

# METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS.

F. J. MORENO FIERROS

Alta Tecnología en Ingeniería de Pavimentos y Seguridad Vial, S.A. de C.V., México  
[fjmorfi6@prodigy.net.mx](mailto:fjmorfi6@prodigy.net.mx)

## RESUMEN

En años recientes se han empezado a establecer en México y en otras naciones, diversos esquemas de financiamiento para la conservación de carreteras, en donde se otorga en concesión una carretera o una red de carreteras a una empresa prestadora del servicio durante un período determinado. Las empresas concesionarias deben cumplir con ciertos estándares de desempeño a lo largo de la vida de la concesión, tales como IRI, Profundidad de Roderas, deflexiones, baches, fricción, entre otros. Se propone una metodología que permita determinar de manera inicial las estrategias de conservación a lo largo del período de concesión, llevando a cabo la gestión de pavimentos con el modelo HDM-4. La metodología considera el tipo de vía, volúmenes de tránsito, clasificación vehicular, indicadores como el IRI y profundidad de roderas, deflexiones, niveles de agrietamiento, así como la edad del pavimento. La metodología utiliza modelos matemáticos, así como resultados de análisis de pavimentos para determinar las estrategias de conservación, mismas que serán estudiadas en el modelo HDM-4. Esta metodología podrá ser utilizada por las diversas agencias encargadas de la conservación de vías, tanto a nivel red, como de manera individual.

## 1. SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

Los sistemas de administración de pavimentos han sido definidos por la AASHTO como un conjunto de herramientas o métodos que auxilian en la toma de decisiones para encontrar estrategias óptimas con la finalidad de proporcionar, evaluar y mantener los pavimentos en una condición de servicio en un período de tiempo. [1]

Las actividades de la administración de pavimentos se enfocan hacia dos distintos niveles: nivel red y nivel proyecto. [2] El nivel red es la visión global de la infraestructura de pavimentos y su objetivo son las cuestiones de planeación y presupuesto general. El nivel proyecto tiene un enfoque local en un componente limitado de la red. En este nivel es en donde se toman las decisiones específicas sobre las estrategias de mantenimiento y la asignación de fondos.

### 1.1. Actividades a nivel red

El propósito y las metas del proceso de administración a nivel red se relacionan con el proceso de presupuestación e incluyen:

1. Identificación de las necesidades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos.
2. Determinación de los fondos necesarios para la atención de dichas necesidades.
3. Análisis de factibilidad de las alternativas de financiamiento y de las estrategias que se aplicarán.
4. Determinación del impacto de las alternativas de financiamiento en el desempeño del pavimento así como los efectos en la seguridad de los usuarios.
5. Desarrollo de las recomendaciones del presupuesto óptimo del pavimento.

En general, los sistemas de administración de pavimentos auxilian en las fases de planeación, programación, presupuestación y análisis. Un análisis a nivel red implica

identificar las necesidades de mantenimiento, las necesidades de fondos, el impacto de las diferentes alternativas de financiamiento consideradas, así como la definición de prioridades de proyecto. Estos resultados se pueden utilizar para proporcionar soporte técnico, jurídico y administrativo en general en la definición de las acciones a seguir.

## 1.2. Actividades a nivel proyecto

El sistema de administración de pavimentos a nivel red se compone de diferentes actividades a nivel proyecto. En el nivel proyecto, el propósito de un sistema de administración de pavimentos es proporcionar el mayor beneficio/costo, así como la más óptima estrategia posible de diseño, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción para una sección de pavimento seleccionada dentro de los presupuestos disponibles y otras restricciones. En general debe incluir lo siguiente:

1. Una evaluación de la necesidad de la construcción o la causa del deterioro.
2. Identificación de estrategias factibles de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción.
3. Análisis beneficio/costo de las diferentes alternativas.
4. Definición de restricciones impuestas.
5. Selección de la estrategia con el mayor beneficio/costo considerando las restricciones impuestas.

Esta etapa generalmente se conoce como diseño preliminar, debido a que no incluye los diseños de pavimento, planos y especificaciones.

## 1.3. Elementos a nivel red

Los elementos básicos de un sistema de administración de pavimentos a nivel red incluyen un inventario, una evaluación de su condición, determinación de necesidades, priorización de proyectos que requieren mantenimiento y rehabilitación, un método para determinar el impacto de las decisiones de financiamiento y un proceso de retroalimentación. Este sistema global se compone de dos grandes subsistemas. El sistema de administración de información recaba, almacena y administra los datos. El sistema de apoyo a las decisiones es el conjunto de algoritmos que analiza los datos y proporciona recomendaciones a los administradores. De esta forma, los elementos a nivel red incluyen:

1. Definición de los límites de la red.
2. Desarrollo de un inventario de las carreteras o vialidades contenidas en la red.
3. Desarrollo de una encuesta de condición para identificar los diferentes deterioros del pavimento.
4. Desarrollo de las estrategias de mantenimiento, estimación de costos y vida esperada.
5. Determinación de necesidades de rehabilitación o reconstrucción.
6. Análisis de costos de rehabilitación y reconstrucción.
7. Determinación de las necesidades generales de la red.
8. Priorización de las necesidades de rehabilitación y reconstrucción considerando las limitaciones de fondos.
9. Pronóstico del estado futuro de la red y el impacto del financiamiento.
10. Implementación de un sistema de retroalimentación para la actualización de costos, expectativas de vida, revisión de estrategias de rehabilitación y reconstrucción, así como mejorar la confiabilidad del sistema.

### 1.3.1 *Inventario*

El inventario a nivel red es la base de datos de la información básica. Generalmente incluye información que define el tipo de las secciones de pavimento, localización, cadenamientos inicial y final de cada tramo o sección, número de clave, geometría

(longitud, ancho, número de carriles), designaciones de ruta, jurisdicción (federal, estatal, municipal, etc.), clasificación funcional (primaria, secundaria, troncal, alimentadora), información histórica (fechas de construcción, último tratamiento), características del pavimento (flexible, rígido, mixto). Este tipo de información solo se proporciona una vez en la base de datos. Sólo se modifica si ocurren cambios importantes, como una ampliación de carriles o el cambio del tipo de pavimento, etc.

