



Certificación ISO 9001:2008 ‡

Metodología para la elaboración de anteproyectos de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4

José Ricardo Solorio Murillo
Roberto Israel Hernández Domínguez
Monserrat Montoya Ortega
Santa Ludinette Cárdenas Rodríguez

**Publicación Técnica No. 375
Sanfandila, Qro, 2013**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Metodología para la elaboración de anteproyectos
de presupuesto para la conservación de autopistas
con HDM-4**

Publicación Técnica No. 375
Sanfandila, Qro, 2013

Este trabajo fue realizado en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el M.C. José Ricardo Solorio Murillo, el M.I. Roberto Israel Hernández Domínguez, Monserrat Montoya Ortega y la M.I. Santa Ludinette Cárdenas Rodríguez.

Se agradecen las observaciones del Dr. Paul Garnica Anguas, Jefe de la División de Laboratorios de Infraestructura del IMT.

Índice

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen ejecutivo		ix
Capítulo 1.	Introducción	1
Capítulo 2.	Antecedentes	3
Capítulo 3.	Elementos distintivos de las autopistas	9
Capítulo 4.	Descripción general de la metodología propuesta	15
Capítulo 5.	Preparación de información complementaria	23
Capítulo 6	Preparación de datos de la red de carreteras	49
Capítulo 7	Aplicación de HDM-4 y postproceso de los resultados	61
Capítulo 8.	Conclusiones	79
Bibliografía		81
Anexo A	Descripción de campos para categorías adicionales de la tabla <i>SECTIONS</i>	85
Anexo B	Campos de la tabla <i>SECTIONS</i> con claves numéricas	91

Resumen

Se presenta en este trabajo una metodología para la formulación de anteproyectos de presupuesto de conservación de autopistas con HDM-4. El trabajo incluye una discusión sobre las características particulares de las autopistas que pueden influir sobre la forma de aplicar HDM-4 al análisis de este tipo de infraestructura vial. Asimismo, presenta una descripción pormenorizada de la información que se requiere para efectuar el análisis: datos de la operación de las carreteras, climas, flotas vehiculares y estándares de conservación, entre otros y, evidentemente, aborda la forma de obtener los segmentos homogéneos de carretera que constituyen las unidades de análisis del sistema mediante procedimientos de segmentación. En este punto, se enfatiza la conveniencia de procesar los datos de los segmentos carreteros por fuera de HDM-4, para lo cual se revisa con cierto detalle la estructura de los archivos de intercambio utilizados por el sistema para la exportación e importación de información. En lo que concierne propiamente a la aplicación del software, se propone emplear un enfoque alternativo al análisis de programas de HDM-4, que utiliza la rentabilidad social como único criterio para la inclusión de obras en el programa de conservación. En este punto, se hace notar que la aplicación exclusiva de este criterio conlleva el riesgo de que algunos segmentos se deterioren hasta un nivel incompatible con los estándares de desempeño de las autopistas y se muestra cómo usar la información almacenada en los archivos de resultados de HDM-4 para integrar un programa que asegure que los tramos carreteros se conservan en buen estado durante todo el periodo de análisis.

Abstract

A methodology for preparing maintenance budget drafts for motorways using HDM-4 is presented in this document. It includes a discussion on how attributes specific to motorways can influence the way of applying HDM-4 to the analysis of this road class. It also contains a detailed description of the information required for performing the analysis: road operation data, climate, vehicle fleets and work standards, among others and of course the application of segmentation procedures for obtaining the road homogeneous sections that constitutes HDM-4 analysis units is dealt with. At this point, the advantages of processing the road sections data outside HDM-4 is emphasised, which leads to reviewing in some detail the structure of the data exchange files used by the system for export/import operations. Regarding the actual application of the software an alternative approach to HDM-4 programme analysis is proposed. In general, HDM-4 analyses use the social return of investment as the sole criterion for selecting a maintenance alternative, which may lead to some segments not having any periodic maintenance works assigned thus causing them to deteriorate to a level below the performance standards required for motorways. Given the above, it is shown how to use the information stored in HDM-4 output files from programme analyses to create a work programme ensuring that all road sections are in good condition through the whole analysis period.

Resumen ejecutivo

El concepto de *sistema de gestión de pavimentos* surgió en la década de 1960 como una respuesta a la necesidad de abordar el problema de la conservación de carreteras de manera sistemática, con el objetivo inicial la garantizar un determinado nivel de servicio durante un periodo prefijado al menor costo posible.

Con el rápido desarrollo de la tecnología informática, el concepto de los sistemas de gestión de pavimentos pudo ponerse en práctica a partir de la década de los años setenta del siglo pasado, ya que esa tecnología permitió el desarrollo de las herramientas de cómputo que eran necesarias para administrar los inventarios viales e implementar las herramientas de análisis involucrados en el proceso de la gestión de pavimentos.

A mediados de la década de 1990, comenzó a desarrollarse un nuevo concepto en torno a la gestión de infraestructura vial, el cual se conoce en español como *gestión de activos carreteros* o *gestión del patrimonio vial*. Este concepto se refiere al proceso sistemático de conservación, actualización y operación de activos físicos de carreteras de manera rentable, combinando principios de ingeniería con elementos formales de la práctica comercial y la teoría económica.

En México, a la fecha, el concepto de la gestión del patrimonio vial todavía no se ha utilizado de manera formal; sin embargo, en los últimos 25 años se han promovido proyectos diversos, sobre todo en el ámbito federal, que han dado lugar a sistemas de gestión de pavimentos y de puentes hasta cierto punto similares a los existentes en los países desarrollados antes de la adopción del paradigma de gestión del patrimonio vial.

Como parte de sus actividades en el ámbito de la gestión de carreteras, el IMT participó como socio tecnológico de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) y del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) en el desarrollo de un sistema de gestión de pavimentos, incluyendo la parte relativa a la obtención de anteproyectos de presupuesto de conservación. Como parte de esta última actividad el IMT integró una metodología para la obtención de los anteproyectos y desarrolló herramientas de software basadas en Microsoft Access y Excel para implementar y validar los procedimientos propuestos. Dado que los resultados anteriores pueden ser útiles a otros grupos de interés involucrados en la gestión de ese tipo de carreteras, la Coordinación de Infraestructura ha decidido divulgarlos través del presente documento.

Las características particulares de las autopistas redundan en una serie de factores que deben tomarse en cuenta al evaluar proyectos para su construcción y

conservación. De ellos, uno de los principales es el volumen de tránsito esperado, ya que se requieren volúmenes relativamente altos para que los proyectos sean rentables en términos de beneficios por ahorros en costos de operación vehicular, reducción de los tiempos de recorrido, etc. Otro factor se refiere al tipo de acciones que deben emplearse en autopistas. Dados los estándares de servicio con los que deben cumplir esta clase de caminos, es claro que obras como riegos de sello o re-nivelaciones, comunes en el caso de carreteras de especificaciones más modestas, en general no son recomendables para autopistas.

La metodología contenida en este documento comprende todos los aspectos de procesamiento de datos, análisis y presentación de resultados vinculados a la obtención de un anteproyecto de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4.

La información requerida por HDM-4 puede clasificarse en las siguientes categorías:

- Flotas vehiculares.
- Redes de carreteras.
- Estándares de trabajo.
- Configuración.

En términos generales, los datos adicionales a los de las redes de carreteras no tienen un volumen considerable y, además, varían relativamente poco de una corrida a otra. Por lo anterior, en el cuerpo del documento se identifica a estos datos como información complementaria y se recomienda, como parte de la metodología, editarla mediante la interfaz de usuario del sistema.

Dentro de la categoría de configuración, los datos de modelos de tránsito, tipos de velocidad/capacidad y tipos de accidentes se agrupan bajo el rubro *datos de operación*. Para todos los datos agrupados en esta categoría se sugiere emplear valores precargados en el sistema, lo mismo que para unidades monetarias y parámetros de calibración. Los datos y tablas agregados de tramo no son útiles para el tipo de análisis que se propone utilizar en la obtención del anteproyecto de presupuesto, de modo que no requieren ninguna modificación para los efectos del presente trabajo.

En la misma categoría de configuración, se requiere prestar especial atención a la subsección referente a *zonas climáticas*, ya que el clima es uno de los principales factores que inciden en el deterioro de los pavimentos. De hecho, es necesario crear zonas climáticas que reflejen de la manera más fidedigna posible las condiciones ambientales a las que se encuentran sujetos los tramos de interés. Desafortunadamente, en México no existe la información necesaria para dar valores a todos los parámetros empleados por HDM-4 para generar una zona climática, sin embargo, en el sitio de Internet del INEGI pueden encontrarse algunos datos para definir zonas climáticas de manera aproximada.

El tratamiento de los datos de configuración concluye con las denominadas *series de calibración*. Estas series agrupan todos los coeficientes de calibración de los modelos de deterioro utilizados por HDM-4 para superficies asfálticas, de concreto y no pavimentadas. Cada serie de calibración está compuesta por uno o varios *juegos de calibración* con una o más características en común, como la red de carreteras a la que se aplican o la institución que los obtuvo.

Siempre que se agrega un nuevo tramo a una red de carreteras es necesario especificar el juego de calibración que le corresponde, de manera que, aunque no se tenga contemplado modificar ningún coeficiente de calibración, es necesario crear juegos con base en los tipos de pavimento y material superficial de los tramos.

En lo que respecta a la *flotas vehiculares*, en ellas se reúne la información necesaria para estimar los costos en los que incurren los usuarios al circular por las carreteras, particularmente los que son producto del uso de los vehículos (costos de operación vehicular) y los asociados con el tiempo invertido en el viaje. Aunque HDM-4 considera ambos tipos de costos, para efectos de la presente metodología sólo se toman en cuenta los costos de operación vehicular.

En el documento se hace referencia a una *flota representativa de la red de autopistas*, la cual fue creada con base en los vehículos que se incluyen en los aforos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (SCT) y en los datos contenidos en la publicación técnica (PT) no. 337 del IMT. En los casos en que no se disponga de información de primera mano sobre los vehículos que circulan por las autopistas de interés, la flota anterior puede servir de base para calcular los costos de usuario con un nivel de aproximación razonable.

La aplicación de la presente metodología contempla la realización de un análisis beneficio-costos de cuatro alternativas de conservación a las que se ha denominado *mantenimiento rutinario*, *conservación técnicamente óptima*, *tratamiento de espera* y *sólo reconstrucción*. Para implementar estas alternativas, se establecen los siguientes estándares de conservación:

- *EC1 – Mantenimiento de rutina*. Incluye acciones de conservación rutinaria como sellado de grietas y bacheo.
- *EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción*. Contiene las acciones necesarias para mantener la autopista en condiciones óptimas de servicio.
- *EC3 – Microcarpeta hasta el año 5*. Define las acciones que se utilizarán como tratamiento de espera.
- *EC4 – Reconstrucción*. Especifica trabajos de reconstrucción por ejecutar cuando el pavimento ha alcanzado altos niveles de deterioro.

En relación a las redes de carreteras, en términos generales, los datos de las mismas cambian conforme se van deteriorando, y el volumen de la información involucrada puede llegar a ser muy grande en función de su longitud.

Lo anterior provoca que muchas veces resulte impráctica la captura directa de datos de las carreteras en HDM 4 y que, con frecuencia, se opte por preparar los datos fuera del software mediante programas de bases de datos y hoja de cálculo. Una vez preparada, la información se carga en HDM 4 haciendo uso de las herramientas de importación/exportación del propio sistema.

Dentro de HDM-4, una *red de carreteras* es cualquier conjunto de segmentos que puedan caracterizarse por valores únicos de los parámetros de diseño, operación, entorno y condición del pavimento. A los segmentos que cumplen con esta condición se les conoce comúnmente como *segmentos homogéneos*, y constituyen la unidad de análisis básica de HDM-4.

