutina	Rutina
2012	Sello niebla y rutina	Rutina	Rutina
2013	Rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Refuerzo de 50 mm y rutina
2015	Sello niebla y rutina	Refuerzo de 50 mm y rutina	Rutina
2016	Rutina	Rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Sello niebla y rutina	Rutina	Rutina
2019	Rutina	Rutina	Rutina
2020	Refuerzo de 50 mm y rutina	Sello niebla y rutina	Sello niebla y rutina

**Tabla 30.** Alternativa 4: Rutina + Incrustación +Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Rutina	Rutina	Rutina
2007	Fres.75 y reempl.75 y rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Rutina	Rutina
2012	Rutina	Rutina	Rutina
2013	Rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Fres.75 y reempl.75 y rutina
2015	Rutina	Fres.75 y reempl.75 y rutina	Rutina
2016	Rutina	Rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Rutina	Rutina	Rutina
2019	Rutina	Rutina	Rutina
2020	Incrustación y rutina	Rutina	Rutina

**Tabla 31.** Alternativa 5: Rutina +Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Rutina	Rutina	Rutina
2007	Fres.75 y reempl.100 y rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Rutina	Rutina
2012	Rutina	Rutina	Rutina
2013	Rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Fres.75 y reempl.100 y rutina
2015	Rutina	Fres.75 y reempl.100 y rutina	Rutina
2016	Rutina	Rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Rutina	Rutina	Rutina
2019	Rutina	Rutina	Rutina
2020	Rutina	Rutina	Rutina

Tabla 32. Alternativa 6: Rutina + Resellado (Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

AÑO	TRAMO		
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000
2006	Resellado y rutina	Resellado y rutina	Resellado y rutina
2007	Rutina	Rutina	Rutina
2008	Rutina	Rutina	Rutina
2009	Resellado y rutina	Rutina	Rutina
2010	Rutina	Rutina	Rutina
2011	Rutina	Resellado y rutina	Rutina
2012	Rutina	Rutina	Resellado y rutina
2013	Resellado y rutina	Rutina	Rutina
2014	Rutina	Rutina	Rutina
2015	Rutina	Rutina	Rutina
2016	Resellado y rutina	Resellado y rutina	Rutina
2017	Rutina	Rutina	Rutina
2018	Rutina	Rutina	Resellado y rutina
2019	Resellado y rutina	Rutina	Rutina
2020	Rutina	Rutina	Rutina

b).- Gráfica de regularidad media por alternativa de proyecto:

En la siguiente figura se muestran estos resultados:

**HDM - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

**Gráfico de Regularidad Media por Alternativa de Proyecto**

Nombre del Estudio: TESIS  
Fecha de Ejecución: 15-09-2006

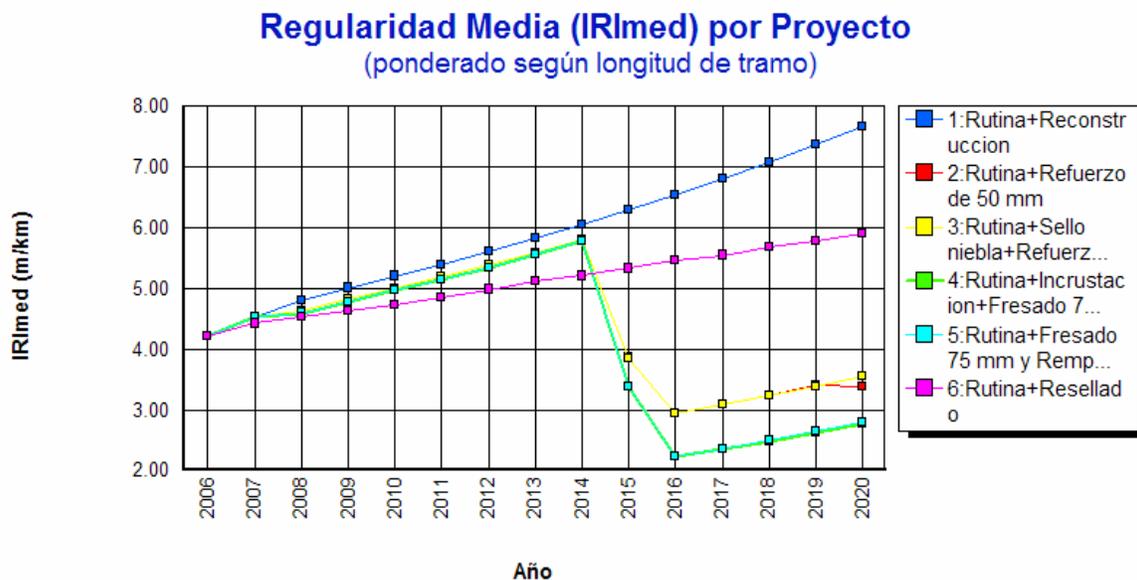


Figura 74. Regularidad media por alternativa de proyecto (Fuente: Análisis del HDM-4 el 15 de Septiembre del 2006)

c).- Gráfica de regularidad media por tramos:

En la figura 75, 76 y 77 se muestran estos resultados.

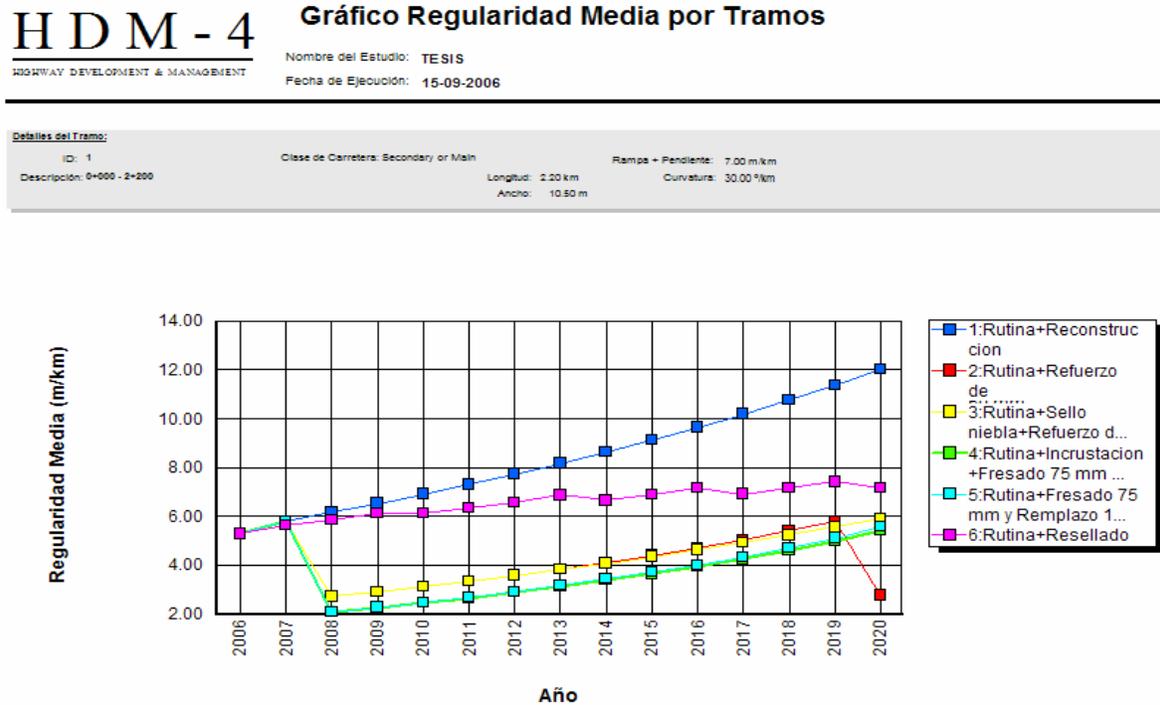


Figura 75. Regularidad media del 1er tramo del proyecto (Fuente: Análisis del HDM-4 el 15 de Septiembre del 2006)