### 1.3.2 *Evaluación de la condición de pavimento*

La evaluación de pavimentos comprende las actividades relativas al acopio de datos para determinar el tipo, cantidad y severidad de los deterioros superficiales, capacidad estructural, irregularidad superficial y resistencia al deslizamiento del pavimento. Esta información servirá para definir las necesidades de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, prever la condición futura del proyecto e identificar los impactos del tratamiento. De igual forma, servirá para identificar estrategias factibles de rehabilitación y reconstrucción, priorizar los trabajos así como optimizar los costos. Para la evaluación de la condición de pavimento se utilizan los siguientes factores:

#### 1.3.2.1 *Deterioros superficiales*

La información debe contener el tipo, severidad y cantidad de deterioros superficiales. Con esta se determina el Índice de Condición de Pavimento (PCI). Los deterioros superficiales y el PCI se utilizan para identificar los tiempos de mantenimiento y rehabilitación, así como los fondos necesarios en el proceso de administración de pavimentos. Entre los diferentes tipos de deterioros pueden diferenciarse los que son causados por mecanismos funcionales, como por ejemplo el agrietamiento transversal por reflexión, o bien aquellos deterioros relacionados directamente con las cargas, como las roderas o el agrietamiento en forma de piel de cocodrilo, así como aquellos causados por condiciones climáticas o características de los materiales. El PCI sugiere los mecanismos primarios causantes del deterioro. [3]

#### 1.3.2.2 *Capacidad estructural*

El análisis se enfoca a determinar la capacidad de carga existente que puede compararse con la capacidad requerida para soportar el tránsito en el horizonte de análisis. Para este proceso se recomiendan las pruebas no destructivas de deflexiones.

#### 1.3.2.3 *Regularidad superficial*

La regularidad superficial del pavimento puede convertirse en un índice de servicio (IS) o bien en el índice de regularidad internacional (IRI). La regularidad superficial es el más importante indicador de la condición de pavimento relacionada con el usuario, especialmente cuando se trata de vías de alta velocidad (arriba de 70 km/h), por lo que está directamente relacionada con los costos de operación vehicular (COV).

#### 1.3.2.4 *Fricción superficial*

La resistencia al deslizamiento es la capacidad de una superficie de asfalto para minimizar el derrape o deslizamiento de los neumáticos del vehículo, especialmente cuando la superficie de la calzada está mojada. Se mide en términos de un número o coeficiente de fricción. Este valor es de gran importancia para pavimentos en los que los vehículos operan a altas velocidades. La medición es independiente de la condición de pavimento superficial y puede utilizarse para determinar la necesidad de tratamientos superficiales para mejorar la seguridad de la vía.

### 1.3.2.5 *Determinación de necesidades*

Una vez definida la red y hecho el acopio de datos, se requiere conocer el tipo de trabajos y los recursos necesarios para ello en un período de análisis definido para un nivel de servicio dado asociado a los costos de los usuarios.

### 1.3.2.6 *Jerarquización*

Una vez identificadas las secciones de pavimento que requieren trabajos de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción y que se han identificado los fondos necesarios para proporcionar el nivel de servicio deseado, es necesario jerarquizar y determinar prioridades. En la mayoría de los casos los recursos disponibles son menores que los necesarios. Aún cuando haya recursos disponibles, generalmente estos deben repartirse entre un número de años y se deberán hacer coincidir los trabajos con los recursos disponibles. La meta de la jerarquización es proporcionar los mayores beneficios al público usuario por los fondos erogados, de esta forma muchas veces tienen mayor prioridad aquellas vías con los más altos tránsitos sobre las de menor tránsito.

### 1.3.2.7 *Determinación del impacto de las decisiones de financiamiento*

La meta general de las agencias gubernamentales es proporcionar el máximo beneficio social por el dinero proporcionado por los usuarios, ya sea por concepto de impuestos, o bien por cobro de peaje. Uno de los principales problemas a los que se ha enfrentado la infraestructura de pavimentos, es que los responsables de la misma no han tenido la visión de largo plazo y están más interesados en obtener resultados de impacto inmediato, aún cuando estos redunden en beneficios de corto plazo. Las soluciones de largo plazo pocas veces son fácilmente comprensibles para los administradores de las redes viales, por lo que es preciso que los ingenieros que nos dedicamos a la administración de pavimentos, tengamos los elementos necesarios para justificar proyectos de largo plazo, digamos 15, 20, 25 o incluso mayor número de años. En México y en muchas naciones emergentes, e incluso en países desarrollados, los funcionarios que toman las decisiones de asignar fondos para ejecutar las obras que requiere una red vial, muchas veces optan por resolver problemas inmediatos, en ocasiones "emergencias técnicas", mismas que si se hubieran considerado en un plan de largo plazo, tal vez no hubiesen ocurrido.

### 1.3.2.8 *Proceso de retroalimentación*

Siempre que se implementa un sistema, como es el caso de los de administración de pavimentos, se necesita de un proceso de retroalimentación que proporcione información y se comparen las estimaciones pasadas con los valores observados de tal forma que se puedan mejorar las estimaciones para el futuro.

## 1.4. Elementos a nivel proyecto

La administración de pavimentos a nivel proyecto es un proceso de análisis y diseño para determinar el tipo de materiales y espesores de las capas necesarios para la estructura de pavimento. Las actividades de la administración de pavimentos a nivel proyecto usualmente incluyen nuevos diseños, de rehabilitación o reconstrucción, así como el programa de mantenimiento requerido para mantener el nivel servicio deseado.

### 1.4.1 *Estudios y proyectos*

Un procedimiento de diseño racional debe considerar los principales factores que afectan el desempeño del pavimento. Todo diseño de pavimentos se basa en los factores que afectan el pavimento y que incluyen:

1. La resistencia del terreno de soporte

2. Cargas esperadas del tránsito
3. Factores ambientales
4. Drenaje
5. Materiales disponibles
6. Capacidades de las técnicas de construcción
7. Costos

#### 1.4.2 *Desarrollo de los proyectos y programas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción.*

Al igual que las actividades de una construcción de pavimento inicial, las correspondientes a rehabilitación y reconstrucción son también actividades costosas. El diseño del mantenimiento, rehabilitación y construcción puede tomar más tiempo, esfuerzo y fondos que el diseño de un nuevo pavimento debido a que las propiedades de los materiales existentes deben tomarse en cuenta como una de las diferentes alternativas para hacer frente a la problemática existente. Una vez identificado el defecto del comportamiento que se quiere corregir, así como sus causas, es necesario identificar los posibles tratamientos que pueden corregirlo, así como analizar su factibilidad. Para la definición de las estrategias de conservación, es necesario tomar en cuenta además, entre otros aspectos los siguientes: la estructuración adecuada del pavimento para el tránsito futuro en el horizonte de proyecto, la tasa de deterioro, los tipos de materiales existentes, tipo de drenaje, historiales de mantenimiento, condición del pavimento a lo largo de la longitud y entre carriles, factores ambientales que requieran consideración especial, control del tránsito, factores geométricos que impacten en el comportamiento, etc.