Dependiendo del tipo de análisis que desee efectuarse, los segmentos homogéneos pueden llegar a tener longitudes de unos cuantos kilómetros, de modo que una sola carretera segmentada podría tratarse como una red en HDM-4. De hecho, para efectos de la metodología que se presenta en este documento, cada tramo de autopista se considera como una red de carreteras.

El pre-proceso de datos de carreteras consiste básicamente en obtener los segmentos homogéneos y almacenarlos en el formato requerido por HDM-4. En realidad, este proceso está gobernado por el contenido y estructura de los archivos de importación/exportación (en general, *archivos de intercambio*) de modo que es importante conocer en detalle la estructura de estos archivos.

Existen tres métodos para la división de una carretera en segmentos homogéneos: segmentación fija, segmentación dinámica y segmentación estática. Las dos últimas requieren de un proceso adicional de agregación de información que requiere la aplicación de un algoritmo que puede llegar a ser relativamente complejo. Como parte de los trabajos realizados para CAPUFE y BANOBRAS, el IMT desarrolló un algoritmo de agregación de información que será objeto de una publicación separada actualmente en preparación.

La aplicación de HDM-4 consiste esencialmente en la ejecución de una corrida de análisis de programas. La razón por la que se decidió emplear este tipo de análisis es que la obtención del anteproyecto de presupuesto es un ejercicio en el que se pretende jerarquizar los proyectos de conservación de cada tramo de autopista en función de su rentabilidad económica, así como mostrar los efectos de la aplicación de tratamientos alternativos en el comportamiento del pavimento. Ambos objetivos son compatibles con los del análisis de programas.

Para ejemplificar el análisis se utiliza información del tramo Puerto México – La Carbonera correspondiente al año 2008 por lo que toca a los indicadores de capacidad estructural y a 2010 para el resto de la información. Estos datos se

utilizaron como insumo para segmentar el tramo con el procedimiento de segmentación dinámica y el algoritmo de agregación de información del IMT y así obtener los segmentos homogéneos requeridos para el análisis, que fueron importados desde HDM-4 como una nueva red de carreteras.

HDM-4 asigna únicamente las acciones de la alternativa base a un segmento dado cuando ninguna de las alternativas adicionales resulta rentable para ese segmento. Aunque este comportamiento es en general adecuado para carreteras convencionales, en el caso de las autopistas resulta inadmisibles, ya que puede redundar en un nivel de deterioro excesivo en relación con los estándares de desempeño que corresponden a una autopista.

Por otro lado, en los ejercicios iniciales de obtención del anteproyecto de presupuesto se observó que los programas por segmento homogéneo generados con una corrida normal de HDM-4 pueden contener una gran variabilidad en las acciones de conservación para segmentos contiguos.

De esta manera, se decidió buscar un método alterno para la elaboración del programa que permitiera resolver las limitaciones anteriores en la aplicación de HDM-4 a la formulación de programas de conservación para autopistas.

Luego de analizar varios cursos de acción, se decidió realizar el análisis beneficio/costo para el conjunto de segmentos homogéneos del tramo de autopista; es decir, obtener flujos de costos y beneficios e indicadores de rentabilidad considerando que las alternativas se aplican a la totalidad del tramo y no a cada segmento homogéneo. Lo anterior no implica la sustitución del conjunto de segmentos homogéneos por un solo segmento representativo de todo el tramo. De hecho, el enfoque propuesto no requiere modificar la manera de obtener los segmentos o de aplicar HDM-4. Se trata más bien de un tratamiento de la información posterior a la aplicación del sistema que consiste en agregar los flujos de costos y beneficios por alternativa para todos los segmentos del tramo de autopista, y en calcular los indicadores de rentabilidad con esos flujos. La información necesaria para este tratamiento se encuentra disponible en la base de datos de resultados de HDM-4.

Utilizando un procedimiento similar, se pueden obtener valores de IRI promedio ponderado indicativo de la implementación de las alternativas por tramo.

Aunque el tratamiento adicional de la información se realiza fuera de HDM-4, en realidad se utilizan los resultados del sistema en lo que se refiere a la predicción del deterioro del pavimento, la estimación de los efectos de las acciones y el cálculo de costos de operación vehicular. Para implementar el procedimiento propuesto fue necesario desarrollar herramientas adicionales de procesamiento de datos en Microsoft Access y Excel, los cuales se utilizan también para generar los siguientes informes:

- a) Programas de obra por tramo de autopista y por alternativa.
- b) Larguillos de los programas de obra por cuerpo.
- c) Resumen de costos.
- d) Inversión total en el primer año.
- e) IRI promedio ponderado por alternativa.
- f) Análisis costo/beneficio.
- g) Representación gráfica de los informes a que se refieren los incisos *c* a *f*.

El anteproyecto de presupuesto que se genera con los procedimientos descritos en este inciso corresponde al programa de obra de la alternativa técnicamente óptima para el primer año. El uso de esta alternativa como base para la integración del anteproyecto responde al supuesto de que una red de autopistas debe proveer siempre servicios carreteros de alta calidad.

1 Introducción

La gestión de carreteras involucra cuatro funciones principales (Kerali, et al., 2006):

- a) *Planeación*. Se refiere a la estimación del presupuesto necesario para llevar una red de carreteras a una determinada condición en un plazo determinado a la predicción de la condición a la que llegaría la red en el mismo plazo para un techo presupuestal dado. Se trata de un ejercicio de largo plazo idealmente a cargo de la alta dirección de una organización de carreteras, en el cual se usa información muy agregada y los tramos reales de carretera se agrupan en función sus características de diseño, condición, clima, tránsito, etc.
- b) *Programación*. Consiste en la evaluación concurrente de un conjunto de proyectos candidatos con el fin de priorizarlos de acuerdo con su rentabilidad económica y, ante la presencia de restricciones presupuestales, optimizar los recursos disponibles eligiendo los proyectos que proporcionen la máxima rentabilidad para el techo asignado. Normalmente, la programación se aplica a subredes correspondientes a una región a un tipo de carretera, y está a cargo de mandos medios de la organización. En este caso, se utiliza un horizonte temporal de mediano plazo y se maneja información de tramos reales con un nivel de detalle mayor que el que se esgrime en el análisis de programa.
- c) *Preparación*. Se refiere a la elaboración de proyectos de detalle (proyectos ejecutivos) y a la verificación de su rentabilidad. Estos proyectos usualmente pertenecen a una cartera a la que previamente se han asignado recursos en virtud de haber demostrado su viabilidad a través de análisis de programas. La preparación implica un horizonte temporal de muy corto plazo que, además de las actividades mencionadas, implica la licitación de obras y la firma de contratos.
- d) *Operación*. Comprende el conjunto de actividades cotidianas relacionadas con la gestión de obras y la operación de tramos carreteros.

Los anteproyectos de presupuesto para conservación a los que se refiere este documento corresponden a la función de programación y, en nuestro país, generalmente se elaboran a intervalos anuales, a fin para coincidir con los ejercicios fiscales de los distintos niveles de gobierno.

En este contexto, el objetivo fundamental del presente documento consiste en presentar una metodología para la elaboración de este tipo de anteproyectos para redes de autopistas usando el sistema HDM-4. Esta metodología se basa en la utilizada por el IMT para la formular anteproyectos de conservación para la red del Fondo Nacional de Infraestructura (FNI), como parte de los servicios prestados por el Instituto a BANOBRAS y a CAPUFE para el desarrollo de un sistema de gestión de pavimentos.

La metodología que se propone abarca los siguientes puntos:

- a) Preparación de información, incluyendo los diferentes grupos de datos requeridos por HDM-4: datos de operación de las carreteras, zonas climáticas, series de calibración, flotas vehiculares, estándares de conservación e información de la red de carreteras. Con excepción del último grupo, la metodología sugiere emplear la interfaz de usuario de HDM-4 para la preparación de la información. En el caso de los datos de la red de carreteras se recomienda hacer el procesamiento por fuera de HDM-4 debido al volumen y variabilidad en el tiempo de estos datos.
- b) Aplicación de HDM-4 que, en congruencia con lo antes expuesto sobre las funciones del proceso de gestión, se refiere a la ejecución de un análisis de programa de HDM-4 con los datos que se describen someramente en el inciso anterior.
- c) Puesto que el análisis de programa de HDM-4 descarta las acciones de conservación que no resultan rentables, lo cual no es compatible con la necesidad de mantener un determinado estándar de desempeño en las autopistas, se propone un enfoque alternativo en el que el programa de obra no se formula con base en la salida directa del análisis de programas de HDM-4, sino a partir de la asignación de la alternativa técnicamente óptima a todos los segmentos de autopista; esta asignación, se realiza a través de un post-proceso del archivo de resultados de HDM-4.
- d) Generación de informes, en una segunda fase de post-proceso, de los resultados de HDM-4. Entre los informes generados pueden mencionarse programas de obra por tramo de autopista, inversión en el primer año, IRI promedio por alternativa y análisis costo/beneficio.

2 Antecedentes

2.1 Sistemas de gestión de pavimentos y de activos carreteros

El concepto de *sistema de gestión de pavimentos* surgió en la década de 1960 como una respuesta a la necesidad de abordar el problema de la conservación de carreteras de manera sistemática, con el objetivo inicial la garantizar un determinado nivel de servicio durante un periodo prefijado al menor costo posible.

El contexto que dio origen a este concepto puede caracterizarse mediante los siguientes hechos:

- Terminación de la parte de la infraestructura carretera esencial para apoyar el desarrollo económico y social en los países desarrollados.
- Crecimiento sostenido de las redes viales hasta alcanzar una longitud inmanejable con los criterios tradicionales basados exclusivamente en el juicio de expertos técnicos.
- Incremento de las cargas del tránsito pesado con el consecuente impacto en la tasa de deterioro de la infraestructura.
- Insuficiencia de los recursos fiscales disponibles para la conservación de carreteras.

Con el rápido desarrollo de la tecnología informática, el concepto de los sistemas de gestión de pavimentos pudo ponerse en práctica a partir de la década de los años setenta del siglo pasado, ya que esa tecnología permitió el desarrollo de las herramientas de cómputo que sean necesarias para administrar los inventarios viales e implementar las herramientas de análisis involucrados en el proceso de la gestión de pavimentos.

Entre los avances más relevantes de los sistemas de gestión de pavimentos que se han logrado desde el surgimiento del concepto, y ya con su implementación práctica, pueden mencionarse los siguientes (Haas, et al., 2011):

- a) Reconocimiento del valor del mantenimiento preventivo y la conservación periódica en la preservación de los pavimentos.
- b) Grandes avances tecnológicos en equipos y procedimientos para la auscultación de pavimentos y la adquisición de datos.

- c) Uso extendido del análisis del ciclo de vida en el diseño y gestión de pavimentos.
- d) Integración de la gestión de pavimentos como una componente fundamental de un sistema más amplio para la gestión del conjunto del patrimonio vial a nivel de red y de proyecto, incluyendo la planeación estratégica y el reconocimiento de la valuación del patrimonio como un elemento clave. En los siguientes párrafos se presenta el concepto de *gestión del patrimonio vial*.

El desarrollo de los sistemas de gestión de pavimentos motivó el de otros sistemas relacionados con la gestión de infraestructura carretera, como los sistemas de gestión de puentes a partir de finales de la década de 1970 y sistemas para la gestión de la seguridad vial, la conservación y otros sistemas de gestión desde 1980 hasta la fecha (Haas, et al., 2011).

A mediados de la década de 1990, comenzó a desarrollarse un nuevo concepto en torno a la gestión de infraestructura vial, el cual se conoce en español como *gestión de activos carreteros* o *gestión del patrimonio vial*. Este concepto se refiere al “proceso sistemático de conservación, actualización y operación de activos físicos [de carreteras] de manera rentable” (U.S. Department of Transportation, 1999). Este proceso, “combina principios de ingeniería con elementos formales de la práctica comercial y la teoría económica, y proporciona herramientas para el uso de un enfoque más organizado y lógico en la toma de decisiones (Haas, et al., 2011).