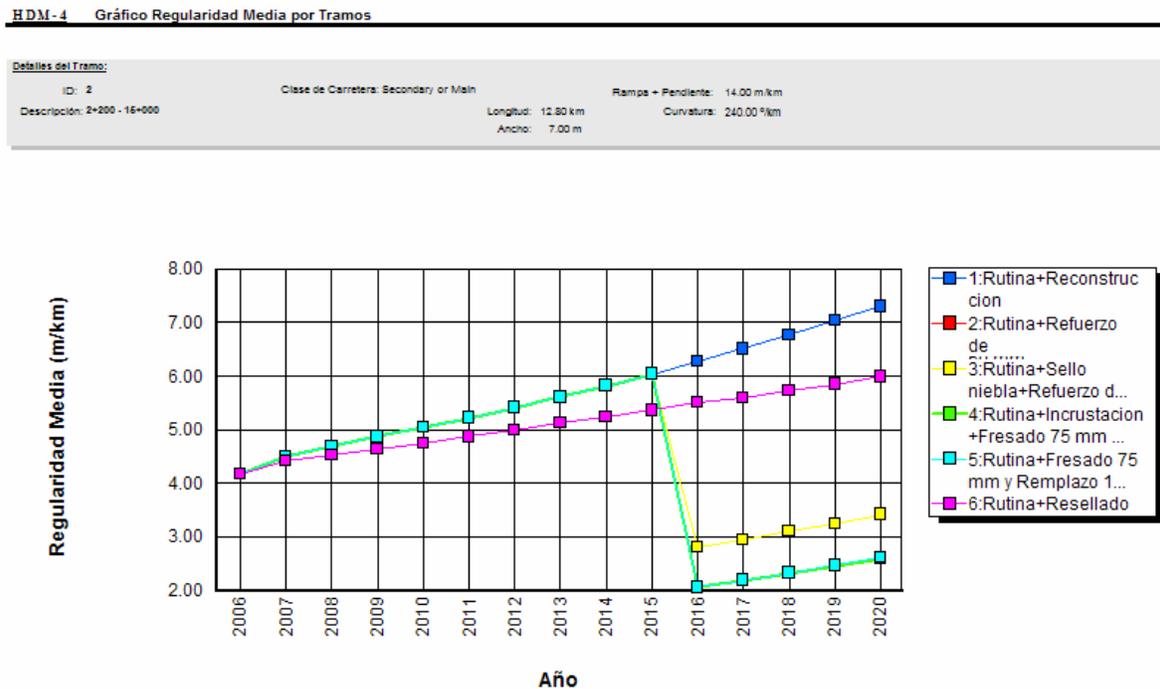


Figura 76. Regularidad media del 2o tramo del proyecto (Fuente: Análisis del HDM-4 el 15 de Septiembre del 2006)

HDM-4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

Detalles del Tramo:		
ID: 3	Clase de Carretera: Secondary or Main	Rampa + Pendiente: 20.00 m/km
Descripción: 15+000 - 41+000	Longitud: 26.00 km	Curvatura: 300.00 %/km
	Ancho: 7.00 m	

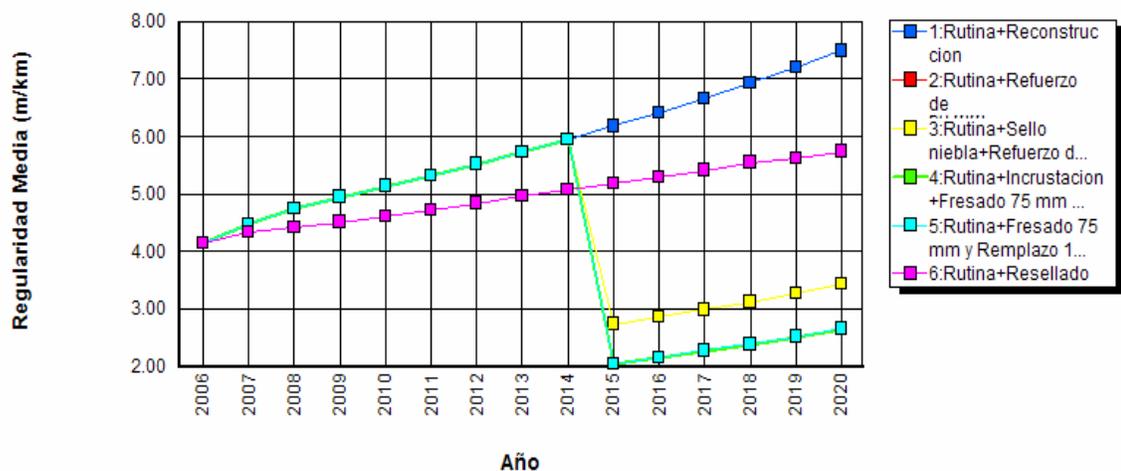


Figura 77. Regularidad media del 3er tramo del proyecto (Fuente: Análisis del HDM-4 el 15 de Septiembre del 2006)

#### 4.2.- Efectos sobre los usuarios de la carretera:

a).- Costos de operación vehicular empleando el VOCMEX.

Se realizó el cálculo de los costos de operación vehicular en esta carretera piloto, utilizando la metodología propuesta por el IMT en donde aplica el programa de cómputo VOCMEX, tomando en cuenta datos de las características de la carretera, del vehículo y con la ayuda de gráficas que relacionan rugosidad con condiciones geométricas de pendiente y curvatura y poder así calcular los costos de operación vehicular.

De acuerdo con los datos de referencia de las características regionales de la zona donde se desarrolla esta carretera, se consideró el tipo de topografía como lomerío, con valores de pendiente y grado de curvatura media de 3%, 300°/km, respectivamente. En cuanto al IRI, éste se obtuvo de datos de la SCT para el año 2005 y su valor promedio considerado fue de 4; se consideró también un IRI de 2 y uno de 6 como comparativa.

Con todos estos datos, los valores obtenidos para los factores del costo de operación base en relación a las condiciones específicas de esta carretera, fueron obtenidos a partir de las gráficas de la publicación técnica No 202 del IMT, del año 2002; y en donde los valores resultantes se muestran en la tabla 33.

**Tabla 33.** Factores del costo de operación base para 3 condiciones superficiales de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (Fuente: Elaboración propia con datos tomados de las gráficas de la publicación técnica No 202 del IMT, 2002)

TIPO DE VEHÍCULO	ESTADO SUPERFICIAL ( IRI )		
	Muy bueno (2)	Bueno (4)	Regular (6)
VEHÍCULO LIGERO (A)	1.13	1.18	1.26
AUTOBÚS (B)	1.27	1.31	1.37
CAMIÓN DE 2 EJES (C2)	1.25	1.52	1.70
CAMIÓN DE 3 EJES (C3)	1.40	1.54	1.67
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)	1.30	1.45	1.58
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)	1.35	1.50	1.65
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)	1.50	1.60	1.72

Una vez obtenidos los factores del costo de operación base, se procedió a calcular los costos de operación base para cada vehículo, multiplicando los consumos en un kilómetro de los insumos (Combustibles, lubricantes, llantas, refacciones, mantenimiento, etc), por sus respectivos precios unitarios en pesos (se realizó una investigación de precios en el mercado local durante Enero y Febrero del 2006 y se obtuvieron precios unitarios promedios de algunos insumos y otros se obtuvieron de la publicación técnica No 202 del IMT del año 2002, incrementados un 50%), con lo cual se obtuvieron los costos de operación base para los siete tipos de vehículos que se consideran son los más representativos en México y que se presentan en la tabla 34.

**Tabla 34.** Costos de operación base de cada vehículo considerado para el análisis del HDM-4 (Fuente: Elaboración propia con datos tomados de las gráficas de la publicación técnica No 202 del IMT, año 2002)

CONCEPTO	UNIDAD	TIPOS DE VEHÍCULO						
		VEHÍCULO LIGERO (A)	AUTOBÚS (B)	CAMIÓN ARTIC. (C2)	CAMIÓN ARTIC. (C3)	CAMIÓN ARTIC. (T3-S2)	CAMIÓN ARTIC. (T3-S3)	CAMIÓN ARTIC. (T3-S2-R4)
		CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
<b>CONSUMOS CADA 1,000 VEH.-km</b>								
Consumo de combustible	Litros	157.59	366.12	329.43	483.12	480.64	574.66	753.68
Uso de lubricantes	Litros	1.85	3.37	3.37	3.37	5.45	5.45	5.45
Consumo de llantas	No llant. nuev. eq.	0.06	0.3	0.17	0.26	0.38	0.45	0.64
Tiempo de operador	Horas	11.35	11.45	14	13.76	11.63	12.44	14.63
Mano de obra de mantenimiento	Horas	2.15	11.06	8.18	12.44	30.48	30.48	30.48
Refacciones	% Precio veh. Nue.	0.14	0.13	0.15	0.22	0.27	0.27	0.27
Depreciación	% Precio veh. Nue.	0.4	0.05	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07
Intereses (Tasa de 10%)	% Precio veh. Nue.	0.12	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
<b>COSTOS UNITARIOS ( \$ )</b>								
Precio del vehículo nuevo	\$	194,587.90	1,715,608.40	519,350.00	660,790.00	1,122,373.44	1,164,915.95	1,425,031.40
Costo del combustible	\$ /litro	5.65	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14
Costo de lubricantes	\$ /litro	29.46	30.43	30.43	30.43	30.43	30.43	30.43
Costo de llanta nueva	\$/llanta	791.78	2,014.50	2,042.55	2,042.55	2,042.55	2,042.55	2,042.55
Tiempo de operador	\$/hora	28.29	83.21	58.25	58.25	66.57	66.57	66.57
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	26.63	70.73	46.61	46.61	46.61	46.61	46.61
Tasa de interés anual	%	10	10	10	10	10	10	10
Costos indirectos por veh.-km	\$	0.2	0.62	0.33	0.47	0.75	0.69	0.94