Una de las muchas dificultades que pueden encontrarse es la cantidad y magnitud de los datos a recabar ya que también depende de los recursos destinados a las actividades de evaluación y recopilación de información, así como de las definiciones que se hayan hecho para ello. No necesariamente entre mayor información se disponga se obtendrán mejores resultados. Por ejemplo, en materia de capacidad estructural, puede decidirse efectuar deflexiones al pavimento en cada carril de circulación en una vía de 100 km de cuatro carriles. Si las deflexiones se efectúan a cada 500 m, en total se tendrán 800 datos, pero si se decide efectuar las mediciones cada 5 m en total se obtendrán 80,000 datos, de ahí que se debe definir con antelación el tipo, cantidad y magnitud de las mediciones a efectuar, ya que en un principio el mecanismo de almacenamiento de datos puede ser muy robusto, pero en el momento de procesar la información, no necesariamente se debe hacer uso de toda la información y no necesariamente debe ser esta tan detallada, ya que se puede dificultar su manejo. Lo mismo pasa para cualquier otro tipo de información, por ejemplo, fotografías o video del derecho de vía, entre mayor sea la información disponible, se requiere de mayores y más eficientes recursos de software y hardware para su manejo. Derivado de lo anterior, desde estas etapas es preciso definir prioridades de acuerdo al tipo de vialidad sujeta al sistema de administración de pavimentos, por ejemplo las vías con mayores volúmenes de tránsito es posible que requieran mayor cantidad de información que caminos con bajo volumen de tránsito.

Existe una gran variedad de alternativas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción, para los diferentes tipos de pavimento, flexible, rígido o mixto, en donde en los últimos años se ha manejado como una de estas alternativas, actividades de reciclaje de pavimentos. Como tratamientos de mantenimiento preventivos pueden mencionarse tratamientos superficiales como riegos de sello, microcarpetas de diferentes tipos y espesores, que en ocasiones también se utilizan como estrategias de rehabilitación en vías de bajo tránsito cuando no se requieren acciones relativas a incrementar la capacidad estructural del pavimento. También se pueden mencionar las sobre carpetas o perfilados de carpeta y colocación de una nueva carpeta, o bien combinaciones de intercapas con carpeta sobre una base reciclada. Los materiales reciclados y reutilizados

pueden estabilizarse con algún agente estabilizador que puede ser algún ligante asfáltico, cemento portland y en ocasiones cal. En general para pavimentos flexibles pueden mencionarse los siguientes tipos de rehabilitación y reconstrucción: reciclaje en frío en el lugar con una nueva capa superficial, reciclaje en caliente con o sin sobre carpeta, recuperación y estabilización de capas inferiores como subbase o base, seguidas de una nueva capa superficial; remoción y reemplazo parcial o total de las diferentes capas, reciclaje a profundidad total y whitetopping (sobre carpeta de concreto hidráulico). Para pavimentos rígidos se incluyen: reposición de losas a profundidad parcial, total, picado de la superficie, sellado de juntas, sobrecarpetas asfálticas, quebrado de las losas y sobrecarpeta de concreto hidráulico o asfáltico, etc.

#### 1.4.3 *Selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada.*

El proceso para seleccionar la combinación de tratamientos, materiales y espesores para el nuevo diseño, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción es un paso muy importante en el proceso de diseño del proyecto. El enfoque que se persigue en el análisis a nivel de proyecto debe incluir un diseño de pavimento preliminar utilizando los materiales disponibles y los tratamientos considerados como factibles, bajo las circunstancias establecidas, por lo que debe buscarse la combinación adecuada que proporcione los menores costos en el ciclo de vida del proyecto por lo que también se requiere determinar los costos de cada una de las estrategias de conservación, considerando las acciones de mantenimiento y rehabilitación, así como el impacto de éstas en los costos de operación de los usuarios.

#### 1.5. Análisis del costo del ciclo de vida.

Para evaluar el costo económico total del proyecto es necesario seguir un proceso de análisis que considere los costos iniciales y los costos futuros descontados, tales como costos de mantenimiento, de los usuarios, reconstrucción, rehabilitación y repavimentación en el horizonte de proyecto. Esta técnica de análisis coadyuva a tomar las mejores decisiones en términos de inversión tomando en consideración criterios de análisis económico de la variedad de alternativas, diseños y estrategias.

En este proceso debe tomarse en cuenta los siguientes aspectos y criterios de análisis.

##### 1.5.1 *Diseño del pavimento*

Es una actividad a nivel proyecto en donde la ingeniería de detalle y las consideraciones económicas deben darse para alternar combinaciones de materiales de sub-base, base y carpeta que proporcionen la capacidad de carga necesaria. Los factores a considerar incluyen materiales, tránsito, clima, mantenimientos, drenaje y costos del ciclo de vida.

##### 1.5.2 *Costos de los usuarios*

Son los costos en que incurren los usuarios que viajan a lo largo de la vía en estudio y el exceso de costos en que incurren aquellos que no utilizan la vía en estudio debido a cualquier exigencia impuesta por la agencia operadora. Los costos del usuario son la suma de tres componentes: costos de operación vehicular (VOC), costos de accidentes y costos de demora en el tiempo de viaje del usuario.

##### 1.5.3 *Análisis beneficio/costo (B/C)*

Representa los beneficios netos descontados de una alternativa, divididos por los costos netos descontados. Si la relación B/C es mayor que 1.0, significa que los beneficios exceden a los costos.

#### 1.5.4 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR representa la tasa de descuento necesaria para que el valor presente neto sea igual a cero, es decir, los costos descontados igualan a los beneficios descontados. Este indicador es muy útil sobre todo cuando se trata de presupuestos con restricciones o cuando existe incertidumbre acerca de la tasa de descuento apropiada.

#### 1.5.5 Valor presente neto (VPN)

Es el valor monetario de los beneficios netos esperados. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor presente neto del proyecto.

#### 1.5.6 Alternativas de estrategias

El propósito principal del ciclo de vida es cuantificar lo que implicaría a corto y a largo plazo, aplicar cualquiera de las alternativas de estrategias de conservación. Una estrategia de diseño de pavimento es la combinación del diseño de pavimento inicial con el mantenimiento necesario y las actividades de rehabilitación.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HDM-4

El HDM-4 es un conjunto de herramientas para el análisis técnico y económico de alternativas de inversión relacionadas con la conservación y mejoramiento de carreteras; estas herramientas, se encuentran integradas en un programa de cómputo desarrollado por la Universidad de Birmingham, como producto principal del Estudio Internacional sobre Desarrollo y Gestión de Carreteras (ISOHDM por las siglas de International Study of Highway Development and Management).