El enfoque de gestión de activos se caracteriza por aspectos como los siguientes:

- a) Planeación de largo y mediano plazo.
- b) Uso de información objetiva sobre la condición de los activos.
- c) Orientación de las acciones a satisfacer las necesidades de los usuarios.
- d) Uso eficiente de los recursos disponibles.
- e) Gestión integral de la infraestructura, es decir, tomando en cuenta las distintas clases de activos que la componen y los distintos problemas derivados de la operación de las carreteras.
- f) Desarrollo institucional, particularmente en lo que se refiere al compromiso de los funcionarios de la autoridad de carreteras con la aplicación efectiva de los procedimientos del sistema de gestión y con la disponibilidad de los recursos necesarios para su implementación.

2.2 Uso de los sistemas de gestión de carreteras en México

En México, a la fecha, el concepto de la gestión del patrimonio vial todavía no se ha utilizado de manera formal, sin embargo, en los últimos 25 años, se han promovido proyectos diversos, sobre todo en el ámbito federal, que han dado lugar a sistemas de gestión de pavimentos y de puentes hasta cierto punto similares a los existentes en los países desarrollados antes de la adopción del paradigma de gestión del patrimonio vial. Entre los principales ejemplos de la aplicación de sistemas de gestión de carreteras en el país pueden mencionarse los siguientes:

- Aplicación del sistema de *Simulación de Estrategias de Conservación Carretera (SISTER* por sus siglas en francés) desde 1992 por parte de la Dirección General de Conservación de la SCT (DGCC), con el objeto de evaluar y optimizar alternativas para la formulación del programa anual de conservación de la red federal de carreteras libre de peaje (Osio Méndez, 2010).
- También desde 1992, uso del *Sistema de Puentes Mexicanos*, basado en el sistema danés *DANBRO*, como apoyo para la inspección y determinación de las necesidades de conservación de los puentes de la red federal libre de peaje (Escalante Sauri, 2002).
- Como ejemplo de los desarrollos fuera del ámbito federal, destaca la implementación de un sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4 en el estado de Guanajuato a mediados de la década de 2000 para apoyar la gestión de la red de carreteras del estado (Mendoza Puga, 2010).
- A partir de 2007, puesta en operación de un sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4 en la DGCC para sustituir al *SISTER* previamente citado en obtención del programa anual de conservación de la red federal libre (Osio Méndez, 2010).
- Desarrollo de un sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4 para la elaboración del anteproyecto anual de presupuesto para la conservación de la red del Fondo Nacional de Infraestructura (FNI).
- Uso de HDM-4 para la evaluación de los proyectos de referencia de los Contratos Plurianuales para la Conservación de Carreteras, un nuevo esquema de asociación público-privada implementado por la DGCC para afrontar el problema de la conservación de la red federal libre de peaje (Osio Méndez, 2010).
- Evaluación y optimización de programas de conservación de pavimentos por parte de las empresas licitantes y adjudicatarias de contratos CPCC.

- Proyectos diversos del Instituto Mexicano del Transporte relacionados con la gestión de carreteras. Entre éstos pueden mencionarse el desarrollo del Sistema Mexicano de Gestión de Pavimentos (Rico Rodríguez, et al., 1990) y el Sistema de Gestión de Puentes (Barousse Moreno & Galindo Solórzano, 1994), el cálculo de costos de operación base para la flota vehicular nacional (Arroyo Osorno, et al., 2010) y la realización de un análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro de HDM-4 para pavimentos asfálticos (Solorio Murillo, et al., 2004).

Como se aprecia, en prácticamente todos los casos anteriores, se ha utilizado el sistema de *Diseño y Gestión de Carreteras* (HDM-4) de la Asociación Mundial de Carreteras, el cual consiste esencialmente en un conjunto de herramientas metodológicas y de software para la evaluación técnico-económica de inversiones en conservación y modernización de carreteras para horizontes de largo, mediano y corto plazo (Kerali, et al., 2006).

Uno de los factores que ha influido en esta preferencia por HDM-4 es que este sistema provee un conjunto de modelos para, por una parte, predecir el deterioro de los pavimentos y, por otra, calcular los costos de operación vehicular. Ambos tipos de modelos son esenciales para la evaluación económica de inversiones en carreteras y, desafortunadamente, hasta la fecha, en México no se han desarrollado modelos equivalentes. Al mismo tiempo, los modelos o sistemas existentes en el ámbito internacional o bien tienen un costo muy superior al de HDM-4 o, a diferencia de éste, no son herramientas de propósito general.

2.3 Motivación del trabajo

Como parte de sus actividades en el ámbito de la gestión de carreteras, el IMT participó como socio tecnológico de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) y del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) en el desarrollo del sistema de gestión de pavimentos para la red del FNI al que se hace referencia en el inciso anterior.

Una parte muy importante de este desarrollo, en la cual el IMT tuvo una participación fundamental, consistió en formular un conjunto de procedimientos para la realización de las siguientes tareas:

- a) Recopilación de la información documental y de campo requerida para la aplicación de las herramientas de análisis del sistema.
- b) Colocación de los datos en el formato requerido por HDM-4.
- c) Aplicación de HDM-4 para la obtención del anteproyecto de presupuesto de la red del FNI.
- d) Generación de informes.

Los procedimientos correspondientes a las tres últimas tareas enumeradas arriba, se incorporaron finalmente al software desarrollado para la gestión del inventario vial de la red FNI y para la aplicación de las herramientas de análisis del sistema. Sin embargo, previamente, el IMT integró estos procedimientos en una metodología para la obtención de los anteproyectos y desarrolló herramientas de software basadas en Microsoft Access y Excel para implementar y validar los procedimientos propuestos.

Como se sabe, la red del FNI está compuesta esencialmente por autopistas. Dado que los resultados anteriores pueden resultar útiles a otros grupos de interés involucrados en la gestión de ese tipo de carreteras, la Coordinación de Infraestructura ha decidido divulgarlos través del presente documento. Entre los grupos que podrían interesarse las Direcciones Generales de Carreteras y de Desarrollo Carretero de la SCT, adjudicatarios de concesiones para la operación de autopistas y gobiernos de los estados. Si bien la metodología está enfocada al análisis de autopistas, los procedimientos en ella contenidos pueden dar elementos para la obtención de programas de conservación para otros tipos de infraestructura carretera, de modo que el trabajo puede ser también de interés para actores involucrados en la gestión de la red federal y redes estatales libres de peaje.

3 Elementos distintivos de las autopistas

3.1 Características generales

De acuerdo con la Asociación Mundial de Carreteras, una autopista es una “carretera especialmente proyectada, construida y señalizada para la circulación exclusiva de vehículos automotores, que reúne las siguientes características:

- a) “No presta servicio a las propiedades colindantes;
- b) “No cruza a nivel ningún otro camino, autopista, vía de ferrocarril o tranvía o paso peatonal alguno;
- c) “Consta de calzadas distintas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o de manera temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios” (AIPCR, 2012).

El diseño geométrico de las autopistas incluye una serie de previsiones con las que se busca aumentar la capacidad, la velocidad de operación, la seguridad vial y, en suma, el nivel de servicio ofrecido a los usuarios. Entre tales previsiones pueden mencionarse mayores anchos de carril, calzadas de dos o más carriles por sentido de circulación, acotamientos, y pendientes y radios de curvatura reducidos. Por lo que toca al aspecto estructural, éste se orienta no sólo a proveer la capacidad portante para resistir las cargas del tránsito de proyecto, sino también a reducir al mínimo las intervenciones de conservación periódica y reconstrucción a fin de maximizar la disponibilidad de la vía.

En México, es común denominar a las autopistas “carreteras de altas especificaciones”. Adicionalmente, y debido a que no todas las autopistas del país cumplen cabalmente con los criterios antes señalados, con frecuencia se denomina a las que sí los cumplen “autopistas de altas especificaciones”.

3.2 Red mexicana de autopistas

En nuestro país, prácticamente la totalidad de las carreteras que pueden clasificarse como autopistas son caminos de cuota. Hasta 2007, la red nacional de carreteras contaba con un total de 7,844 km de caminos de cuota (Martínez Antonio, et al., 2009), de los cuales una porción mínima (121.1 km) eran “caminos directos” (CAPUFE, 2010), es decir, carreteras de un carril por sentido con características geométricas superiores a las de carreteras de dos carriles convencionales. De esta manera la longitud aproximada de autopistas en ese año

era de 7,723 km, la cual, con referencia a la Figura 3.1, representaba el 2.2% de la longitud total de la red nacional.

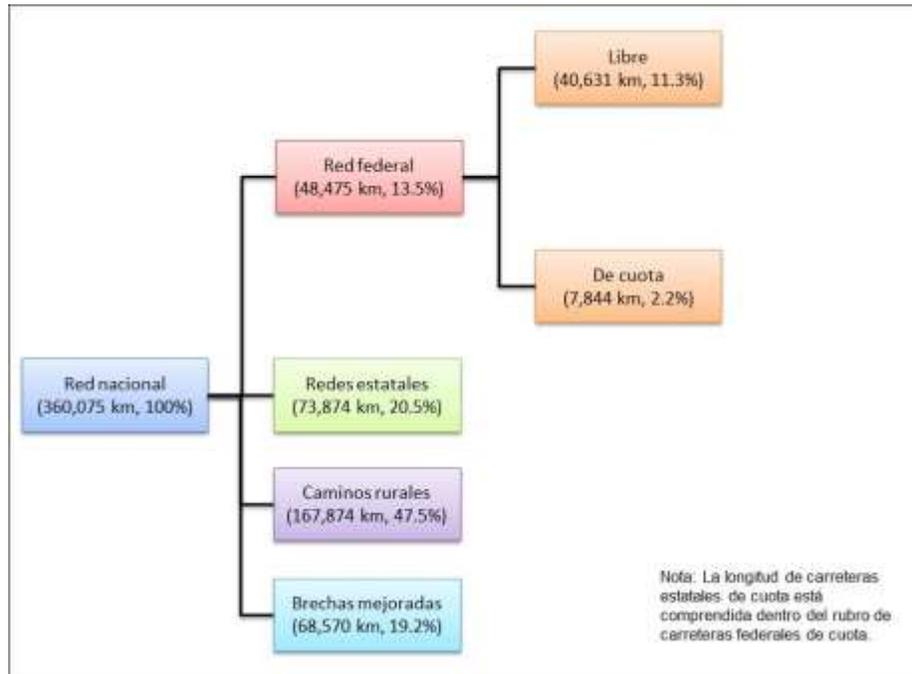


Figura 3.1. Clasificación funcional de la red nacional de carreteras. Elaborado con datos de (Martínez Antonio, et al., 2009).



Figura 3.2. Corredores troncales de la red carretera nacional (SCT, 2009).

A pesar de la baja proporción de la longitud de autopistas con respecto al total de la red nacional de carreteras, la mayoría de aquéllas forman parte de los 14 corredores troncales del país (Figura 3.2). Estos corredores, por los cuales circula la mayor parte del tránsito carretero nacional, tenían en 2009 una longitud de 19,245 km, de los cuales 7,216 km (37.5%) eran autopistas de cuota (SCT, 2009). Los corredores troncales “unen las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como los centros urbanos y turísticos más importantes del territorio” (SCT, 2009), con lo que se pone manifiesto la importancia de la red mexicana de autopistas como elemento para el desarrollo económico y social del país.

3.3 Consideraciones para la evaluación de proyectos de conservación de autopistas

Las características particulares de las autopistas redundan en una serie de factores que deben tomarse en cuenta al evaluar proyectos para su construcción y conservación. De ellos, uno de los principales es el volumen de tránsito esperado, ya que se requieren volúmenes relativamente altos para que los proyectos sean rentables en términos de beneficios por ahorros en costos de operación vehicular, reducción de los tiempos de recorrido, entre otros. A este respecto la gráfica de la Figura 3.3 muestra cómo, dada una alternativa de conservación para las autopistas del FNI, los proyectos resultan rentables en términos de beneficios como los mencionados sólo a partir de un tránsito de aproximadamente 4,000 vehículos por día al inicio del periodo de análisis.