COSTO DE OPERACIÓN BASE  
(\$ cada 1,000 vehículos-km)

Consumo de combustible	\$	890.38	1,881.86	1,693.27	2,483.24	2,470.49	2,953.75	3,873.92
Uso de lubricantes	\$	54.50	102.55	102.55	102.55	165.84	165.84	165.84
Consumo de llantas	\$	47.51	604.35	347.23	531.06	776.17	919.15	1,307.23
Tiempo de operador	\$	321.09	952.75	815.50	801.52	774.21	828.13	973.92
Mano de obra de mantenimiento	\$	57.25	782.27	381.27	579.83	1,420.67	1,420.67	1,420.67
Refacciones	\$	525.39	4,632.14	1,402.25	1,784.13	3,030.41	3,145.27	3,847.58
Depreciación	\$	97.29	857.80	259.68	330.40	561.19	582.46	712.52
Interés	\$	38.92	343.12	103.87	132.16	224.47	232.98	285.01
Costos indirectos	\$	200.00	620.00	330.00	470.00	750.00	690.00	940.00

SUMA : \$ 2,232.33 10,776.84 5,435.62 7,214.89 10,173.45 10,938.25 13,526.69

COSTO DE OPERACIÓN BASE POR VEH.-KM : \$ **2.23 10.78 5.44 7.21 10.17 10.94 13.53**

Una vez obtenidos los costos de operación base para cada uno de los siete tipos de vehículos considerados, se procedió a calcular los costos de operación en pesos, para un periodo de tiempo de un año, y lo cual se obtiene con la aplicación de la fórmula siguiente:

$$COA = (F_B) (C_B) (TDPA) (365)$$

Donde:

- COA = Costos de operación vehicular anual (\$).
- F<sub>B</sub> = Factor del costo de operación base (Adimensional).
- C<sub>B</sub> = Costo de operación base del vehículo (\$).
- TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual.

Al aplicar esta fórmula se obtuvieron los costos de operación en pesos por kilómetro, de acuerdo a lo obtenido y mostrado en la tabla 35.

**Tabla 35.** Costos de operación anual en pesos/km/año en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco, considerando 3 condiciones superficiales

TIPO DE VEHÍCULO	ESTADO SUPERFICIAL ( IRI )		
	Muy bueno (2)	Bueno (4)	Regular (6)
VEHÍCULO LIGERO (A)	3,489,000.00	3,643,000.00	3,890,000.00
AUTOBÚS (B)	1,334,000.00	1,376,000.00	1,439,000.00
CAMIÓN DE 2 EJES (C2)	735,000.00	893,000.00	999,000.00
CAMIÓN DE 3 EJES (C3)	715,000.00	786,000.00	853,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)	584,000.00	651,000.00	710,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)	550,000.00	611,000.00	672,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)	578,000.00	616,000.00	662,000.00
<b>Pesos / km / año</b>	<b>7,985,000.00</b>	<b>8,576,000.00</b>	<b>9,225,000.00</b>

De acuerdo con estos resultados obtenidos por kilómetro y por año, se pueden calcular los sobrecostos que se han generado y que se deberán gastar, de acuerdo a lo siguiente:

Al pasar la superficie de rodamiento de un estado muy bueno (IRI=2) a bueno (IRI=4), se originará un incremento en los costos de operación de:

**\$ 591,000.00 / km / año**

Y por otro lado al pasar de un estado bueno (IRI=4) a un estado regular en la superficie de rodamiento (IRI=6), generará otro incremento en los costos de operación de:

**\$ 649,000.00 / km / año**

También en los resultados se aprecia la diferencia en costos monetarios entre las 3 condiciones superficiales analizadas y es evidente la gran cantidad de recursos económicos que están gastando los usuarios de esta carretera y que se destinan para la operación de sus vehículos. Considerando la longitud total de la carretera en estudio, que es de 41 km, los costos de operación al año son los mostrados en la tabla 36.

**Tabla 36.** Costos de operación total en pesos/año en toda la longitud de la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco, considerando 3 condiciones superficiales.

TIPO DE VEHÍCULO	ESTADO SUPERFICIAL ( IRI )		
	Muy bueno (2)	Bueno (4)	Regular (6)
VEHÍCULO LIGERO (A)	143,049,000.00	149,363,000.00	159,490,000.00
AUTOBÚS (B)	54,694,000.00	56,416,000.00	58,999,000.00
CAMIÓN DE 2 EJES (C2)	30,135,000.00	36,613,000.00	40,959,000.00
CAMIÓN DE 3 EJES (C3)	29,315,000.00	32,226,000.00	34,973,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)	23,944,000.00	26,691,000.00	29,110,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)	22,550,000.00	25,051,000.00	27,552,000.00
CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)	23,698,000.00	25,256,000.00	27,142,000.00
<b>Pesos / año</b>	<b>327,385,000.00</b>	<b>351,616,000.00</b>	<b>378,225,000.00</b>

Considerando toda la longitud de la carretera, para un IRI de 4 y para el año 2005, los costos de operación vehicular, fueron de:

**\$ 351,616,000.00 pesos/año**

Cuando en esta carretera el IRI alcance un valor de 6, los costos de operación vehicular en toda su longitud y en un año serán de:

**\$ 378,225,000.00 pesos/año**

Esto quiere decir que se va a originar un sobrecosto de \$ 26,609,000.00 pesos al año que tendrán que pagar los usuarios de la carretera cuando el IRI se incremente a 6, lo cual, de acuerdo con la curva natural de deterioro de los pavimentos de las carreteras, la raquítica asignación de recursos para su conservación, el efecto de las cargas de los vehículos y con los factores ambientales, es muy probable que en el corto plazo se presente.

b).- En la tabla 37 se muestra un resumen de los costos de operación vehicular en dólares americanos de cada alternativa de conservación, calculados para el periodo de análisis (2006-2020), con el HDM-4.

**Tabla 37.** Resumen de los costos de operación vehicular en dólares americanos, para el periodo de análisis con el HDM-4 en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco

TRAMO:	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5	ALTERNATIVA 6
	* Rutina + Reconstrucción	* Rutina + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Sello niebla + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm	* Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm	* Rutina + Resellado
0+000-2+200	14,535,000.00	12,139,000.00	12,235,000.00	12,019,000.00	12,045,000.00	13,375,000.00
2+200-15+000	51,101,000.00	47,746,000.00	47,746,000.00	47,579,000.00	47,580,000.00	49,499,000.00
15+000-41+000	70,018,000.00	64,604,000.00	64,604,000.00	64,358,000.00	64,359,000.00	66,942,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>135,654,000.00</b>	<b>124,489,000.00</b>	<b>124,585,000.00</b>	<b>123,956,000.00</b>	<b>123,984,000.00</b>	<b>129,816,000.00</b>

### 4.3.- Flujo de costos.

a).- Costos de cada alternativa y para cada tramo en el período de análisis:

Todos los costos se obtuvieron en dólares americanos, mostrando en las tablas 38 y 39 los resúmenes de los resultados de los costos económicos y financieros de cada alternativa y para cada tramo de esta carretera, durante el periodo de análisis (2006 - 2020).