Las herramientas incorporadas al HDM-4 permiten la realización de tareas como las siguientes: predecir el deterioro del pavimento durante su vida útil, calcular los efectos de acciones de conservación y mejoramiento del pavimento, estimar costos de operación vehicular y otros costos de los usuarios de infraestructura vial, determinar los efectos de la congestión en la velocidad de operación de vehículos en los costos de operación vehicular. Evaluar proyectos, políticas y programas de conservación en términos técnicos y económicos, obteniendo los costos y beneficios de cada alternativa considerada y calculando indicadores de rentabilidad como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) En términos generales, los costos incluidos en el análisis corresponden al gasto corriente y de inversión en los que debe incurrir la organización operadora para que se ejecuten las obras, mientras que los beneficios se derivan principalmente de ahorros en costos de operación vehicular y disminuciones de los tiempos de recorrido, inducidos ambos por el mejoramiento del estado físico de las carreteras y la reducción de la congestión. Optimizar programas de conservación y mejoramiento sujetos a restricciones presupuestales. Calcular los montos de inversión necesarios para mantener un determinado nivel de servicio en una red de carreteras o estimar el nivel de servicio que puede lograrse con un techo financiero dado. Evaluar los efectos de políticas de largo plazo como cambios en las cargas legales del tránsito, estándares de conservación de pavimentos y normas de diseño.

Entre las componentes ilustradas en la figura 1 destaca, por una parte, la referente a los modelos internos del sistema. El HDM-4 emplea tres grupos de modelos:

1. Modelos de deterioro y efectos de las obras (*RDWE* por las siglas de *Road Deterioration and Works Effects*). Estos modelos permiten predecir, para un periodo de análisis definido por el usuario, la evolución del estado físico de las carreteras, en función de las solicitaciones impuestas por el tránsito, de las condiciones

climatológicas y del tipo de pavimento; asimismo, los modelos estiman los efectos de las obras de conservación y mejoramiento más usuales.

2. Modelos de efectos para los usuarios (*RUE* por las siglas de *Road User Effects*). Son utilizados por el sistema para calcular los efectos del estado físico y las condiciones de operación de las carreteras sobre los usuarios de las mismas, en términos de indicadores como los costos de operación vehicular y los tiempos de recorrido. A su vez, estos indicadores se emplean para obtener los beneficios derivados de las inversiones en proyectos carreteros.
3. Modelos de seguridad, energía y efectos ambientales (*SEE* por las siglas de *Safety, Energy and Environmental Effects*). Grupo de modelos destinados a la determinación de los efectos de la condición de los pavimentos en aspectos como la tasa de accidentalidad, el consumo de energía asociado con la operación del tránsito y el uso de equipo de construcción, y la emisión de contaminantes.

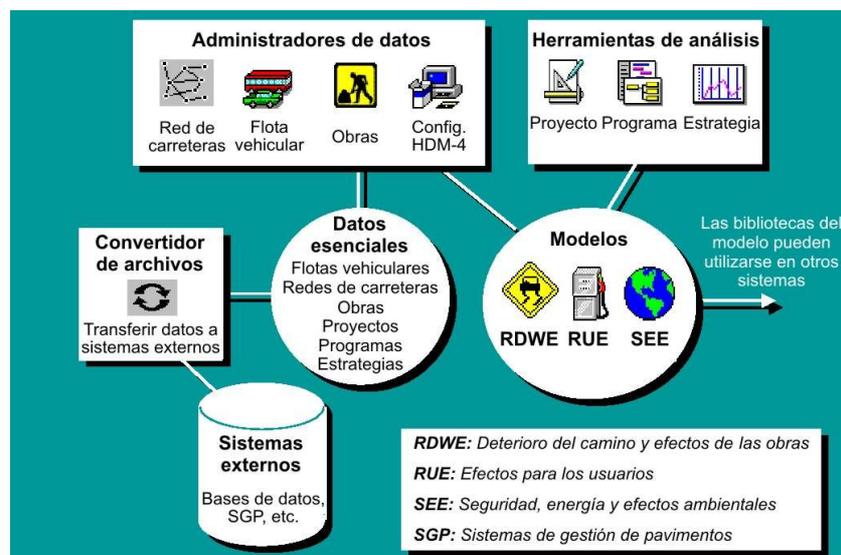


Figura 1 - Arquitectura del sistema HDM-4 [4]

Otra de las componentes más importantes del HDM-4 está constituida por las herramientas de análisis o aplicaciones del sistema, las cuales tienen como propósito la evaluación de proyectos, programas y estrategias de conservación y mejoramiento de carreteras y la optimización de programas en presencia de restricciones presupuestales, como se describe a continuación:

1. Análisis de proyectos. Se refiere a la evaluación de alternativas de proyecto para la conservación y mejoramiento de un conjunto de tramos, durante un periodo de análisis determinado. El sistema compara las alternativas empleando indicadores de rentabilidad económica, los cuales obtiene a partir de los costos y beneficios anuales de cada alternativa.
2. Análisis de programas. Consiste básicamente en la jerarquización de una lista de proyectos candidatos de acuerdo con su nivel de rentabilidad, a fin de obtener un programa de obra anual o multianual que cumpla con las restricciones presupuestales de la organización en el periodo considerado. En términos generales, el análisis de programas permite obtener una combinación de alternativas de proyecto que maximizan el rendimiento económico de las inversiones, tomando en cuenta las limitaciones de recursos existentes.
3. Análisis de estrategias. Tiene como propósito la evaluación de políticas de largo plazo para la conservación y mejoramiento de una red o subred de carreteras. Entre los problemas específicos que pueden resolverse con este tipo de análisis se encuentran el cálculo de los montos de inversión necesarios para lograr un determinado nivel de

servicio en la red, la determinación del estado futuro de la red para los niveles de inversión actuales y la evaluación de estándares de conservación, entre otros.

El HDM-4 abarca las componentes de esos sistemas relativas a las *herramientas de análisis*, es decir, modelos y procedimientos para la predicción del deterioro de pavimentos, la evaluación de políticas y proyectos de conservación y mejoramiento, la formulación y optimización de programas de obra y la evaluación del impacto de distintas estrategias de desarrollo carretero en el comportamiento de la red.

Por lo anterior, el HDM-4 puede considerarse un producto de gran utilidad para la integración de sistemas de administración de pavimentos, ya que provee varias de las componentes más importantes de los mismos.

### **3. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN**

La utilización del modelo HDM-4, aun cuando es un proceso automatizado, requiere contar con conocimientos amplios de los temas de evaluación estructural y funcional de los pavimentos, solicitaciones de carga y estrategias de conservación, entre otros aspectos, por lo que para llevar a cabo tareas de administración de pavimentos se requiere de un equipo de trabajo capacitado y dedicado exclusivamente a dichas tareas.

Con la finalidad de coadyuvar en el proceso, una vez obtenida la información necesaria de la red de análisis, se propone una metodología simplificada que por una parte nos permite identificar prioridades sobre los segmentos de la red que requieren localizarse como prioridad en su atención, y por otra parte ayudará en la determinación de las estrategias de conservación que se correrán en el modelo HDM-4, de tal forma que se optimice la asignación de los recursos destinados a la conservación de los pavimentos, identificando aquellos proyectos en donde el plan de conservación ofrezca una mayor rentabilidad.