Con referencia a los proyectos de conservación, otro factor se refiere al tipo de acciones que deben emplearse en autopistas. Dados los estándares de servicio con los que deben cumplir esta clase de caminos, es claro que obras como riegos de sello o renivelaciones, comunes en el caso de carreteras de especificaciones más modestas, en general no son recomendables para autopistas, a menos de que, como ha sucedido con frecuencia en el país, se usen como tratamientos “de espera” en condiciones de limitaciones presupuestales severas.

Por muchos años, una de las acciones de conservación periódica con mayor recurrencia en las autopistas mexicanas, y en otras carreteras de alto tránsito, fue la colocación de sobrecarpetas. La frecuencia de aplicación de este tipo de intervención llegó a tal grado que varias autopistas llegaron a acumular espesores de carpeta asfáltica del orden de 50 cm. A menudo, las sobrecarpetas se colocaban sobre estructuras de pavimento que habían alcanzado la falla, lo que resultaba en una propagación de los deterioros de la capa de rodadura previa hacia la nueva superficie, poniendo en entredicho la efectividad del tratamiento. Lo anterior, aunado a los efectos indeseables de la colocación de sobrecarpetas sobre otros elementos de la carretera como gálibos de puentes o drenaje y a la necesidad cada vez más apremiante de utilizar materiales de reúso, provocó que, gradualmente, el uso de sobrecarpetas fuera perdiendo popularidad. Hoy día, el fresado y remplazo de la carpeta asfáltica se ha consolidado como la acción de rehabilitación preferida en carreteras de alto tránsito, incluyendo autopistas.

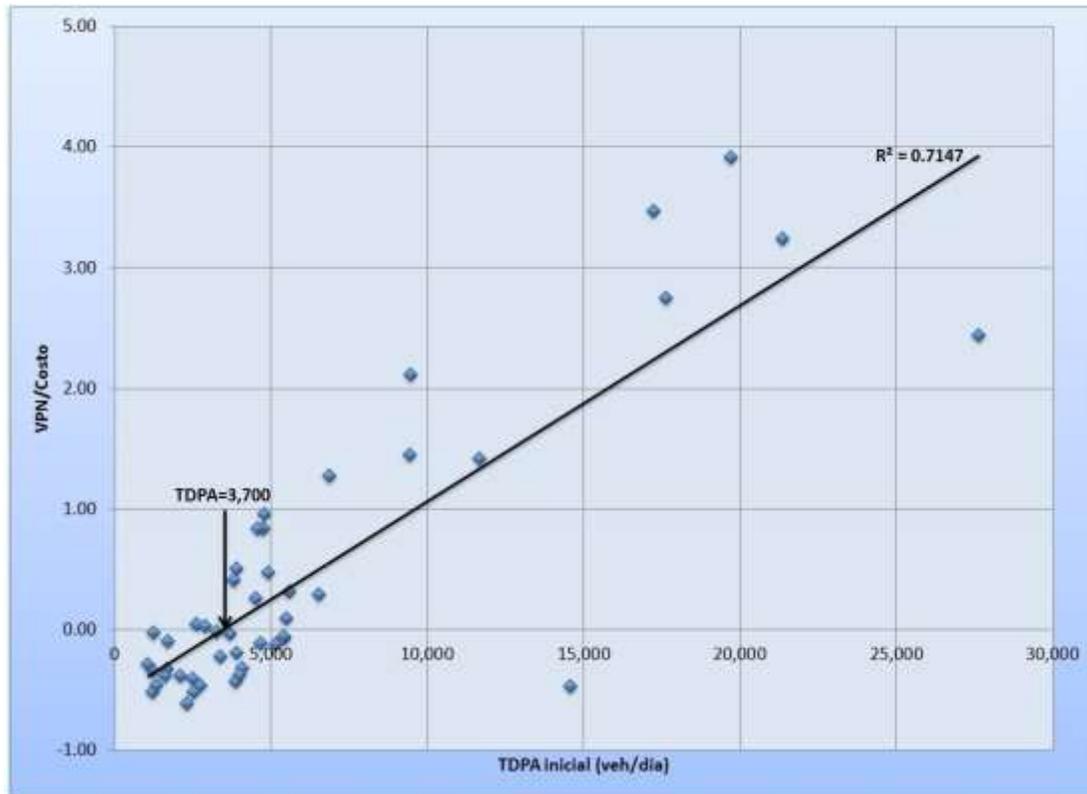


Figura 3.3. Rentabilidad de acciones de conservación según el TDPA inicial.

En lo que respecta al mantenimiento de la capa de desgaste, en autopistas se ha hecho común en los últimos años el tendido de microcarpetas como alternativa a la aplicación de riegos de sello, por el mejor desempeño de las primeras lo mismo en términos de la corrección de defectos superficiales que en aspectos relativos a la seguridad del tránsito.

De cualquier manera, al diseñar estrategias de conservación de autopistas se debe partir de un diagnóstico objetivo de la condición actual del tramo de interés para elegir acciones que efectivamente permitan mejorar esa condición. Al respecto, en la Tabla 3.1 se presenta una matriz en la que se muestran los efectos de distintas acciones de conservación sobre distintas medidas del comportamiento de pavimentos.

Vinculado a los tratamientos por aplicar se encuentra el tipo de análisis que conviene utilizar en la evaluación de proyectos o estrategias de conservación de autopistas. Como se sabe, existen básicamente dos procedimientos para la evaluación de proyectos de inversión: análisis de costos del ciclo de vida y análisis beneficio-costos. (U.S. Department of Transportation, 2003).

El análisis de costos del ciclo de vida, se refiere al cálculo de los costos de un conjunto de alternativas para la ejecución de un proyecto a lo largo del ciclo de vida, y a la selección de la alternativa con menor costo total actualizado o descontado. Dentro de los costos debe considerarse no sólo los que corresponden

a la inversión inicial, sino también los costos actualizados de las acciones de conservación necesarias en el futuro para mantener un determinado nivel de servicio. El análisis de costos del ciclo de vida resulta apropiado cuando las alternativas consideradas se diseñan de manera que produzcan un desempeño equivalente del pavimento o, visto de otra manera, los mismos beneficios con respecto a la alternativa sin proyecto.

Tabla 3.1. Efectos de las acciones de conservación

Tipo	Acción	TD	ES	IRI	CE	TS
Mantenimiento de rutina	Mantenimiento del drenaje	✓				
	Sellado de grietas	✓	✓			
	Bacheo	✓	✓			
Mantenimiento periódico	Riego de sello	✓	✓			✓
	Microcarpeta	✓	✓			✓
	Renivelación	✓	✓	✓		
	Sobrecarpeta	✓	✓	✓	✓	✓
	Fresado y remplazo	✓	✓	✓	✓	✓
Reconstrucción	Reconstrucción	✓	✓	✓	✓	✓

TD: Tasa de deterioro

ES: Estado superficial

IRI: Regularidad

CE: Capacidad estructural

TS: Textura superficial

Existen muchos casos en los que las alternativas consideradas se traducen en beneficios muy distintos. Tal es el caso, por ejemplo, de un proyecto que considere la aplicación de tratamientos de conservación periódica durante la vida útil del pavimento o la reconstrucción del mismo para reducir al mínimo la necesidad de esos tratamientos. La herramienta más apropiada para evaluar este tipo de proyectos es el análisis beneficio- costo, la cual se basa en una estimación de los beneficios y los costos que resultan para la sociedad al ejecutar un determinado proyecto, independientemente del grupo específico que asuma los costos o reciba los beneficios, o la forma que éstos tomen (U.S. Department of Transportation, 2003). El análisis beneficio-costo permite identificar la alternativa que maximiza los beneficios netos para la sociedad derivados de una asignación de recursos determinada.

En el caso de las autopistas, se admite un único nivel de desempeño que corresponde a los estándares de servicio que rigen su operación, por lo cual el análisis del ciclo de vida es el que resulta más adecuado para este tipo de caminos. Sin embargo, el enfoque beneficio-costo puede resultar útil como un elemento para jerarquizar proyectos siempre y cuando estos proyectos garanticen los niveles de servicio deseados.

4 Descripción general de la metodología propuesta

4.1 Generalidades

La metodología establecida en este documento comprende todos los aspectos de procesamiento de datos, análisis y presentación de resultados vinculados a la obtención de un anteproyecto de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4.

En este contexto, el anteproyecto de conservación se refiere al resultado del ejercicio de programación que anualmente realizan organizaciones públicas o privadas con el objeto de cuantificar los recursos necesarios para la conservación de las autopistas a su cargo en el siguiente año fiscal. Las entidades públicas suelen utilizar los resultados de este ejercicio como herramienta para negociar una asignación presupuestal que permita poner en práctica el programa contenido en el anteproyecto. En cualquier caso, del anteproyecto de presupuesto se pasa a la elaboración de las acciones de conservación periódica y reconstrucción consideradas y a la ejecución de las correspondientes obras. Idealmente, estas obras deberían incorporarse a los registros de la organización sobre el estado de las autopistas, no sólo para mantener estos registros actualizados sino también para contar con un historial de conservación que dé elementos para verificar la efectividad de los tratamientos aplicados.

Hasta la fecha todavía son pocas las organizaciones que utilizan un procedimiento formal para la elaboración del anteproyecto de presupuesto, prevaleciendo la formulación del mismo con base en la experiencia del personal técnico de la organización respecto a la evolución del deterioro de los tramos de interés y su respuesta a determinadas acciones.

La metodología que se propone trata cada tramo de autopista de manera individual, sin embargo, puede usarse de manera reiterada para obtener el anteproyecto de presupuesto de un conjunto de tramos de autopista.

El uso de HDM-4 o de cualquier otra herramienta de evaluación de inversiones en carreteras requiere evidentemente de una serie de datos sobre las características de diseño geométrico y estructural de las autopistas, su condición superficial y estructural, el tránsito que hace uso de ellas y las condiciones climáticas, los cuales se utilizarán como base para estimar el deterioro que tendrán en el futuro y, con ello, las acciones de conservación que serán necesarias para mantener el nivel de servicio especificado. Asimismo, requiere caracterizar este nivel de servicio por medio de umbrales de las variables indicativas del estado del

pavimento, a fin de identificar el momento en el que es necesario aplicar alguna acción de conservación. De este modo, las organizaciones interesadas en implementar un procedimiento formal para la obtención del anteproyecto deben considerar la asignación de recursos para el acopio de la información mencionada.

Para que el proceso de elaboración del anteproyecto de presupuesto de conservación sea eficaz, se requiere de un claro compromiso institucional que asegure la aplicación sistemática de todas las tareas que forman parte del proceso, incluyendo la obtención de datos, la aplicación de la herramienta de evaluación de los programas, la generación de informes y la toma de decisiones. Entre otros elementos, este compromiso debe materializarse mediante la asignación de los recursos necesarios para implementar cada fase del proceso y mediante el uso de los resultados del proceso en la definición del curso de acción por seguir.

4.2 HDM-4 y las funciones de gestión de carreteras

HDM-4 es una herramienta metodológica e informática para la evaluación de inversiones destinadas a la conservación, mejora y construcción de carreteras que puede ser de gran utilidad a las organizaciones encargadas de las funciones anteriores en las siguientes realización de las siguientes funciones esenciales de la gestión de infraestructura vial: i) Planeación del desarrollo carretero; ii) Formulación y optimización de programas de conservación y mejora (programación); iii) Evaluación de proyectos.