**Tabla 38.** Costos económicos en dólares americanos para cada tramo y para cada alternativa durante el periodo de análisis  
(Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

No. ALTERN.	TRAMO			SUMA Inversión / 41 km / 15 años
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000	
1	1,045,957.40	473,396.30	950,178.90	2,469,532.60
2	749,830.60	1,678,940.00	3,350,366.40	5,779,137.00
3	1,014,453.90	2,037,340.00	4,078,366.40	7,130,160.30
4	752,370.60	2,663,894.30	5,352,039.40	8,768,304.30
5	754,657.30	3,022,294.30	6,080,039.40	9,856,991.00
6	717,288.00	1,753,499.00	3,560,796.10	6,031,583.10

**Tabla 39.** Costos financieros en dólares americanos para cada alternativa y para cada tramo durante el periodo de análisis  
(Fuente: Análisis realizado el 15 de septiembre del 2006 con el HDM-4)

No. ALTERN.	TRAMO			SUMA Inversión / 41 km / 15 años
	0+000 - 2+200	2+200 - 15+000	15+000 - 41+000	
1	1,265,807.60	609,974.60	1,223,900.90	3,099,683.10
2	901,737.90	2,038,058.50	4,060,096.40	6,999,892.80
3	1,231,469.00	2,486,058.50	4,970,096.40	8,687,623.90
4	900,538.60	3,202,105.20	6,425,714.90	10,528,358.70
5	908,207.50	3,650,105.20	7,335,714.90	11,894,027.60
6	837,646.70	2,050,453.20	4,163,817.60	7,051,917.50

b).- Resumen de los costos totales por alternativa de conservación:

En la tabla 40 se presenta un resumen de los costos económicos totales, en dólares americanos, para cada una de las alternativas de conservación consideradas en este trabajo de investigación.

**Tabla 40.** Resumen de los costos económicos totales anuales en dólares americanos para cada una de las alternativas elegidas de conservación (Fuente: Análisis realizado con el HDM-4 el día 15 de Septiembre del 2006)

AÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5	ALTERNATIVA 6
	* Rutina + Reconstrucción	* Rutina + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Sello niebla + refuerzo de 50 mm	* Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm	* Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm	* Rutina + Resellado
2006	108,163.30	108,163.30	108,163.30	108,163.30	108,163.30	1,798,667.60
2007	62,035.60	402,746.70	402,746.70	656,642.70	749,042.70	29,889.00
2008	106,298.30	100,305.40	100,305.40	100,305.40	100,305.40	29,889.00
2009	106,293.60	100,300.70	100,300.70	100,300.70	100,300.70	168,489.00
2010	106,288.50	100,295.60	100,295.60	100,295.60	100,295.60	29,889.00
2011	106,282.80	100,289.90	100,289.90	100,289.90	100,289.90	567,694.30
2012	106,276.50	100,283.70	192,683.70	100,283.70	100,283.70	1,122,006.70
2013	106,269.60	100,276.70	100,276.70	100,276.70	100,276.70	168,489.00
2014	106,262.00	2,785,934.00	2,783,418.70	4,787,606.90	5,515,606.90	29,889.00
2015	106,253.50	1,377,050.10	1,466,934.70	2,362,004.30	2,720,404.30	29,889.00
2016	106,244.00	32,404.30	29,889.00	32,404.30	32,404.30	706,423.90
2017	106,233.50	32,404.30	29,889.00	32,404.30	32,404.30	29,889.00
2018	106,221.80	32,404.30	122,289.00	32,404.30	32,404.30	1,122,100.60
2019	106,208.70	376,389.00	29,889.00	32,404.30	32,404.30	168,489.00
2020	1,024,201.10	29,889.00	1,462,789.00	122,517.70	32,404.30	29,889.00
<b>TOTAL</b>	<b>2,469,532.80</b>	<b>5,779,137.00</b>	<b>7,130,160.40</b>	<b>8,768,304.10</b>	<b>9,856,990.70</b>	<b>6,031,583.10</b>

En la tabla 41 se presenta un resumen de los costos financieros totales para cada una de las alternativas de conservación, en dólares americanos.

**Tabla 41.** Resumen de los costos financieros totales anuales en dólares americanos para cada una de las alternativas elegidas de conservación (Fuente: Análisis realizado con el HDM-4 el día 15 de Septiembre del 2006)

AÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5	ALTERNATIVA 6
	* Rutina + Reconstrucción	* Rutina + Refuerzo de 50 mm	* Rutina + Sello niebla + refuerzo de 50 mm	* Rutina + Incrustación + Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm	* Rutina + Fresado de 75 mm y reemplazo de 100 mm	* Rutina + Resellado
2006	130,068.60	130,068.60	130,068.60	130,068.60	130,068.60	2,099,453.10
2007	78,737.10	486,784.60	486,784.60	786,846.60	902,346.60	35,875.00
2008	137,754.10	129,763.50	129,763.50	129,763.50	129,763.50	35,875.00
2009	137,747.80	129,757.30	129,757.30	129,757.30	129,757.30	197,575.00
2010	137,741.00	129,750.50	129,750.50	129,750.50	129,750.50	35,875.00
2011	137,733.40	129,742.90	129,742.90	129,742.90	129,742.90	663,314.50
2012	137,725.10	129,734.50	245,234.50	129,734.50	129,734.50	1,310,012.30
2013	137,715.80	129,725.30	129,725.30	129,725.30	129,725.30	197,575.00
2014	137,705.60	3,346,547.20	3,343,193.40	5,712,165.60	6,622,165.60	35,875.00
2015	137,694.30	1,652,782.10	1,764,928.30	2,816,828.80	3,264,828.80	35,875.00
2016	137,681.70	39,228.80	35,875.00	39,228.80	39,228.80	825,165.70
2017	137,667.70	39,228.80	35,875.00	39,228.80	39,228.80	35,875.00
2018	137,652.00	39,228.80	151,375.00	39,228.80	39,228.80	1,310,121.90
2019	137,634.50	451,675.00	35,875.00	39,228.80	39,228.80	197,575.00
2020	1,238,424.40	35,875.00	1,809,675.00	147,059.90	39,228.80	35,875.00
<b>TOTAL</b>	<b>3,099,683.10</b>	<b>6,999,892.90</b>	<b>8,687,623.90</b>	<b>10,528,358.70</b>	<b>11,894,027.60</b>	<b>7,051,917.50</b>

c).- Resumen del análisis económico:

En la tabla 42 se presentan estos resultados en dólares americanos.

**Tabla 42.** Resumen del análisis económico calculado en dólares americanos, para este proyecto con el HDM-4 realizado el día 15 de Septiembre del 2006

# HDM - 4 RESUMEN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

ROADWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Fecha de ejecución: 15-09-2006

Moneda: US Dollar (millones)

Tasa de descuento: 6.00%.

ALTERNATIVA No	INVERSIÓN ADMINISTRACIÓN (Dólares)	COV USUARIOS (Dólares)	INVERSIÓN TOTAL (Dólares)	BENEFICIOS TOTALES (Dólares)
1	2,469,532.80	135,654,000.00	138,123,532.80	alternativa base
2	5,779,137.00	124,489,000.00	130,268,137.00	<b>7,855,395.80</b>
3	7,130,160.40	124,585,000.00	131,715,160.40	<b>6,408,372.40</b>
4	8,768,304.10	123,956,000.00	132,724,304.10	<b>5,399,228.70</b>
5	9,856,990.70	123,984,000.00	133,840,990.70	<b>4,282,542.10</b>
6	6,031,583.10	129,816,000.00	135,847,583.10	<b>2,275,949.70</b>

También se obtuvieron otros resultados con la aplicación del HDM-4 en esta carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco, los cuales se encuentran disponibles en su base de datos y solamente se mencionan a continuación:

- ❖ Estado anual de la carretera.
- ❖ Emisiones anuales de los vehículos.
- ❖ Flujo de costos anuales de la administración y del usuario.
- ❖ Flujo de costos por tramo.
- ❖ Otros.

#### 4.4.- Resumen de resultados.

Una vez que se ha realizado la aplicación del HDM-4 en la carretera piloto Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), se han obtenido resultados y analizando los obtenidos de la calendarización de las actuaciones que se deben de realizar en cada uno de los años, se puede mencionar que la alternativa base, es decir, la alternativa 1 (Rutina+Reconstrucción) no presenta beneficios importantes, ya que durante todo el periodo de análisis únicamente se contempla la ejecución de la conservación de rutina y en el año 2020 se requiere de reconstrucción en el primer tramo.

De la alternativa 2 se observa que es adecuado aplicar el refuerzo en el año 2007 en el tramo más crítico que es del km 0+000 al km 2+200 y en el 2014 se aplica otro refuerzo al tramo del km 15+000 al km 41+000; y en el año 2015 se aplica un refuerzo en el tramo del km 2+200 al km 15+000, además es muy importante la aplicación de la conservación de rutina.