La metodología está orientada a caminos o vialidades que cumplen con lo siguiente: vías con TDPA variable, sin embargo la metodología se orienta a separar y agrupar las estrategias de conservación en diferentes niveles de tránsito pesado, únicamente para la definición de la estrategia a seguir, sin embargo, en el análisis y modelación con el HDM-4, se toma en cuenta el TDPA con su clasificación vehicular y sus tasas de crecimiento en el horizonte de proyecto; esta metodología únicamente aplica a pavimentos flexibles.

#### **3.1. Selección de las variables de análisis**

Las definiciones básicas de las variables utilizadas son las siguientes:

##### **3.1.1 *Tránsito***

El tránsito define las cargas a las que estará sujeto el pavimento durante su ciclo de vida, y se relaciona con el estándar requerido. Con la finalidad de caracterizar a la red, el tránsito se separó en cuatro niveles de carga, de acuerdo con el volumen de vehículos pesados, esto es del tipo B y C. Estos niveles son Tránsito Bajo (por debajo de los 450 vehículos pesados diarios), Medio (de 450 a 1,500 vehículos pesados diarios), Alto (de 1,500 a 3,400 vehículos pesados diarios) y Muy Alto (más de 3,400 vehículos pesados diarios).

##### **3.1.2 *Condición estructural***

La variable estructural define la condición de soporte del pavimento en el momento de la evaluación, lo que permitirá estimar el soporte estructural necesario que deberá poseer el pavimento sobre la base de las solicitaciones durante el período de análisis. Esta variable se define por las deflexiones registradas. En caso de que no se cuente con estas mediciones, podrá hacerse uso de otras variables como son la profundidad de roderas conjuntamente con el agrietamiento en forma de piel de cocodrilo, sin embargo se

recomienda realizar los levantamientos de deflexiones en el pavimento, ya que esto dará mayor certidumbre al análisis. Los registros de deflexiones pueden también separarse en diferentes rangos, Bajo para deflexiones menores a 0.25 mm, Medio para deflexiones de 0.25 a 0.41 mm y alta para deflexiones mayores a 0.41 mm.

### 3.1.3 Condición funcional

La variable funcional define el nivel de servicio del pavimento en el momento de la evaluación y se representa por el IRI, ya que está directamente relacionada con el confort del usuario y con los costos de operación en que éstos incurren al utilizar la vía. Para representar el estado en que se encuentran los pavimentos y para el tipo de camino, se propone agrupar a los pavimentos en niveles de IRI, Bueno si es menor a 3, Regular de 3 a 5 y malo si es mayor a 5.

### 3.1.4 Condición general

La variable asociada a la condición general del pavimento está definida por la edad del pavimento, la cual está relacionada directamente con la presencia de fallas estructurales y funcionales, como agrietamientos y baches. La variable edad no se evalúa, por lo que deben existir antecedentes históricos sobre este valor. Se propone separar en tres rangos, edades menores a 7 años, de 7 a 15 años y mayores de 15 años.

## 3.2. Matriz de escenarios de pavimentos

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se propone la elaboración de una matriz de escenarios que considere las variables enunciadas, con los valores encontrados de la evaluación. De esta forma es posible formular la siguiente matriz:

CRITERIO PARA DEFINIR ESTRATEGIA DE CONSERVACION INICIAL													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400		
Deflexión		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
		< 0.25	0.25 - 0.40	> 0.40	< 0.26	0.25 - 0.41	> 0.41	< 0.27	0.25 - 0.42	> 0.42	< 0.28	0.25 - 0.43	> 0.43
IRI Existente	Edad Pavimento												
	< 7												
< 3	7 - 15												
	> 15												
	< 7												
3 - 5	7 - 15												
	> 15												
	< 7												
> 5	7 - 15												
	> 15												

Figura 2 – Matriz para definir estrategia de conservación

### 3.3. Propuesta de estrategias de conservación, rehabilitación y reconstrucción

En esta etapa se proponen las estrategias de conservación, rehabilitación o reconstrucción técnicamente factibles de aplicar para cada tipo de pavimento y para cada escenario de condición definido.

Las estrategias de conservación deben seleccionarse cuidadosamente, tomando en consideración, que tal y como se señaló en el primer capítulo, debe haber un proceso de retroalimentación que podrá modificar las mismas. Sin embargo se hace una primera propuesta, tomando como base diseños de pavimento preliminares, proponiéndose como alternativas de conservación inicial las que se indican en la figura 3.

CLAVE	ACTIVIDAD	ALCANCE
0	Conservación rutinaria	A realizar todos los años, incluye deshierbe, desazolve de obras de drenaje, cunetas, bacheo superficial <5%, señalamiento horizontal, etc.
1	Bacheo Superficial en 5 % de la superficie	Considera realizar el bacheo en 5% del total de la superficie de rodamiento indicada.
2	Riego de sello	Riego de sello premezclado empleando emulsion asfáltica y material 3-A
3	Bacheo Profundo en 10 % superficie+Riego de sello	Bacheo profundo, con riego de sello empleando emulsion asfáltica con material 3-A
4	Microcarpeta	De 3.5 cm de espesor tipo SMA
5	Sobrecarpeta de 5 cm	Carpeta asfáltica densa
6	Sobrecarpeta de 8 cm	Carpeta asfáltica densa
7	Perfilado y carpeta de 10 cm	El espesor del fresado es de 10cm y el material resultante se considera como desperdicio, carpeta asfáltica densa de 10 cm.
8	Recuperación de BEC + carpeta de 5 cm	Recuperación de los materiales existentes de carpeta y base, estabilizando con cemento portland y colocación de carpeta densa de 8 cm de espesor.
9	Recuperación de BEC + carpeta de 10 cm	Recuperación de los materiales existentes de carpeta y base, estabilizando con cemento portland y colocación de carpeta densa de 10 cm de espesor.