La planeación se refiere al análisis del sistema carretero en su conjunto, con el propósito de hacer estimaciones de mediano a largo plazo, o estratégicas, para el desarrollo y preservación del sistema bajo distintos escenarios de disponibilidad de recursos (Kerali, et al., 2006). El proceso de planeación puede incluir o bien la predicción del estado de la red para varios techos presupuestales, o bien el cálculo de las inversiones necesarias para llevar al sistema a un determinado estado. En la etapa de planeación, generalmente, conviene representar las redes de carreteras clasificando su longitud total de acuerdo con características como el tipo de carretera, el volumen y composición del tránsito, el tipo de pavimento y la condición del mismo.

Por otro lado, la programación consiste en la formulación de programas de obra anuales o plurianuales para una red o subred de carreteras, sujetos a restricciones presupuestales. En este caso se trata de un ejercicio de corto a mediano plazo, o táctico, que tiene como propósito concretar las líneas generales definidas en el proceso de planeación mediante acciones más inmediatas, cuando existe mayor certeza con respecto a los montos de inversión que estarán disponibles. En la fase de programación las carreteras que constituyen la red vial se dividen en segmentos homogéneos, en función de características geométricas y estructurales, de indicadores de la condición del pavimento, y de otros parámetros,

si bien en esta etapa la información no tiene aún el detalle que corresponde a un proyecto ejecutivo. A través de la programación, se generan estimaciones anuales de gasto para diferentes tipos de obra y para cada tramo incluido en el análisis, las cuales se comparan contra los techos presupuestales existentes y se ajustan de manera que los programas resultantes aseguren un uso óptimo de los recursos disponibles.

Finalmente, la fase de evaluación de proyectos es una etapa de planeación de muy corto plazo en la que se confirma la factibilidad de la alternativa seleccionada con la evaluación económica del proyecto final, la cual se realiza mediante análisis de los costos del ciclo de vida o análisis beneficio-costos, según corresponda. Para lo anterior, se parte del diseño detallado de las acciones que, para esta etapa, incluye términos de referencia, precios unitarios, cantidades de obra y aún la definición del esquema de contratación por emplear. Para la configuración del proyecto final es posible que haya sido necesario combinar las obras de segmentos adyacentes en paquetes rentables para el contratista; esta fase permite verificar que la combinación anterior no afecte la factibilidad del proyecto.

HDM-4 implementa las funciones anteriores, planeación, programación y evaluación de proyectos a través de las siguientes aplicaciones: análisis de estrategias, análisis de programas y análisis de proyectos. La vinculación de las aplicaciones de HDM-4 con cada función del proceso de gestión, así como las características principales de estas funciones, se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Funciones del proceso de gestión y aplicaciones de HDM-4.

Función	Horizonte temporal	Personal responsable	Cobertura espacial	Características de los datos	Aplicación de HDM-4
Planeación	Largo plazo	Alta dirección	Red	Agregados	Análisis de estrategias
Programación	Mediano plazo	Mandos medios	Red o subredes	(...)	Análisis de programas
Preparación	Periodo presupuestal	Mandos medios	Tramos o segmentos	Detallados	Análisis de proyectos

Fuente: Adaptada de Kerali, et. al. 2006

4.3 Aspectos de la aplicación de HDM-4

En los últimos años HDM-4 ha generado un gran interés en países en desarrollo y diversas organizaciones públicas y privadas han procurado hacerse de una copia del software para apoyar sus procesos relacionados con la gestión de pavimentos. En buena medida, este interés se debe a los siguientes factores:

- a) En la mayoría de estos países no se han desarrollado modelos para estimar el deterioro de las carreteras en el tiempo o los costos de los usuarios. HDM-4 provee ambos tipos de modelos, los cuales son fundamentales en los análisis de costos totales del ciclo de vida y beneficio-costos.

- b) HDM-4 abarca de manera integral los diferentes aspectos de la evaluación económica de inversiones en carreteras: cálculo de costos, estimación de beneficios y determinación de la rentabilidad a través de indicadores económicos. La herramienta también permite valorar el desempeño técnico de las alternativas consideradas a través del modelado del deterioro del pavimento, los efectos de las acciones propuestas y la frecuencia de aplicación de las mismas.
- c) El modelo cuenta con el apoyo de organizaciones internacionales vinculadas al desarrollo carretero, como la Asociación Mundial de Carreteras; dispone de una documentación muy completa que incluye la descripción de la metodología de aplicación y los modelos de cálculo y se comercializa a un costo relativamente bajo.

Como contraparte, el uso de HDM-4 conlleva limitaciones como las siguientes:

- a) El sistema requiere la definición de un gran número de parámetros. En general, para el usuario promedio resulta difícil comprender la forma en que cada parámetro interviene en los diferentes tipos de análisis, lo que provoca que la curva de aprendizaje del software sea pronunciada.
- b) Vinculado con lo anterior, la captura de datos en HDM-4 puede volverse una tarea complicada y engorrosa, aun cuando los diseñadores del software han hecho esfuerzos para que la interfaz de usuario sea intuitiva y amigable.
- c) Como consecuencia de los dos puntos anteriores, la captura de datos sólo es práctica cuando se utiliza la aplicación de análisis de proyectos o cuando se realizan análisis de programas, o de estrategias, relativamente sencillos. En cualquier otro caso, es necesario utilizar la herramienta de importación de datos para ingresar información al sistema, lo cual obliga a colocar los datos en el formato requerido por esta herramienta.
- d) En general, los informes de HDM-4 presentan un grado de desagregación tal que impide emplearlos para comunicar a los tomadores de decisiones los resultados de los análisis. De esta manera, con frecuencia, los analistas se ven obligados a procesar los resultados crudos de HDM-4 a fin de producir informes más acordes con sus necesidades de comunicación.

La metodología que se presenta enseguida se deriva de la necesidad de sortear las limitaciones antes descritas para aplicar HDM-4 en la formulación de anteproyectos de presupuesto para autopistas.

4.4 Componentes de la metodología

De lo presentado en el inciso anterior puede concluirse que se requieren básicamente dos componentes adicionales al software de HDM-4 para el uso de este sistema en la obtención del anteproyecto de presupuesto:

- Un procedimiento para la preparación de los datos requeridos por HDM-4 de modo que puedan ingresarse al sistema mediante la herramienta de importación de datos.
- Procedimientos para la recuperación de los resultados del sistema, a fin de generar informes descriptivos del anteproyecto.

En otras palabras, llamando *proceso* al análisis de los datos con HDM-4, se requiere una herramienta de *pre-proceso* para poner los datos en el formato requerido por el sistema y otra de *post-proceso* para leer los resultados y producir los informes. Lo anterior, se ilustra en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Componentes de la metodología

Cabe mencionar aquí que en la metodología que se propone, las componentes adicionales a HDM-4 se refieren a herramientas simples destinadas a implementar funciones de procesamiento de datos no incluidas en HDM-4. Idealmente, las organizaciones interesadas en formular anteproyectos de presupuesto con este sistema deberían procurar el desarrollo o la adaptación de un sistema de cómputo separado en el que, además de implementar estas funciones, se incorporaran otras funciones de la gestión de pavimentos como la administración del inventario vial, los análisis de programas y estrategias y el seguimiento histórico del deterioro, por mencionar algunas de las más relevantes. Un sistema con estas características debería contar con una base de datos profesional para almacenar, además del inventario, datos históricos de la condición del pavimento, los resultados de los distintos análisis realizados a lo largo del tiempo e, incluso, datos de los contratos asignados para la ejecución de las obras. Así, las organizaciones contarían con lo que puede denominarse un “sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4”, cuya arquitectura básica puede representarse como en la Figura 4.2.

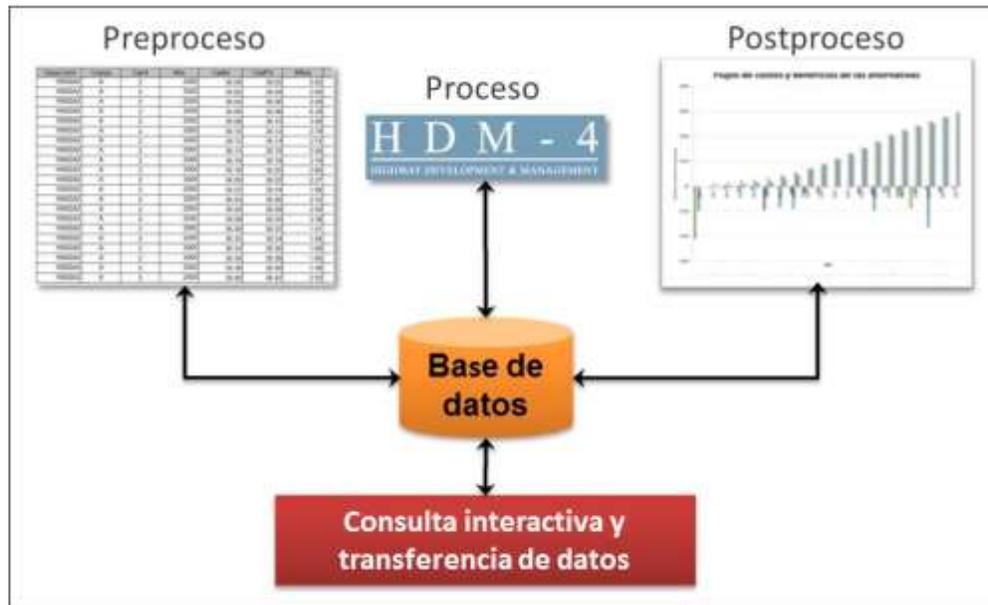


Figura 4.2. Sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4.

En el caso de redes regionales o nacionales la importancia estratégica del patrimonio vial involucrado, en general justifica que las entidades públicas a cargo de ese patrimonio consideren el desarrollo de un sistema propio, no sólo para plasmar en él cabalmente los procedimientos institucionales de la organización, sino también para reducir al mínimo la dependencia tecnológica y asegurar la apropiación del sistema por parte del personal técnico y los encargados de la toma de decisiones.

Al inicio de este capítulo se definió la obtención de un anteproyecto de presupuesto de conservación de autopistas como el ejercicio de programación que realizan las organizaciones encargadas para estimar los recursos necesarios para la conservación de las autopistas en el siguiente año fiscal. Comparando esta definición con las funciones de la gestión de carreteras y las aplicaciones de HDM-4 que se describen en incisos anteriores, se puede concluir que la aplicación de este sistema que más se ajusta a la obtención del anteproyecto es el análisis de programas.

Tomando en cuenta lo anterior, la metodología que se propone puede resumirse en los siguientes puntos:

- a) Preparar la información necesaria para efectuar el análisis con HDM-4. Esta información incluye datos comprendidos en las siguientes categorías:
 - i. Datos de configuración de HDM-4.
 - ii. Flota vehicular.
 - iii. Red de carreteras.

- iv. Estándares de conservación.
- v. Datos del análisis de programas: parámetros del análisis económico y definición de las alternativas por evaluar.

Lo dicho en párrafos anteriores respecto a la necesidad de emplear la herramienta de importación de datos para facilitar el ingreso de información, aplica principalmente para los datos de la red de carreteras. En efecto, con excepción de esta categoría, el resto de los datos varían relativamente poco y tienen en general un volumen menor. En contraste, la información de la red de carreteras cambia conforme los tramos se deterioran, y su volumen crece en la misma medida que la longitud del tramo de autopista objeto del análisis.

Cabe aquí mencionar que, para efectos de esta metodología, una “red de carreteras” de HDM-4 corresponde al conjunto de segmentos homogéneos en que se divide cada tramo de autopista y no a una red vial como tal.

- b) Realizar el análisis de programas de HDM-4, el cual consiste básicamente en un análisis beneficio-costos de las alternativas de conservación que a continuación se describen en forma genérica:
 - i. *Mantenimiento rutinario*. Es la alternativa de referencia o alternativa base que se utiliza para el cálculo de los indicadores de rentabilidad de las demás alternativas.
 - ii. *Conservación técnicamente óptima*. Comprende los trabajos necesarios para mantener las autopistas en una condición compatible con las expectativas de los usuarios.
 - iii. *Tratamiento de espera*. Acciones por ejecutar cuando no se dispone de los recursos necesarios para implementar la alternativa de conservación técnicamente óptima.
 - iv. *Solo reconstrucción*. En esta alternativa se permite que el pavimento se deteriore hasta un grado tal que el nivel de servicio solo puede restituirse mediante trabajos de reconstrucción.