Para la alternativa 3 se contempla la aplicación del sello niebla para sellar las grietas superficiales y retrasar la aparición de deterioros más severos en el pavimento; además se contempla el refuerzo con intervalos de aplicación adecuados de acuerdo con las condiciones de cada tramo.

La alternativa 4 muestra la aplicación del fresado y reemplazo a intervalos de tiempo adecuados, acompañados de la aplicación de la conservación de rutina y en el año 2020 se contempla la incrustación en el primer tramo que es el más crítico.

En la alternativa 5 se contempla un fresado y reemplazo durante el año 2007 que es el tramo más crítico, ya que es el que soporta mayores cargas vehiculares y es el que presenta mayores deterioros; también se contempla el fresado y reemplazo durante los años 2014 y 2015 en los 2 últimos tramos, respectivamente; además se contempla la aplicación de la conservación de rutina en cada una de estas alternativas, lo que es muy importante.

En la alternativa 6 se contempla la aplicación de resellado en los 3 tramos en el 2006 y se observa que para el tramo del km 0+000 al km 2+200 el intervalo de aplicación del resellado es de 3 años, mientras que para el tramo del km 2+200 al km 15+000 se aplica el resellado cada 5 años. En el último tramo que va del km 15+000 al km 41+000 el resellado se aplica cada 6 años y en todos los años se contempla la presencia de la conservación de rutina.

La actividad de resellado es muy importante ya que retrasa la presencia de la fisuración estructural en el pavimento, mejorando el coeficiente de fricción y proporcionando una superficie de rodamiento mas cómoda, rápida y segura, pero tiene el inconveniente de que casi no aporta para el mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento.

En la figura 78 se muestran los resultados de la regularidad media para el primer tramo, en donde la mejor alternativa es la 2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm).

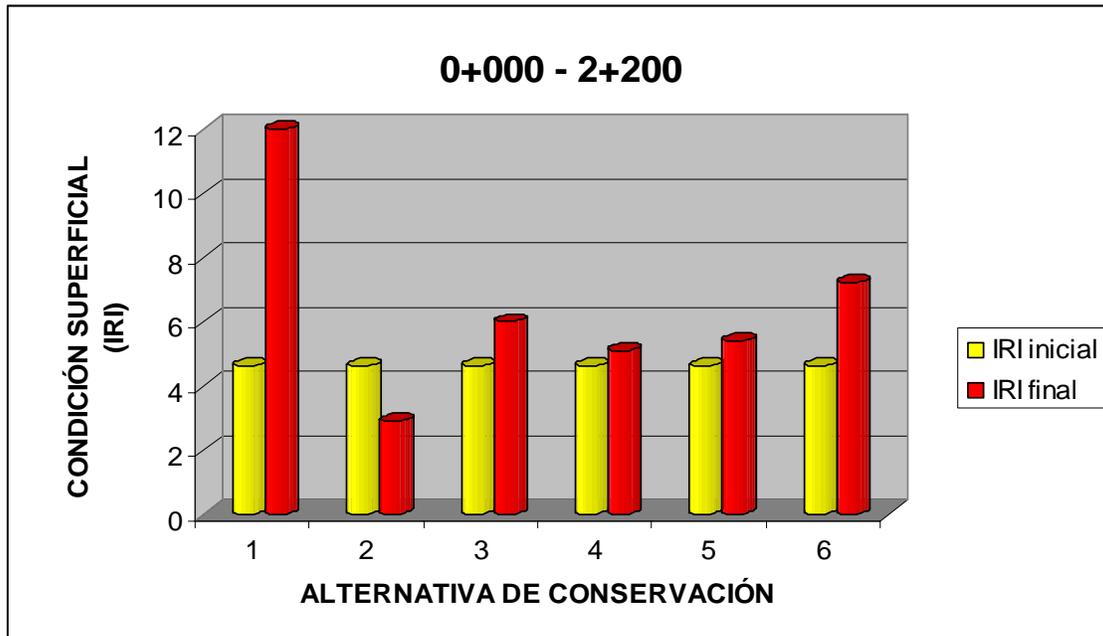


Figura 78. Comportamiento del IRI en el tramo del km 0+000 al km 2+200 para cada alternativa

En la figura 79 se aprecia el segundo tramo analizado, en donde la alternativa que presenta las mejores condiciones superficiales medidas a través del IRI es la 4 (Rutina+Incrustación+Fresado de 75 mm y reemplazo de 75 mm).

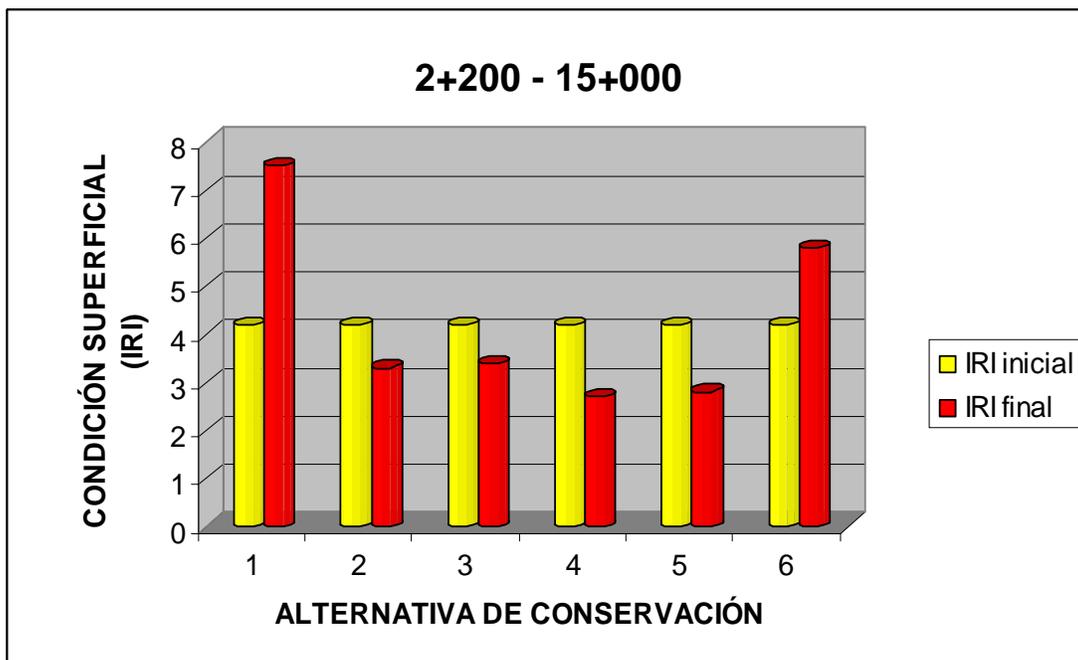


Figura 79. Comportamiento del IRI en el tramo del km 2+200 al km 15+000 para cada alternativa

En la figura 80 se observa que en el tercer tramo la alternativa que presenta la mejor condición superficial durante y al final del periodo de análisis es la 4.

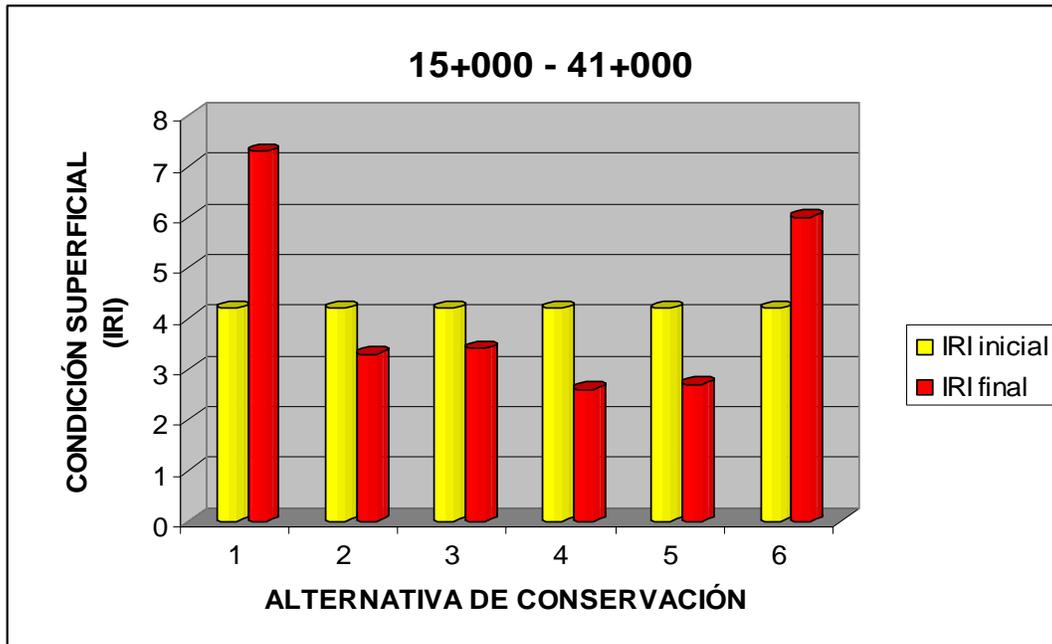


Figura 80. Comportamiento del IRI en el tramo del km 15+000 al km 41+000 para cada alternativa

En la figura 81 se muestran los resultados de los costos de operación calculados por el HDM-4, en donde la alternativa que presenta los mayores beneficios traducidos en menores costos de operación durante el periodo de análisis (2006-2020) es la 4.