Figura 3 – Propuesta inicial de estrategias de conservación

Una vez hecha la propuesta de acciones de conservación inicial, se sigue un procedimiento matemático para definir en la matriz, cada una de las estrategias de conservación, para lo cual se hace una ponderación de las variables de análisis, como se indica:

Criterio	Incidencia	Niveles Valor	Calificación /Nivel	Calificación Max	Calificación Min	Procedim- Inicio	Rango	
							Menor	Mayor
IRI	45.00%	3	3.3333	4.5000	1.5000	0	3.0833	6.0000
TDPA	30.00%	4	2.5000	3.0000	0.7500	1	6.0001	6.4444
Edad Pav	15.00%	3	3.3333	1.5000	0.5000	2	6.4445	6.8889
Deflexión	10.00%	3	3.3333	1.0000	0.3333	3	6.8890	7.3333
Total	100.00%			10.0000	3.0833	4	7.3334	7.7778
				Dif Calif Max-May	4.0000	5	7.7779	8.2222
				Rango por Nivel Calif	0.4444	6	8.2223	8.6667
						7	8.6668	9.1111
						8	9.1112	9.5556
						9	9.5557	10.0000

Figura 4 – Ponderación de las variables de análisis

En este caso, en la ponderación se asignó a la variable IRI una incidencia del 45%, al tránsito 30%, a la edad 15% y a las deflexiones 10%. Posteriormente se obtienen calificaciones máximas y mínimas, así como rangos menor y mayor, que van a relacionarse con las claves de las estrategias previamente definidas, con lo que con lo que una vez hechos los procesos matemáticos se obtienen los siguientes valores:

		Calculo de Valores													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400				
Deflexión		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
IRI Existente	Edad Pavimento	< 3	< 7	3.0833	3.4167	3.7500	3.8333	4.1667	4.5000	4.5833	4.9167	5.2500	5.3333	5.6667	6.0000
		7 - 15	3.5833	3.9167	4.2500	4.3333	4.6667	5.0000	5.0833	5.4167	5.7500	5.8333	6.1667	6.5000	
		> 15	4.0833	4.4167	4.7500	4.8333	5.1667	5.5000	5.5833	5.9167	6.2500	6.3333	6.6667	7.0000	
3 - 5	< 7	4.5833	4.9167	5.2500	5.3333	5.6667	6.0000	6.0833	6.4167	6.7500	6.8333	7.1667	7.5000		
	7 - 15	5.0833	5.4167	5.7500	5.8333	6.1667	6.5000	6.5833	6.9167	7.2500	7.3333	7.6667	8.0000		
	> 15	5.5833	5.9167	6.2500	6.3333	6.6667	7.0000	7.0833	7.4167	7.7500	7.8333	8.1667	8.5000		
> 5	< 7	6.0833	6.4167	6.7500	6.8333	7.1667	7.5000	7.5833	7.9167	8.2500	8.3333	8.6667	9.0000		
	7 - 15	6.5833	6.9167	7.2500	7.3333	7.6667	8.0000	8.0833	8.4167	8.7500	8.8333	9.1667	9.5000		
	> 15	7.0833	7.4167	7.7500	7.8333	8.1667	8.5000	8.5833	8.9167	9.2500	9.3333	9.6667	10.0000		

Figura 5 – Cálculo de valores para definir estrategias

Para posteriormente obtener la matriz en la que se definen de manera inicial las estrategias de conservación, tal como se muestra en la figura 6.

Determinación del criterio de estrategia de conservación inicial													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400		
Deflexión		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
IRI Existente	Edad Pavimento												
	< 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
< 3	7 - 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	> 15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3
3 - 5	< 7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4
	7 - 15	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	5
	> 15	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6
> 5	< 7	2	2	2	2	3	4	4	5	6	6	6	7
	7 - 15	2	3	3	3	4	5	5	6	7	7	8	8
	> 15	3	4	4	5	5	6	6	7	8	8	9	9

Figura 6 – Determinación de las estrategias de conservación inicial

En la matriz anterior se observan las claves definidas para una de las estrategias de conservación según sean las condiciones y características de la red de análisis. Es importante mencionar que esta metodología es simplemente una hoja de ayuda para definir de manera inicial las estrategias de conservación y que para cada caso en particular, de acuerdo con el proceso de retroalimentación, es posible hacer ajustes y modificaciones a las mismas, así como también podrán modificarse los porcentajes de incidencia en la ponderación.

### 3.4. Estándares de desempeño

Una vez definidas las estrategias de conservación inicial, deben definirse también, las estrategias para mantener la red dentro de los estándares de desempeño que se hayan determinado, los cuales pueden ser valores máximos o mínimos permisibles.

#### 3.4.1 Clasificación del estado de pavimentos predefinida en el HDM-4

Por omisión, la sección de *Configuración* del modelo HDM-4 [5] contiene una clasificación del estado de los pavimentos en función de la irregularidad, capacidad estructural, deterioros superficiales y parámetros de fricción. A continuación se presenta el conjunto de tablas que define esta clasificación, para los tipos de pavimento considerados en el proyecto:

Tabla 1 – Configuración del modelo HDM-4

IRREGULARIDAD SUPERFICIAL: IRI (m/km)								
Clase de carretera	Concreto asfáltico				Concreto hidráulico			
	Buena	Regular	Mala	Muy mala	Buena	Regular	Mala	Muy mala
Troncal	2	4	6	8	2	4	6	8
Secundaria	3	5	7	9	3	5	7	9
Terciaria	4	6	8	10	4	6	8	10

CAPACIDAD ESTRUCTURAL							
	Concreto asfáltico			Concreto hidráulico con pasajuntas			
	750	3000	7500	Módulo de ruptura (MPa)	3000	7500	15000
	Número estructural ajustado				Espesor de la losa (mm)		
Mala	1.50	2.00	2.50	4.00	160	170	180
Regular	2.00	2.50	3.50	4.50	170	180	190
Buena	2.50	3.50	5.00	5.00	190	200	210

CALIFICACIÓN DEL PAVIMENTO CON BASE EN EL DETERIORO SUPERFICIAL								
Deterioro	Concreto asfáltico					Concreto hidráulico con pasajuntas		
	Agrietamiento (%)	Desprendimiento de agregados (%)	Baches/km	Rotura de borde (m <sup>2</sup> /km)	Profundidad de roderas (mm)	Agrietamiento transversal (%)	Juntas deterioradas (%)	Escalonamiento (mm)
Nuevo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bueno	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	5.00	0.00	1.00
Regular	5.00	10.00	0.00	10.00	5.00	20.00	10.00	2.00
Malo	15.00	20.00	5.00	100.00	15.00	30.00	20.00	4.00
Muy malo	25.00	30.00	50.00	300.00	25.00	50.00	20.00	8.00

CALIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO EN TÉRMINOS DE FRICCIÓN				
	Tratamientos superficiales		Carpetas asfálticas	
	Profundidad de la macrotextura (mm)	Coefficiente de fricción (SCRIM a 50 km/h)	Profundidad de la macrotextura (mm)	Coefficiente de fricción (SCRIM a 50 km/h)
Buena	1.50	0.60	0.70	0.50
Regular	0.70	0.45	0.50	0.40
Resbalosa	0.30	0.30	0.30	0.30

### 3.4.2 Sistema de evaluación de pavimentos del IMT

La Publicación Técnica no. 208 del IMT, *Sistema de Evaluación de Pavimentos versión 1.0* [6], hace referencia a un conjunto de valores máximos admisibles del Índice Internacional de Irregularidad (IRI), para distintos países y tipos de camino, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2 – IRI permisible en otros países