En otra parte del documento se mencionó que el análisis de costos del ciclo de vida constituye el enfoque más conveniente para las autopistas, dado que permite identificar la mejor alternativa entre varias de ellas que producen el mismo resultado, que en el caso de las autopistas es un desempeño acorde con los estándares que las definen.

Luego de realizar varias corridas de prueba se pudo verificar que el análisis de programas de HDM-4 no permite obtener un contraste significativo en los indicadores económicos de alternativas diseñadas para

producir el desempeño deseado. Así, se prefirió plantear las alternativas genéricas antes descritas a fin de demostrar la conveniencia de la alternativa de conservación técnicamente óptima y evaluar las consecuencias en el comportamiento del pavimento de optar por otras alternativas.

Adicionalmente, se decidió realizar un análisis beneficio-costos para evaluar los beneficios relativos de cada alternativa pero, sobre todo, para contar con un criterio de jerarquización de los proyectos correspondientes a distintas autopistas.

- c) Recuperar los resultados del análisis de programas de HDM-4 mediante procesos informáticos basados en el lenguaje SQL de bases de datos, a fin de generar informes con datos agregados para la toma de decisiones. Entre los informes resultantes de este proceso, los cuales se describen con detalle en el capítulo 7, pueden mencionarse los siguientes:
- i. Programas de obra por alternativa.
 - ii. Resumen de costos totales en el periodo de análisis.
 - iii. Costos en el primer año.
 - iv. Estimación del comportamiento del pavimento para cada alternativa durante el periodo de análisis, en términos del Índice de Regularidad Internacional.
 - v. Resumen del análisis beneficio-costos.
 - vi. Representación gráfica de los flujos de costos y beneficios de las alternativas.

5 Preparación de información complementaria

5.1 Clasificación de los datos de entrada de HDM-4

La pantalla principal de la interfaz de usuario de HDM-4 se conoce como *espacio de trabajo*. Este espacio de trabajo (Figura 5.1) presenta una estructura jerárquica mediante la cual el sistema conduce a las secciones destinadas a la captura de información y a la realización de los diferentes tipos de análisis.

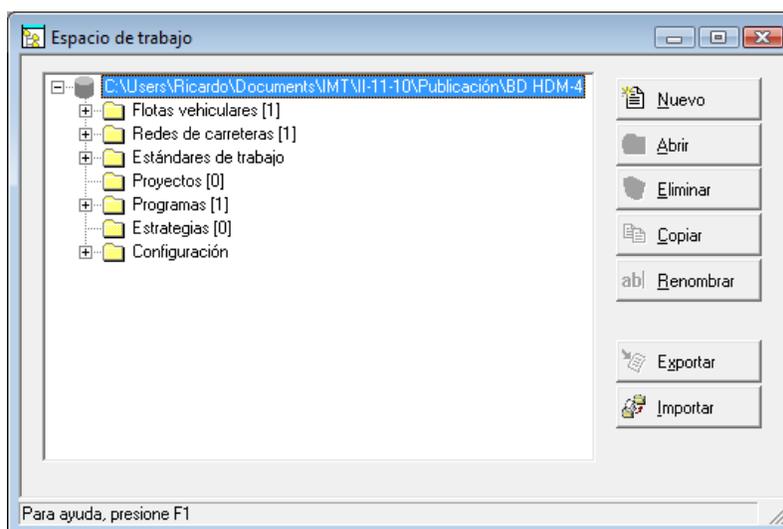


Figura 5.1. Espacio de trabajo de HDM-4.

Con referencia a la Figura 5.1, las ramas de la estructura jerárquica denominadas *proyectos*, *programas* y *estrategias* son las que dan acceso a las aplicaciones del sistema. El resto de las ramas permiten al usuario abrir los formularios para la captura de datos agrupados en cada una de las siguientes categorías de información:

- Flotas vehiculares.
- Redes de carreteras.
- Estándares de trabajo.
- Configuración.

Cabe mencionar que en las secciones que corresponden a las aplicaciones de HDM-4 también se capturan algunos datos. Específicamente, en ellas se ingresan los parámetros del análisis económico y se definen las alternativas que serán

evaluadas, a partir de estándares de trabajo previamente definidos. Puesto que los datos anteriores son propios de cada corrida, HDM-4 no los agrupa con el resto de la información, que puede utilizarse en cualquier análisis.

Como se indica en el inciso 4.4, en general los datos de HDM-4 adicionales a los de las redes de carreteras no tienen un volumen considerable y, además, varían relativamente poco de una corrida a otra. En adelante se identificará a estos datos como *información complementaria*, a fin de agruparlos y distinguirlos de las redes carreteras. En los siguientes incisos se presentan algunos aspectos del tratamiento de esta información complementaria, mientras que en el capítulo 6 se trata lo referente a la preparación de los datos de la red de carreteras.

A fin de evitar complicaciones al momento de ingresar datos de las redes de carreteras o definir los análisis que se desea realizar con HDM-4, normalmente conviene ingresar la información complementaria abordando las diferentes categorías en el siguiente orden: configuración, flota vehicular y estándares de conservación. Por lo anterior, la preparación de información complementaria se trata siguiendo este orden.

5.2 Datos de configuración

Al expandir la sección denominada *configuración* del espacio de trabajo de HDM-4 se obtiene acceso a los formularios que se utilizan para capturar, editar o eliminar la información agrupada en esta categoría. Se incluyen aquí datos relacionados con la operación de las carreteras (modelos de tránsito, tipos de velocidad/capacidad y tipos de accidentes), el clima (zonas climáticas), las unidades monetarias en las que se expresan los costos y beneficios de los análisis, datos y tablas agregados de tramo, parámetros de calibración y series de calibración.

5.2.1 Datos de la operación de las carreteras

Bajo el rubro anterior se han agrupado los datos de modelos de tránsito, tipos de velocidad/capacidad y tipos de accidentes. Los dos primeros describen aspectos de la relación entre la capacidad del camino y el flujo vehicular, en tanto que los tipos de accidentes permiten especificar el número de siniestros en términos de las consecuencias de los mismos.

La Figura 5.2 muestra el formulario de HDM-4 que se utiliza para crear un modelo de tránsito o editar sus datos asociados. Los modelos de tránsito definen la distribución horaria del tránsito anual por medio de un conjunto de periodos a los que se asigna o bien un volumen horario o bien un porcentaje del TDPA; estos modelos, en conjunto con los tipos de velocidad/capacidad, permiten al sistema determinar si se ha excedido la capacidad del camino y ajustar consecuentemente la velocidad que se utiliza como insumo para el cálculo de los costos de operación vehicular. Los estudios de casos que se incluyen en la distribución de HDM-4 contienen un conjunto de modelos de tránsito predefinidos que corresponden a

patrones de flujo comunes en la práctica como flujo libre (*Free Flow*), suburbano (*Commuter*) o estacional (*Seasonal*).

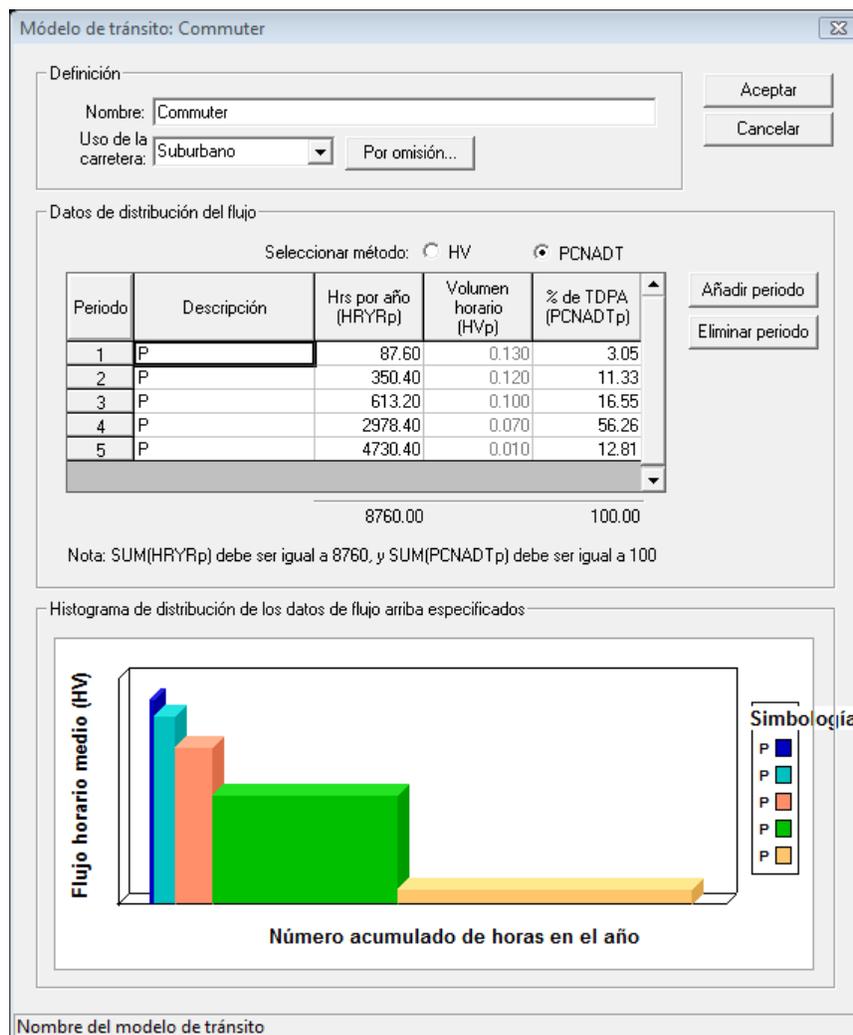


Figura 5.2. Modelos de tránsito.

En general, no es necesario modificar la información de los modelos de tránsito, a menos de que se tenga contemplado incluir en el anteproyecto de presupuesto proyectos destinados a resolver problemas de congestión y se cuente con información confiable de la distribución horaria del tránsito. Cuando no se prevé modelar la congestión, al momento de asignar a los segmentos homogéneos un modelo de tránsito normalmente se elige el modelo predefinido de flujo libre, el cual corresponde a un flujo horario constante a lo largo del año.

Los tipos de velocidad/capacidad permiten al usuario especificar información relacionada con la capacidad del camino en términos de distintos niveles de ocupación del camino (capacidad a flujo libre, nominal y última, ver Figura 5.3) y de las velocidades de operación asociadas.