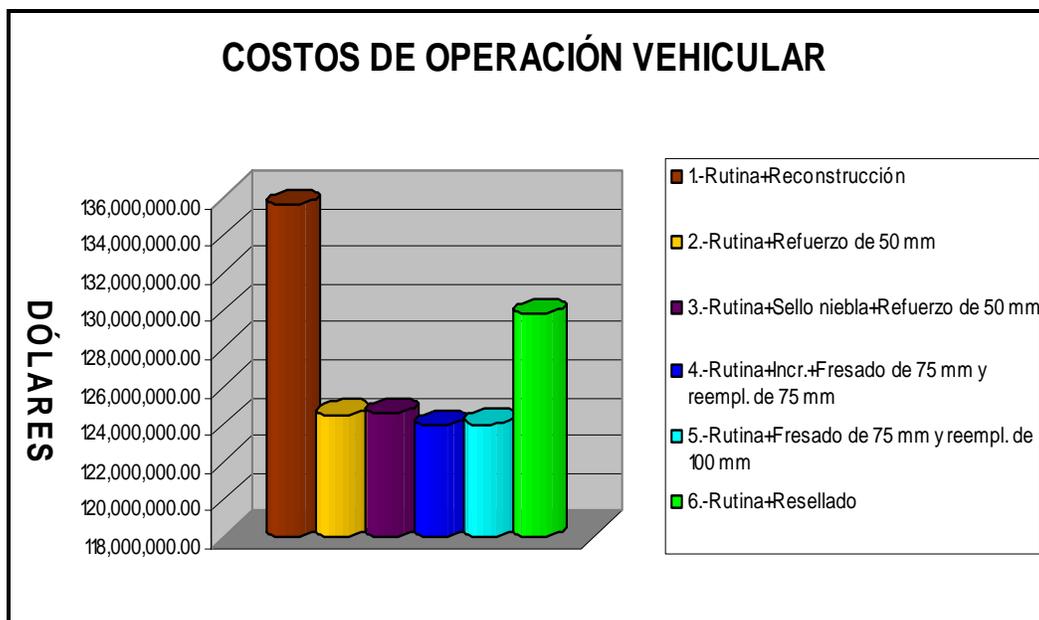


Figura 81. Costos de Operación Vehicular para cada alternativa de conservación

De los resultados económicos obtenidos para cada alternativa de conservación, se observa a la alternativa 2 como la que presenta la inversión más baja después de la alternativa base (alternativa 1), tal como se muestra en la figura 82.

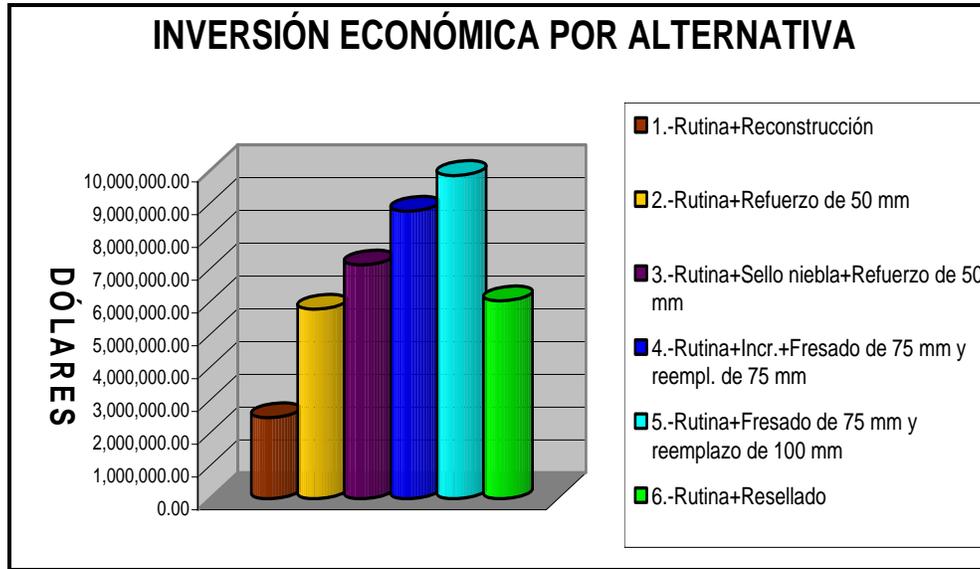


Figura 82. Inversión económica por cada alternativa de conservación

Con relación a los indicadores económicos calculados por el HDM-4 en el análisis de esta carretera, como son el valor actual neto (VAN), la relación VAN/COSTO y la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), es decir, el mayor beneficio económico neto obtenido al comparar las alternativas con la alternativa base, resultando que la mejor opción es:

ALTERNATIVA:	VAN:	VAN/COSTO:	TIR:
2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm)	3.499	1.167	32.6
3 (Rutina+Sello niebla+Ref. de 50 mm)	2.828	0.946	29.7
4 (Rutina+Incrustación+fresado y reempl.de 50 mm)	1.820	0.367	15.5
5 (Rutina+Fresado de 75 mm y reempl. de 100 mm)	1.090	0.192	11.1
6 (Rutina+Resellado)	0.258	0.062	7.3

De acuerdo al análisis realizado de todos los resultados obtenidos arriba descritos y a los indicadores económicos calculados, la alternativa 2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm) ha resultado ser la más adecuada y la mejor opción, ya que tiene una inversión total de \$ 5,779,137.00 (Dólares), siendo la más baja después de la alternativa base (alternativa 1). La inversión de esta alternativa es similar a los recursos que destina la SCT para la conservación en la red federal de carreteras pavimentadas libres de peaje en México.

Se puede justificar la inversión de la mejor opción, que es la alternativa 2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm), haciendo una comparativa de los beneficios totales arrojados para cada una de las alternativas consideradas, comparados con la alternativa base (1.-Rutina+Reconstrucción), de acuerdo con lo mostrado en la figura 83.

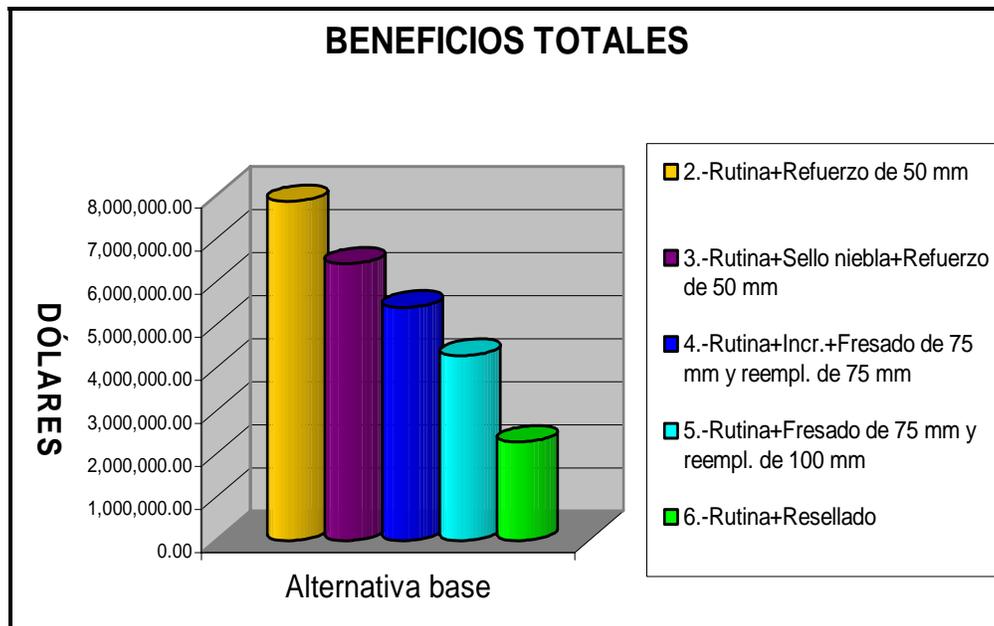


Figura 83. Beneficios totales arrojados para cada alternativa de conservación

De la aplicación del HDM-4 en la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia) se ha concluido que la mejor alternativa es la 2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm), ya que es la que presenta los mayores beneficios totales. Esto se traduce en bajos costos de operación vehicular para los usuarios y en ahorro de recursos que destinaría la dependencia ejecutora (SCT) para el mantenimiento o conservación de esta carretera durante este periodo de análisis y además estos ahorros beneficiarán a todo el estado de Michoacán y al País. En la figura 84 se presenta un resumen de los resultados totales obtenidos.