IRI MÁXIMO ADMISIBLE (m/km)			
Pais	Carretera Nacional	Autopista Libre	Autopista de cuota
Bélgica	3.5	2.5	2.0
España	3.0	2.5	2.5
Francia	2.8	2.0	2.0
Portugal	3.5	2.2	2.0
Italia	3.0	2.0	2.0

En la misma publicación, se reportan valores de referencia del coeficiente de fricción para pavimento seco y mojado, basados en la "experiencia europea", los cuales se reproducen en las siguientes tablas:

Tabla 3 – Coeficiente de fricción mínimo

COEFICIENTE DE FRICCIÓN MÍNIMO PARA PAVIMENTO SECO				
Vehículo / Pavimento	C2, C3, C4	B1,B2	T2-S2 T3-S2	T3-S2-R2 T3-S2-R4
Rígido	0.80	0.85	0.80	0.80
Flexible	0.80	0.85	0.85	0.85
Poroso	0.75	0.85	0.85	0.85
Lechadas	0.80	0.90	0.80	0.85
Sellos	0.82	0.90	0.75	0.80
COEFICIENTE DE FRICCIÓN MÍNIMO PARA PAVIMENTO MOJADO				
Vehículo / Pavimento	C2, C3, C4	B1,B2	T2-S2 T3-S2	T3-S2-R2 T3-S2-R4
Rígido	0.50	0.45	0.45	0.50
Flexible	0.50	0.50	0.45	0.45
Poroso	0.45	0.45	0.40	0.40
Lechadas	0.50	0.55	0.55	0.45
Sellos	0.50	0.45	0.45	0.40

### 3.4.3 Escala de IRI, Banco Mundial

En varias publicaciones del Banco Mundial se incluye una figura como ilustración del rango de variación del IRI para diferentes tipos de pavimento.

### 3.4.4 Guía de la AASHTO para el diseño de pavimentos\*

La Guía AASHTO para el diseño de pavimentos, presenta un conjunto de descripciones de gravedad para distintos tipos de deterioros de pavimentos.

Por lo anterior, de acuerdo con la red de análisis, se requiere definir los estándares de desempeño a los que deberá sujetarse durante el ciclo de vida. Un ejemplo de este tipo de umbral se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 – Propuesta de umbrales para una red vial

Indicador	Unidad	Criterio
Irregularidad promedio (IRI)	m/km	≤ 3.0
Profundidad de roderas	mm	≤ 12 mm
Deterioros según el manual LTPP	Nivel de gravedad	Bajo
Agrietamiento total	%	≤ 5
Agrietamiento ancho	%	0
Desprendimiento de agregados	%	0
Baches	Número	0
Rotura de borde	m <sup>2</sup> /km	0
Coefficiente de fricción (Mu Meter)	—	≥ 0.50
Profundidad de la macrotextura	mm	≥ 0.70
Capacidad estructural	—	La necesaria de acuerdo con un diseño a la fatiga.

Por lo anterior, con la finalidad de que el análisis considere estos umbrales, es necesario definir las estrategias de conservación en el horizonte de análisis, de tal forma que se cumpla con los estándares de desempeño.

#### 4. ESTUDIO DE CASO. DEFINICIÓN DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE UNA RED DE ANÁLISIS EN EL HDM-4

##### 4.1. Red vial.

En la red vial se definen todas las características de cada uno de los tramos o segmentos que integrarán la red a analizar, como son las características físicas, alineamientos, tránsito, capacidad, estructura, condición funcional y estado de deterioro de cada tramo. La red se compone de 69 caminos o vialidades de un estado de la república mexicana. Tal como se mencionó, el universo de caminos y vialidades que conforman esta red, se dividió en cuatro grupos, de acuerdo con sus niveles de tránsito pesado, como se muestra en la figura siguiente.

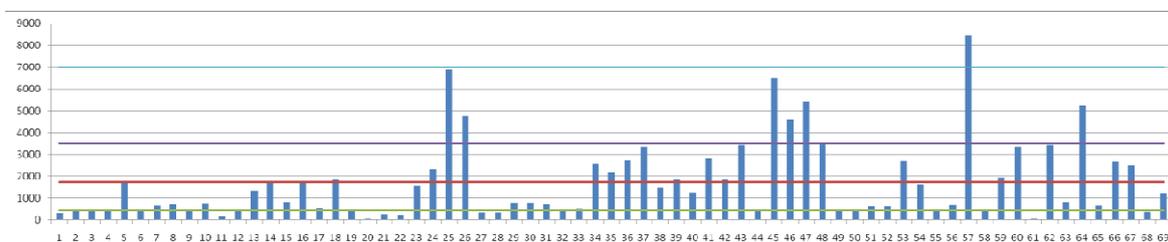


Figura 7. Distribución de los tramos carreteros de acuerdo con sus niveles de tránsito pesado.

La razón de considerar el tránsito pesado, es debido a que éste tipo de vehículos son los que mayor deterioro ocasionan al pavimento. Esta agrupación se hizo de acuerdo con una distribución estadística y se considera únicamente para la definición de estrategias de conservación, los volúmenes de tránsito pesado (tipos B y C) de acuerdo con lo siguiente: Tránsito Bajo (por debajo de los 450 vehículos pesados diarios), Medio (de 450 a 1,500 vehículos pesados diarios), Alto (de 1,500 a 3,400 vehículos pesados diarios) y Muy Alto (más de 3,400 vehículos pesados diarios). Esta combinación de IRI, Profundidad de Roderas y Tránsito (Vehículos pesados) generó distintas estrategias de conservación que se adecuaran mejor a la importancia de la vía (tránsito) y a su exigencia de mantenimiento (IRI y/o PR).

##### 4.2. Flota vehicular representativa

Son las características físicas de los distintos tipos de vehículos que circulan por la red, sirve como insumo para el cálculo de los costos de operación vehicular.

La flota vehicular que se propone, está basada en la clasificación de vehículos utilizada en el Libro de Datos Viales de la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGST); esta clasificación, incluye siete tipos de vehículos, los cuales, en términos generales, se consideran representativos de la composición vehicular existente en las autopistas del estudio. La clasificación vehicular de la DGST incluye los siguientes tipos: automóvil (A), autobús (B), camión unitario de dos ejes (C2), camión unitario de tres ejes (C3), camión articulado con semirremolque de dos ejes (T3-S2), camión articulado con semirremolque de tres ejes (T3-S3) y camión articulado con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes (T3-S2-R4). En la siguiente tabla, se presentan los modelos específicos que se proponen para caracterizar cada uno de los tipos de vehículos anteriores.