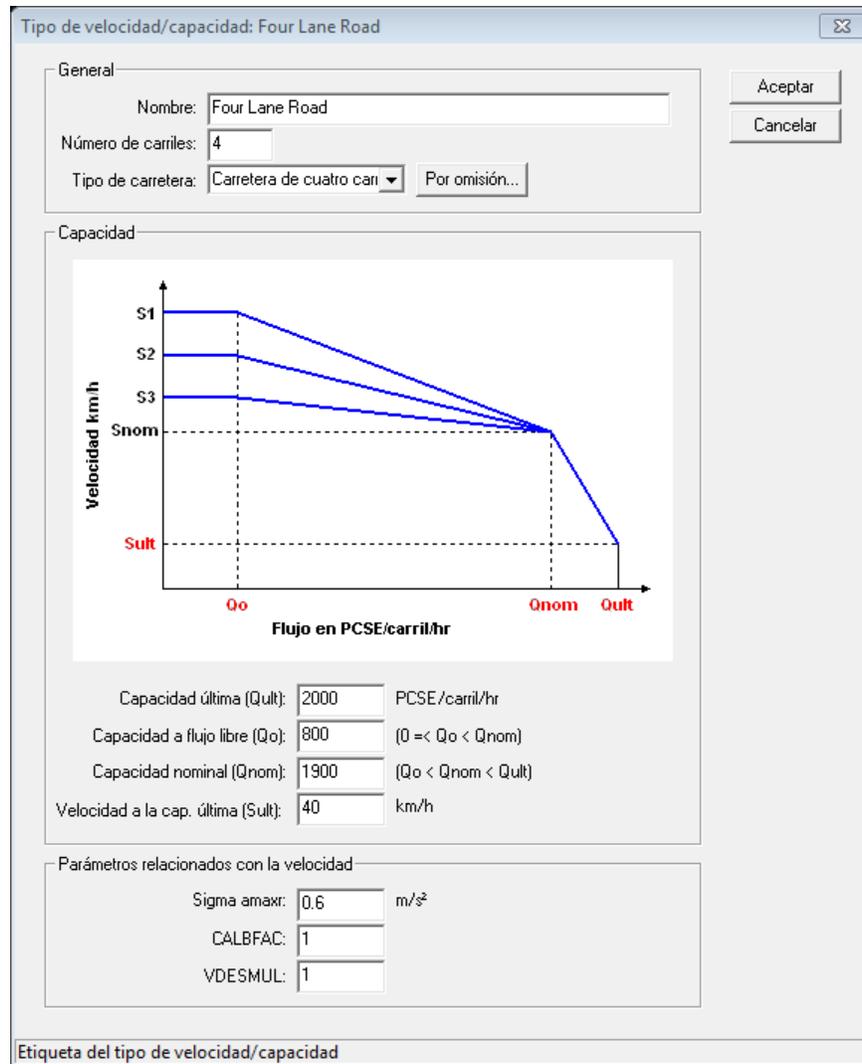


Figura 5.3. Tipos de velocidad/capacidad.

Al igual que con los modelos de tránsito, HDM-4 provee -a través de los estudios de caso- tipos de velocidad/capacidad predefinidos que, en este caso, se encuentran asociados con distintos tipos de carretera definidos en función de la capacidad como “dos carriles estándar” (*Two Lane Standard*), “dos carriles anchos” (*Two Lane Wide*) y “cuatro carriles” (*Four Lane Road*). De nuevo, si la modelación de la congestión no es un tema de interés, el analista usualmente asigna a los segmentos homogéneos de la red considerada en el análisis un tipo de velocidad/capacidad predefinido que sea compatible con las características de la sección transversal de los segmentos.

Finalmente, se debe definir también un tipo de accidentes para cada segmento homogéneo, a fin poder evaluar los efectos sobre la siniestralidad de acciones de mejora como corrección del alineamiento o ampliación de la sección transversal cuando tales efectos sean del interés del analista. Un tipo de accidentes se define

en función de la tasa de accidentes por tipo (fatales, sólo con heridos o sólo con daños) o por el total de los mismos, como se muestra en la Figura 5.4.

Figura 5.4. Tipos accidentes.

También para los accidentes los estudios de caso de HDM-4 tienen predefinidos diversos tipos, varios de los cuales llevan los mismos nombres que los tipos de velocidad/capacidad indicando alguna relación de la accidentalidad con el ancho y la capacidad de la sección transversal. Sin embargo, se insiste en que la definición precisa del tipo de accidentes sólo es relevante cuando se desea evaluar los efectos de proyectos de mejora.

5.2.2 Información del clima

Dado que los agentes climáticos figuran entre los principales factores del deterioro de pavimentos, HDM-4 dedica un espacio separado dentro de la sección de configuración para ingresar los parámetros relacionados con el clima.

El sistema agrupa los parámetros anteriores en *zonas climáticas*, las cuales corresponden a una versión modificada de la clasificación de climas de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). Con referencia a la Figura 5.5, una zona climática se define combinando una *clasificación por humedad* y una *clasificación por temperatura*. Como se aprecia en la misma figura, en general el significado de los parámetros climáticos de HDM-4 puede deducirse del nombre de cada uno de ellos; sin embargo, para aquellos parámetros en que el significado no es tan obvio como el *índice de humedad* o el *rango promedio de temperaturas*, la documentación del sistema ofrece una descripción puntual (Odoki & Kerali, 2006).

Cuando se crea una zona climática se puede elegir entre cinco clasificaciones de humedad y cinco de temperatura, las cuales tienen predefinidos valores por omisión de los distintos parámetros. La Tabla 5.1 muestra las distintas clasificaciones de humedad disponibles junto con los rangos de índice de humedad y precipitación anual de cada una de ellas según la documentación del sistema (Odoki & Kerali, 2006). Asimismo, en la Tabla 5.2 aparecen las clasificaciones de temperatura con sus rangos respectivos de temperatura.

Figura 5.5. Zonas climáticas.

Tabla 5.1. Categorías de humedad

Clasificación por humedad	Descripción	Índice de humedad	Precipitación anual (mm)
Árido	Intensidad de lluvia muy baja, alta evaporación	-100 a -61	< 300
Semiárido	Intensidad de lluvia baja	-60 a -21	300 a 800
Subhúmedo	Intensidad de lluvia moderada o marcadamente estacional	-20 a 19	800 a 1600
Húmedo	Intensidad de lluvia moderada en la estación cálida	20 a 100	1500 a 3000
Muy húmedo	Intensidad de lluvia alta o demasiados días con superficie mojada	> 100	> 2400

En México no existe información accesible al público en general que permita el cálculo de todos los parámetros climáticos requeridos por HDM-4. De hecho, la única fuente de datos sobre el clima que abarca la totalidad del territorio nacional es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). A través de su sitio de Internet, este organismo pone a disposición del público la siguiente información (INEGI, 2011):

- Cartas climáticas escalas 1:500 000 y 1:1 000 000 que contienen la división territorial por tipo de clima, isotermas, isoyetas y la ubicación y mediciones registros de las estaciones meteorológicas del país. Los tipos de clima se expresan en términos del sistema propuesto originalmente por el científico ruso-alemán Vladimir Köppen en 1884 y modificado en 1964 por la investigadora mexicana Enriqueta García para representar en forma adecuada las características climáticas de México (García, 1988).

Tabla 5.2. Categorías de temperatura

Clasificación por temperatura	Descripción	Rango de temp. (°C)
Tropical	Temperaturas cálidas en un rango estrecho	20 a 35
Subtropical - cálido	Altas temperaturas en el día y bajas en la noche, temporadas de calor y frío	-5 a 45
Subtropical - frío	Temperaturas moderadas en el día, inviernos fríos	-10 a 30
Templado - frío	Verano cálido, heladas de invierno moderadas	- 20 a 25
Templado - heladas	Verano templado, heladas de invierno severas	-40 a 20

- Datos vectoriales (capas geográficas) escala 1:1 000 000 disponibles para su descarga. Se incluye aquí:
 - Canícula.
 - Evapotranspiración.
 - Humedad del suelo.
 - Precipitación media anual.
 - Temperatura media anual.
 - Unidades climáticas (según la clasificación de Köppen-García).

Con excepción de la última capa, los datos están constituidas por líneas de igual valor para el parámetro considerado; por ejemplo, isotermas para la temperatura e isoyetas en el caso de la precipitación.

- Diccionario de datos para la información vectorial escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 (INEGI, 2000).

Una parte de la información antes descrita se puede aprovechar para calcular de manera aproximada los parámetros climáticos de HDM-4. En especial, los datos vectoriales de isotermas e isoyetas para promedios anuales de precipitación y temperatura, constituyen una vía para estimar los promedios mensuales de estas dos variables y, con base en estos valores, definir de manera muy gruesa la zona climática que corresponde a una carretera en particular. Por tratarse de datos geográficos, este proceso requiere forzosamente el uso de un software de sistemas de información geográfica.

A fin de ejemplificar lo anterior, considérese la definición de zonas climáticas para el tramo de la autopista México – Cuernavaca comprendido entre los cadenamientos 36+269 y 52+652. Tanto la autopista como isotermas e isoyetas descargadas del sitio del INEGI (INEGI, 2011) se representan en la Figura 5.6.

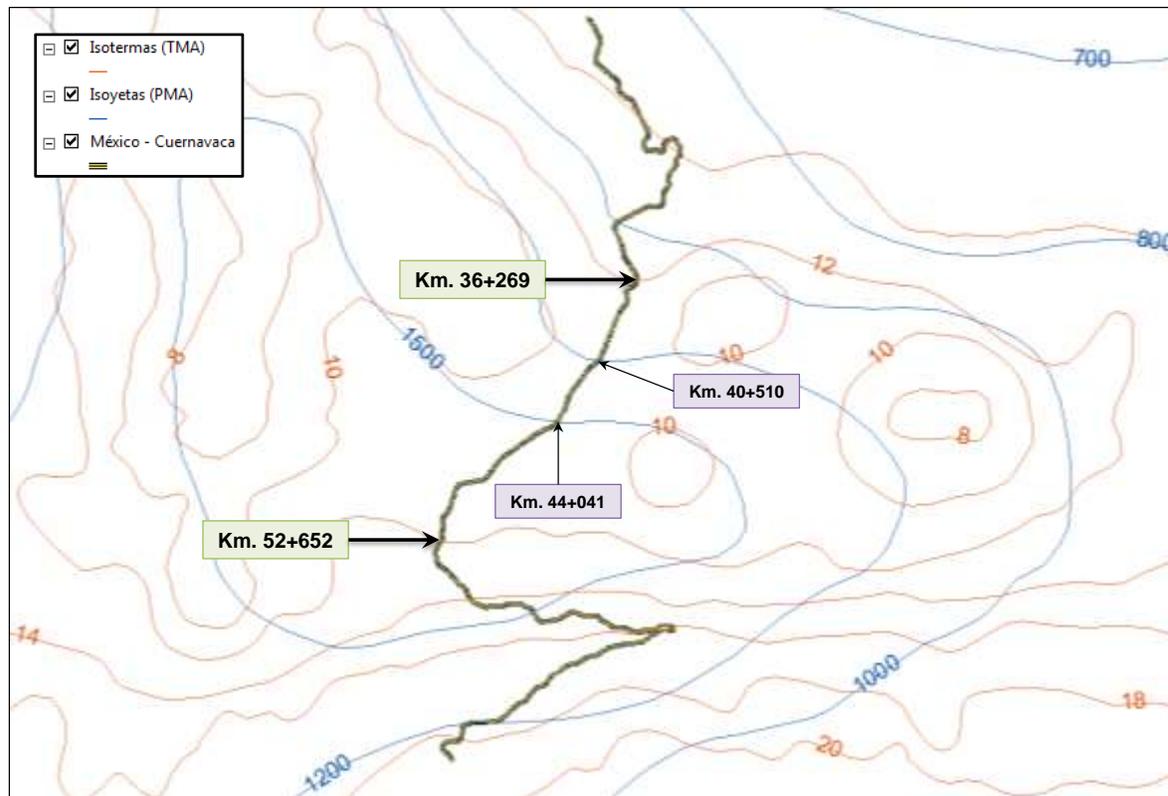


Figura 5.6. Obtención de zonas climáticas para un tramo de la autopista México – Cuernavaca.

Como se aprecia en la figura anterior, el tramo de interés se encuentra circunscrito en su totalidad en la isoterma 12°, de modo que puede tomarse ese valor como representativo de la temperatura media anual (TMA) para todo el tramo. En lo que respecta a la precipitación, se observa que las isoyetas correspondientes a precipitaciones medias anuales (PMA) de 1200 mm y 1500 mm cruzan el tramo en los cadenamientos 40+510 y 44+041, respectivamente, lo que define tres subtramos con valores distintos de precipitación.