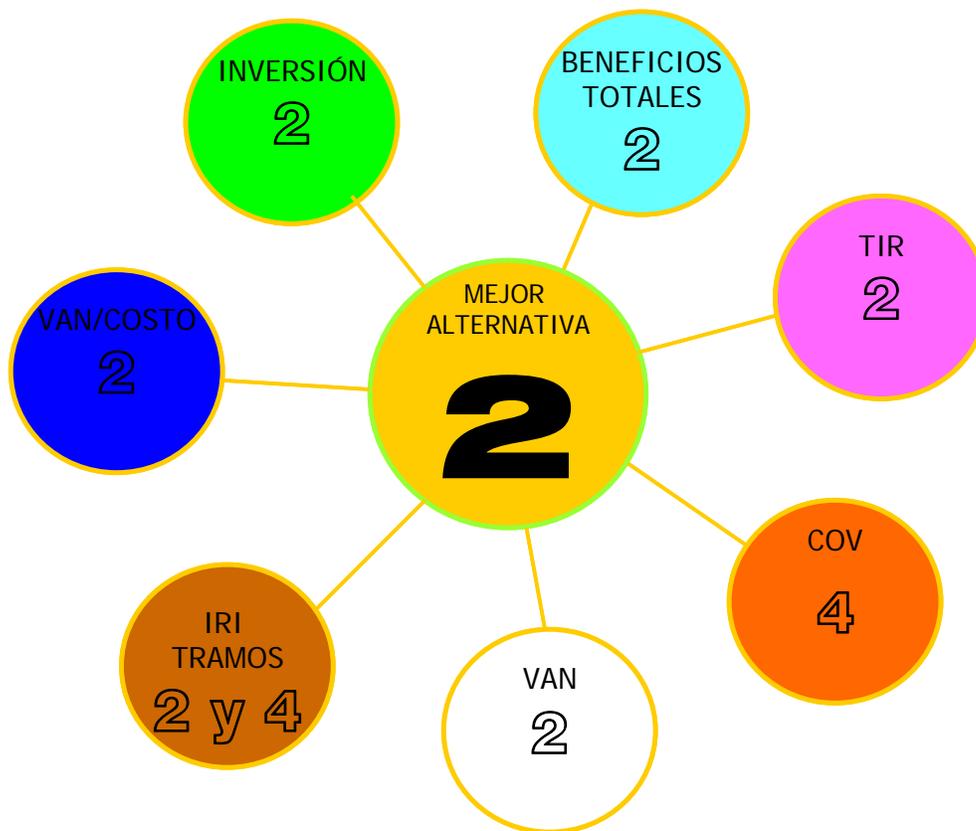


Figura 84. Resumen de los resultados totales obtenidos con el análisis del HDM-4

La aplicación de la alternativa 2 (Rutina+Refuerzo de 50 mm) para la conservación de esta carretera, se proporcionará un importante aporte a la capacidad estructural en su pavimento. Esto es muy importante ya que se ha observado en los estudios que se realizan para el diseño de pavimentos, que el espesor de la carpeta superficial influye de manera importante en su capacidad, incrementando su vida útil, mejorando el nivel de servicio y la calidad en la superficie de rodamiento. Esto es importante para soportar mayores cargas vehiculares durante más tiempo, retardando la aparición de la falla por fatiga y por deformación permanente del pavimento.

## V.- CONCLUSIONES

Con la realización del presente trabajo se logró implantar el modelo de gestión del Banco Mundial denominado HDM-4 en la carretera piloto Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco (San José de Gracia), con lo cual, se obtuvieron resultados muy importantes que podrán ser tomados en cuenta por la dependencia ejecutora (SCT) para realizar una conservación planeada, efectiva y eficaz en esta carretera.

Por otra parte, nos permitió valorar la importancia de la utilización de un sistema de gestión para la optimización de los recursos técnicos y económicos para el manejo de cualquier red carretera.

Al establecer el marco económico que nos permitió realizar el análisis empleando el HDM-4 observamos que es indispensable contar con esta información para que el personal responsable en la dependencia ejecutora pueda decidir los niveles óptimos de aplicación de recursos económicos en cualquier tramo carretero.

Con la aplicación de este importante sistema de gestión también se obtuvo el calendario de las actuaciones o trabajos de conservación que deben ser ejecutados para cada año del periodo de análisis. Se obtuvieron también sus cantidades de trabajo y los correspondientes importes económicos, que se deben aplicar para cada alternativa considerada y específicamente para la alternativa elegida. Con estos resultados técnicos y económicos cualquier dependencia estará en posibilidad de preparar sus programas anuales para realizar una conservación bien planeada en sus carreteras.

También con los resultados económicos obtenidos para cada año del periodo de análisis y para cada alternativa considerada, se podrán gestionar los recursos económicos necesarios ante las instancias gubernamentales y así la dependencia ejecutora podrá realizar una adecuada y efectiva conservación de su red en el corto, mediano y largo plazo.

Así mismo con estos resultados económicos se logrará optimizar el reparto de los recursos disponibles; es decir, repartirlos con base en las necesidades específicas que presenten las carreteras, lo cual es muy importante, considerando la escasa asignación de recursos económicos que destina el gobierno.

También se obtuvo la condición del estado superficial de la carretera durante todo el periodo de análisis, medido a través del comportamiento del IRI para cada alternativa de conservación considerada y para cada uno de los tramos analizados. Esto es muy importante, ya que esta información nos permite predecir el estado de las carreteras durante cada año y para cada alternativa analizada, con lo cual estaremos en posibilidades de tener presente los efectos y los impactos en los usuarios.

Con toda la información técnica y económica obtenida se permitirá a las dependencias ejecutoras verificar la eficacia de cada trabajo de conservación que deba ser ejecutado en la alternativa adoptada. Pero si existen variaciones importantes con respecto a lo planeado y programado, ver a que se debe esa variación y detectar la causa para su corrección.

Esto es muy importante, ya que permite a la dependencia ejecutora tener una visión global de toda la longitud de la red carretera analizada, con lo cual, se logrará su excelente conservación y así elevar su nivel de servicio y reducir los costos de operación que impactan a los usuarios.

Actualmente los organismos o dependencias que se encargan de aplicar la conservación en las carreteras en Michoacán no utilizan un sistema de gestión de forma adecuada. Esto es muy preocupante, ya que se destinan y se aplican recursos económicos sin una buena planeación y además sin considerar las necesidades que presente cada una de las carreteras y el resultado es un bajo nivel de servicio y altos costos de operación.

Para la aplicación del HDM-4 en la carretera piloto, se incluyó una alternativa de conservación dentro de las estudiadas que considera conservación rutinaria y resellado únicamente, la cual, es similar a la que manejan y aplican algunos organismos de manera general para conservar las carreteras en el Estado de Michoacán.

De los resultados técnicos y económicos que se obtuvieron con el HDM-4, se observa que esta alternativa es un poco más costosa a largo plazo, que la inversión económica de la mejor alternativa estudiada que considera conservación rutinaria y un refuerzo de 50 mm durante el periodo de análisis. Sin embargo, los costos de operación vehicular calculados resultaron ser mucho más altos para la alternativa de conservación que utilizan algunos organismos de forma general, con lo cual es evidente, que no es aconsejable tratar de aplicar alternativas de conservación inadecuadas en el mayor número de kilómetros por ahorradoras que parezcan.

Por el contrario, la tendencia debe ir encaminada a que se apliquen alternativas para la conservación de las carreteras con base a los resultados arrojados por un sistema de gestión, que nos muestre de forma técnica y económica cual es la mejor alternativa para adoptar, de acuerdo a las necesidades de cada carretera analizada.