Tabla 5 – Flota vehicular representativa

Tipo de vehículo	Modelo
A	VW Bora modelo 2009, con motor de 2.5 L y transmisión manual
B	Volvo 9700 modelo 2009 D13 w/EGR 13L-435 HP Motor a Diesel
C2	Dina 551 modelo 2001, con motor Caterpillar 3126B de 175 HP
C3	Dina 661 modelo 2001, con motor Caterpillar 3126B de 250 HP
T3-S2	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 435 HP y semirremolque de dos ejes con caja de 40'
T3-S3	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 450 HP y semirremolque de tres ejes con caja de 40'
T3-S2-R4	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 500 HP, semirremolque de dos ejes y remolque de 4 ejes, ambos con cajas de 40'

#### 4.3. Estrategias de conservación

Las distintas alternativas a aplicarse para cada tramo y ser evaluadas contra una alternativa base, con objeto de encontrar aquellas que sean las más rentables en términos económicos, esta rentabilidad se obtiene al comparar los beneficios en ahorros en costos de operación vehicular contra los costos de inversión en conservación de cada tramo o de la red en su conjunto.

La información de estos grupos de datos debe existir dentro del HDM-4 para poder realizar un análisis de programa de conservación.

Para el caso en estudio, se consideraron diferentes valores de referencia dados para cada camino o vialidad. Estos valores dependiendo de cada camino, son los siguientes, 3, 3.5, 4 y 5 m/km. Es decir, 4 diferente valores de referencia en total, mismos que fueron considerados en el modelo como más adelante se detalla.

Para llevar a cabo el análisis se obtuvieron las mediciones del IRI, Profundidad media de roderas, nivel de deterioro de cada carretera o vialidad, deflexiones con deflectómetro de impacto del tipo HWD, módulos elásticos, agrietamientos en la superficie, baches, así como volúmenes y composición del tránsito. Al contar con una gran cantidad de información, se debe encontrar la forma en la cual esta represente adecuadamente a la red de carreteras y vialidades para poder ingresarla al modelo HDM-4. Una opción para poder ingresar la información al HDM-4, es tomar indicadores que sean representativos para cada vía. Con la información recopilada y particularmente con el IRI, las 69 vías se dividieron en 443 tramos o segmentos con características homogéneas de condición funcional y estructural, es decir, se separaron los tramos que tenían un nivel determinado de IRI y/o de Profundidad Media de Roderas (alto o bajo), mediante un procesamiento estadístico en el cual se tuviera un valor representativo para todo el tramo. Al tener la red dividida en tramos más pequeños, se puede asignar una conservación más adecuada, más eficiente y más oportuna, dependiendo de su condición de irregularidad existente. El indicador de referencia sirve como “detonador” para generar las intervenciones de conservación a lo largo del periodo de análisis. La combinación de IRI, Profundidad de roderas, Tránsito (Vehículos pesados) e IRI de referencia generó estrategias de conservación diferentes que se adecuaron mejor a la importancia de la vía (tránsito) y a su exigencia de mantenimiento (IRI y/o PR).

TDPA VEH PESADOS DIARIOS	ACCION INICIAL DE CONSERVACIÓN	CD	U	ACCIONES SUBSECUENTES PERIÓDICAS	CD	U
BAJO < 450	Fresado de 5 cm + carpeta de 5 cm para IRI > 3	\$ 139.27	m2	Riego de sello para IRI > IRIref	\$ 53.49	m2
MEDIO 450 - 1500	Fresado de 5 cm + carpeta de 5 cm para IRI > 3	\$ 139.27	m2	Fresado + carpeta de 4 cm para IRI > IRI ref	\$ 112.72	m2
ALTO 1500 - 3400	Fresado de 5 cm + Recuperación BEC 4% de 25 cm + carpeta de 8 cm para IRI > 4 o PR > 12	\$ 293.23	m2	Fresado + carpeta de 5 cm para IRI > IRI ref	\$ 165.82	m2
MUY ALTO > 3400	Fresado de 5 cm + Recuperación BEC 4% de 25 cm + carpeta de 10 cm para IRI > 4 o PR > 12	\$ 341.96	m2	Fresado + carpeta de 5cm para IRI > IRI ref	\$ 218.91	m2

BEC: Base estabilizada con cemento portland al 4 % de su PVSM, incorporando material de banco (grava) en un 15 %  
 IRI ref: Valor del Índice Internacional de Irregularidad Superficial máximo permitido para cada una de las carreteras o vialidades

Figura 8 – Estrategias de conservación finales para nivel de tránsito

En la figura 8 se muestran las diferentes estrategias de conservación utilizadas en el análisis, estas estrategias de conservación fueron definidas para generar una combinación muy satisfactoria, de los aspectos técnicos como económicos, para satisfacer el comportamiento de la red a lo largo del tiempo y que se adecuará al presupuesto destinado a mantenerla.

La explicación de la figura 3 es la siguiente: de acuerdo con el nivel de tránsito de la carretera o vialidad en estudio (bajo, medio, alto y muy alto) se determinó un estrategia de conservación, es decir, la acción de reconstrucción inicial y las acciones subsecuentes en el período de análisis en el horizonte de proyecto. Para esto, la consideración principal es el IRI de referencia, que antes de que se alcance éste, el modelo HDM-4 detona la acción de conservación a ejecutar. Para las acciones de reconstrucción inicial, se consideran valores de IRI como de Profundidad de Roderas para definir la actuación de una acción inicial.

## CONCLUSIONES

Es necesario promover una cultura de sistemas de administración de pavimentos para todos los niveles que administren u operen redes viales, realizando un acopio permanente de datos sobre las mismas que permita llevar el seguimiento adecuado, así como la planeación de su conservación. Para ello, es necesario valerse de las nuevas tecnologías en materia de auscultación de pavimentos, así como de herramientas informáticas que permitan el manejo de tan abundante información; es el caso del modelo de gestión HDM-4, el cual es una poderosa herramienta para la administración de pavimentos. De igual forma, los responsables de las redes viales, deben establecer los diferentes parámetros de desempeño bajo los cuales deben regularse las mismas.

## REFERENCIAS

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2001. Pavement Management Guide. Washington, D.C. AASHTO pp.1-23
2. HAAS,R.,W.R.HUDSON,et.al.1994. Modern Pavement Management. USA. Krieger Publishing Company
3. Asphalt Institute. 2007. Asphalt Handbook 7th Edition. USA. Asphalt Institute Manual Series. Pp 521-567
4. Kerali, H.R., Robinson R., and Paterson W.D.O.1998. The Role of New HDM-4 in Road Management. Fourth International Conference on Managing Pavements, Durban.
5. Odoki, J.B.; Henry G.R. Kerali. 2000. Highway Development and Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions. París, Francia. Asociación Mundial de Carreteras (PIARC)
6. Rico Rodríguez, Alfonso; Rodolfo Téllez Gutiérrez et al. 2002. "Sistema de Evaluación de Pavimentos, versión 1.0". Publicación Técnica no. 208. San Fandila, Qro. Instituto Mexicano del Transporte.