Con respecto a los beneficios totales, es decir, a los ahorros económicos en inversión y en costos de operación vehicular durante el periodo de análisis, resultó que la mejor alternativa fue la alternativa 2 que incluye conservación rutinaria y un refuerzo de 50 mm durante el periodo de análisis, ya que arrojó beneficios totales por \$ 7,855,395.80 dólares, muy superiores a los beneficios de aplicar conservación rutinaria y resellado únicamente; con lo cual es muy evidente, que el

empleo de un sistema de gestión como el HDM-4, nos permite ver estos resultados de forma clara y contundente.

Cuando se realiza un ahorro “ficticio” aplicando acciones de conservación baratas, que no resuelven los problemas a fondo en la conservación de las carreteras, pero que alcanzan para “hacer algo” en un mayor número de kilómetros, está costando muchos millones de pesos a los usuarios, al Estado de Michoacán y al País. Esto, debido a los altos costos de operación que impactan a los usuarios al recorrer carreteras que rápidamente se deterioran y es necesario que los organismos gestionen y destinen mayores recursos económicos para conservar en buen estado y con un nivel de servicio aceptable las redes carreteras.

Los sobre costos de operación vehicular obtenidos en esta carretera con la aplicación del HDM-4 comparando la mejor alternativa con la aplicación de conservación rutinaria y resellado, nos da un panorama de lo que está sucediendo en la mayoría de las carreteras de jurisdicción estatal y federal libres de peaje, por lo tanto, si sumamos estos costos de forma total, podemos deducir fácilmente que superan a los recursos que se destinan para la conservación de las carreteras.

Esto nos habla de la importancia de hacer un análisis detallado de alternativas usando un sistema de gestión que nos permita analizar el problema a mediano y largo plazo, de lo contrario, los usuarios, el gobierno del Estado de Michoacán y el País deberán pagar más recursos económicos al transitar por carreteras en malas condiciones.

Por lo tanto, se considera de gran importancia que las personas que están encargadas de dirigir los destinos de las dependencias que conservan redes carreteras, implanten un sistema de gestión de acuerdo con sus posibilidades y que les permita optimizar la aplicación de recursos técnicos y económicos.

Así mismo, también se requiere de la información general de cada carretera por analizar, con lo cual, toda esta información se integrará en una base de datos, la cual deberá ser dinámica, es decir, se debe actualizar cada año con el propósito de tener la información que permita alimentar adecuadamente al sistema de gestión adoptado.

Hay que tener presente que el HDM-4 nos proporciona información y resultados muy valiosos, para llevar a cabo la conservación de carreteras, pero considera que durante la ejecución de los trabajos, se contará con un adecuado y eficaz control de calidad, por lo cual será muy importante contemplar el llevar a cabo un buen control de calidad apegado a la normativa vigente.

Finalmente, con la realización de este trabajo de investigación se puede concluir que el HDM-4 nos ofrece una gran cantidad de información muy importante con la cual se puede elegir la alternativa de conservación que ofrezca los mayores beneficios para los usuarios de una red carretera y aparece como una herramienta muy valiosa para que las dependencias puedan realizar los trabajos de

conservación de carreteras con una adecuada planeación, programación, ejecución, control y verificación.

Por consiguiente, con la aplicación de un sistema de gestión como el HDM-4 se reducirán los costos de operación para los usuarios y se optimizarán las inversiones económicas gubernamentales destinadas para la conservación de las carreteras a corto, mediano y largo plazo, con lo cual, se dará un impulso muy importante a la economía y al desarrollo del Estado de Michoacán y de México.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Arroyo Osorno, J.A. Aguerrebere Salido, R., Publicación Técnica N° 202 “Estado superficial y costos de operación en carreteras”, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2002.

Albrecht G., “Curso internacional de evaluación de pavimentos”, Instituto Técnico de la Vialidad y del Transporte de Madrid, España (INTEVIA), Querétaro, México, 2004.

Arriaga Patiño M.C., Garnica Anguas P., “Índice internacional de rugosidad, aplicación en la red carretera de México”, Publicación técnica No. 108, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 1998.

Águeda Martín F.J., artículo: “Los principios modernos de gestión aplicados a la gestión de una red de carreteras”, Revista de obras públicas, Dirección General de Carreteras de Madrid, 2002.

Bennett, C.R. and Paterson, William D.O., Documentation of HDM-4, versión 1.0, International Study of Highway Development and Management Tools ( ISO HDM ), United Kingdom, 2000.

Bull A., Artículo: “Mejorando la efectividad de la gestión de los fondos de conservación vial”, Primer congreso regional de fondos de conservación vial, Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), El Salvador, 2002.

Bull A., artículo: “Un nuevo paradigma para la conservación vial: de hacer lo que se puede a hacer lo que es exigible”, Primer congreso de fondos de conservación vial de Centroamérica, Unidad de Transporte, Dirección de vialidad de Chile, 2003.

Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, artículo: “Sistemas de gestión del mantenimiento”, Dirección de vialidad de Chile, Madrid, 2002.

Duran, G., Modelo VOCMEX, Traducción de Vehicle Operating Costs Model, versión 3.0, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1994.

Enciclopedia Encarta, 2005

Echeverz J., Caceres L., Boletín No 13, “Reforma conservación vial”, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Montevideo, Uruguay, 2001.

- González García M. artículo: "Modelo de gestión HDM-4, su aplicación en la red carretera federal libre de peaje", V Seminario de ingeniería vial, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., México, D.F., 2005.
- Kraemer C., Pardillo J.M., Rocci S., G. Romana M., Sánchez Blanco V., Del Val M.A., "Ingeniería de Carreteras", Volumen II, Ed. Mc Graw Hill, Madrid, 2003.
- Leyva Castro, J.R., Mendoza Díaz, A., García Chávez, A., Publicación Técnica N° 205, "Desarrollo de un SIG para valuar los Costos de Operación Vehicular del Autotransporte de Carga en Carreteras Federales: SIGCOV MEX 1", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2002.
- Mendoza Díaz A., Campos Mirón J., Mayoral Grajeda E., Publicación Técnica No164, "Aplicación del HDM-III a la red carretera federal del Estado de Puebla", Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Querétaro, 2001.
- Orozco y Orozco J.M., Téllez Gutiérrez R., Solorio Murillo R., Pérez Salazar A., Sánchez Loo M.A., Torres Ortiz S., "Sistema de Evaluación de Pavimentos versión 2.0", Publicación técnica No. 245, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 2004.
- Pérez Bello, D., Mendoza Díaz, A., García Chávez, A., Villegas Villegas, N., Publicación Técnica N° 179, "Análisis de Costos de Operación Vehicular del Autotransporte de Carga por la Red Carretera Federal", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2001.
- Página de internet: [www.sct.gob.com.mx](http://www.sct.gob.com.mx). (Carreteras)
- Rico Rodríguez A., Orozco y Orozco J.M., Téllez Gutiérrez R., Pérez García A., "Primera fase Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP)", documento técnico No. 3, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 1990.
- Rico Rodríguez A., Orozco y Orozco J.M., Téllez Gutiérrez R., Damián Hernández S.A., Pérez Salazar A., López Valdés D.B., Solorio Murillo R., Sánchez Loo M.A., "Sistema de Evaluación de Pavimentos versión 1.0", Publicación técnica No. 208, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 2002.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Libro de Datos Viales", Subsecretaría de Infraestructura, 2005.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en la red federal carretera de Michoacán", Dirección General de Servicios Técnicos, 2005.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Norma oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995 (Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, 1995.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Anuario estadístico 2003", Dirección General de Planeación, 2003.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Infraestructura Carretera", Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), 2005.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Manual estadístico del sector transporte", Instituto Mexicano del Transporte (IMT), 2003.

Sánchez Sabogal F., artículo: "Gestión de la conservación vial en Colombia", 14 Congreso Mundial de la Carretera, Instituto Nacional de Vías de Colombia, 2000.

Salgado Torres M., "Curso internacional de conservación de carreteras, SEP y HDM-4", Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, Sanfandila Querétaro, 2003.

The World Road Association (PIARC), "Internacional Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-4), 2000.

PIARC, Volumen 1 de Vision General del HDM-4 (Highway Design and Maintenance Standards Model), 2000.

Videla C., artículo: "Administración de la conservación de pavimentos", Departamento de Ingeniería y gestión de la conservación en Chile, 2002.

XII Censo de Población del INEGI, 2000.