La isoyeta 1500 es la única que cruza el subtramo 44+041 – 52+652, de manera que ese valor es el que le corresponde a dicho subtramo. Con respecto al subtramo 40+510 – 44+041, dado que las isoyetas 1200 y 1500 lo cruzan en los puntos de inicial y final, su PMA puede aproximarse como el promedio de ambos valores, es decir, 1350 mm. Finalmente, para obtener la PMA representativa del subtramo inicial (36+269 – 44+041) es necesario en primera instancia calcular la precipitación en el punto de origen, lo cual puede hacerse interpolando linealmente entre las isoyetas 1000 y 1200. Procediendo de esta manera se obtiene una PMA

de 1128 mm que, promediada con los 1200 que corresponden al cadenamamiento 44+041, arroja un valor representativo de 1164 para este subtramo.

En la Tabla 5.3 se presenta un resumen de los cálculos antes descritos y se indican las clasificaciones de humedad y temperatura de HDM-4 asignadas a cada subtramo en función de los valores obtenidos de precipitación y temperatura. Esta asignación se ha hecho eligiendo las clasificaciones con los valores de referencia más cercanos a los calculados: para humedad, subhúmedo (100 mm); para temperatura, templado frío (exactamente 12°C). Nótese que las precipitaciones se han dividido entre doce porque el sistema requiere promedios mensuales para este parámetro.

Tabla 5.3. Asignaciones de clasificación por humedad por temperatura.

Subtramo	PMM (mm)	Clasificación por humedad	TMA (°C)	Clasificación por temperatura
36+269 - 44+041	97		12	
44+041 - 52+652	113	Subhúmedo		Templado frío
44+041 - 52+652	125			

Ante la falta de información para calcular el resto de los parámetros requeridos por HDM-4, se puede optar o bien por usar los valores por omisión de las clasificaciones por humedad y temperatura asignadas, o bien por interpolar linealmente los valores de referencia de las categorías que “contengan” los valores calculados cuando este procedimiento produzca resultados razonables.

Se hace notar que la información adicional disponible en el sitio de INEGI podría eventualmente permitir el cálculo de otros parámetros. Por ejemplo, las unidades climáticas definidas en función de la clasificación de Köppen-García tienen definido un clasificador del régimen de lluvias que puede servir como base para estimar la duración de la estación seca (García, 1988). Asimismo, el diccionario de datos de información vectorial (INEGI, 2000) hace referencia a información sobre déficit de agua que, en conjunto con las capas de evapotranspiración, humedad del suelo y precipitación, podrían hacer posible el cálculo del índice de humedad de Thornthwaite.

5.2.3 Unidades monetarias

Los costos unitarios de insumos para la operación de los vehículos y acciones de conservación, así como los flujos de costos y beneficios e indicadores de rentabilidad, se expresan en una unidad monetaria conveniente que, en el caso de nuestro país, debe ser el peso mexicano. HDM-4 permite la definición de una o más unidades monetarias dentro de la sección de configuración, para lo cual provee el cuadro de diálogo ilustrado en la Figura 5.7. Con referencia a este cuadro, para definir una unidad monetaria se requiere especificar su nombre, el símbolo que la representa y la posición del mismo con respecto a la cantidad numérica.

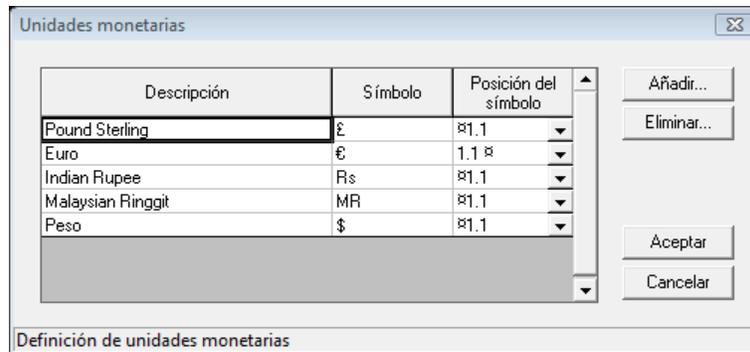


Figura 5.7. Definición de unidades monetarias.

5.2.4 Datos y tablas agregados de tramo

Las secciones de datos y tablas agregados de tramo tienen como propósito especificar descriptores de las características de tramos carreteros en función de categorías de información como tránsito, diseño geométrico, calidad de la rodadura o estado superficial. El usuario asigna a cada descriptor valores representativos de uno o más parámetros (por ejemplo del IRI), lo cual permite, más adelante, definir los datos de un segmento carretero asignándole un descriptor para cada categoría de información.

Los descriptores señalados en el párrafo anterior se definen a través de la opción *datos agregados de tramo*. Cuando se elige esta opción, HDM-4 presenta un formulario compuesto por una parte en el que se elige una categoría de información y otra en el que se ingresan descriptores para esta categoría, como se aprecia en la Figura 5.8, la cual ilustra un caso en el que se han ingresado los descriptores para la categoría *calidad de la rodadura*.

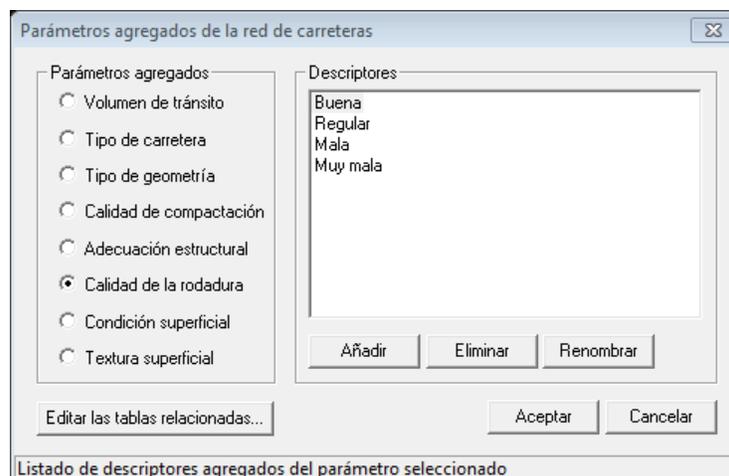


Figura 5.8. Datos agregados de tramo.

Enseguida, se asignan valores representativos de los parámetros incluidos en cada categoría de información usando el formulario de la Figura 5.9; esta figura, presenta la pestaña que corresponde a la misma categoría de calidad de la

rodadura que, como se observa, se caracteriza con el IRI, el cual se define para cada uno de los descriptores utilizados y para cada tipo de carretera (otra de las categorías consideradas).

Tablas de parámetros de agregados de la red de carreteras

Resistencia del pavimento | Capas asfálticas | Deterioros superficiales | Textura superficial
 TDPA | Geometría | Calidad de la compactación | Irregularidad

Irregularidad (IRI) en m/km

Tipo de carretera	Asfáltica				Non pav
	Buena	Regular	Mala	Muy mala	Buena
Primaria	2.00	4.00	6.00	8.00	
Secundaria o principal	3.00	5.00	7.00	9.00	
Terciaria o local	4.00	6.00	8.00	10.00	

Aceptar Cancelar Aplicar

Definición agregada de la irregularidad

Figura 5.9. Tablas agregadas de tramo.

Es preciso hacer notar que el uso de descriptores y tablas agregados de tramo es útil cuando se utilizan tramos con información muy agregada, como en el caso del análisis de estrategias o cualquier otro ejercicio destinado a obtener órdenes de magnitud para algún problema. Los descriptores y tablas agregados de tramo, en general, son menos aplicables en los análisis de proyectos y de programas porque en ellos normalmente se emplean valores reales de los diferentes atributos de las carreteras.

5.2.5 Parámetros de calibración

Esta opción tiene por objeto definir un conjunto de parámetros de calibración de los modelos de deterioro y efectos de los trabajos de pavimentos asfálticos y carreteras no pavimentadas que no se incluyen en los juegos y series de calibración. Se trata en general de parámetros muy especializados para los cuales normalmente no se tiene información (ver Figura 5.10) a menos que se realicen estudios *ex profeso*. Por lo anterior, es común utilizar los valores por omisión precargados en HDM-4.

Nótese que estos parámetros aplican para todas las redes de carreteras existentes en el espacio de trabajo.

5.2.6 Series de calibración

Las *series de calibración* agrupan todos los coeficientes de calibración de los modelos de deterioro utilizados por HDM-4 para superficies asfálticas, de concreto y no pavimentadas. Cada serie de calibración está compuesta por uno o varios

juegos de calibración con una o más características en común como la red de carreteras a la que se aplican o la institución que los obtuvo.

Parámetros de calibración del espacio de trabajo

Asfáltico | No pavimentada

Deterioro del pavimento

Umbral de inicio de baches por agrietamiento estructural ancho: 20 %

Umbral de inicio de baches por desprendimientos: 30 %

Máximo espesor de capa asfáltica para efectos de flujo plástico: 100 mm

Efectos de los trabajos

Área de agrietamiento estructural ancho que inicia las reparaciones: 20 %

% de grietas estruct. anchas que excede TRIGACW por reparar: 10 %

Área de agrietamiento térmico que inicia las reparaciones: 10 %

% agrietamiento térmico que excede TRIGACT por reparar: 20 %

Trabajos preparatorios	Sellos	Sobrecarpetas
Agrietamiento estructural	Rep. agriet. anch.	Nada
Agrietamiento térmico	Seal	Nada
Rotura de borde	Reparar	Reparar
Rotura de bordes	Reparar	Reparar

Reestablecer valores por omisión

Aceptar Cancelar Aplicar

% para el cual aparecen los baches generados por agrietamiento estructural ancho (ARWpi)

Figura 5.10. Parámetros de calibración.

En la Figura 5.11 se muestra la serie de calibración denominada *red de autopistas*, en la que se han definido tres juegos de calibración para pavimentos asfálticos denominados *AMGB*, *AMSB* y *AMSB – mod.* Como puede observarse en la figura, la definición de los juegos de calibración para pavimentos asfálticos requiere especificar el tipo de pavimento y material superficial, de acuerdo con las clasificaciones empleadas por HDM-4 (Odoki & Kerali, 2006). En el ejemplo ilustrado, el primer juego corresponde a un pavimento asfáltico sobre base granular y los dos siguientes a pavimentos asfálticos sobre base estabilizada. Por otro lado, los juegos *AMGB* y *AMSB* se refieren a carpetas de concreto asfáltico convencional y el juego *AMSB – mod.* a una carpeta de asfalto modificado con polímeros. El resto de las columnas del formulario contienen valores por defecto de los coeficientes de calibración de los modelos de deterioro para pavimentos asfálticos que pueden ser modificados por el usuario.

Siempre que se agrega un nuevo tramo a una red de carreteras es necesario especificar el juego de calibración que le corresponde, de manera que, aunque no se tenga contemplado modificar ningún coeficiente de calibración, es necesario crear juegos con base en los tipos de pavimento y material superficial de los tramos.

Juego de calibración RD	Tipo de pavimento	Material superficial	CDS
AMGB	Mezcla asfáltica sobre base granular	Concreto asfáltico	1.00
AMSB	Mezcla asfáltica sobre base estabilizada	Concreto asfáltico	1.00
AMSB - mod.	Mezcla asfáltica sobre base granular	Asfalto modificado con polímeros	1.00

Figura 5.11. Juegos de calibración de pavimentos asfálticos.

El formulario de la Figura 5.11 contiene pestañas que dan acceso a los juegos de calibración de los pavimentos con superficies de concreto hidráulico y no pavimentadas. En el caso de las superficies de concreto, los juegos de calibración se definen en función del tipo de pavimento y de subrasante, mientras que en el caso de las superficies no pavimentadas se utilizan también el tipo de pavimento y el material superficial.

5.3 Flota vehicular

En la flota vehicular se reúne la información necesaria para estimar los costos en los que incurren los usuarios al circular por las carreteras, particularmente los que son producto del uso de los vehículos (costos de operación vehicular) y los asociados con el tiempo invertido en el viaje. Aunque HDM-4 considera ambos tipos de costos, para efectos de la presente metodología sólo se toman en cuenta los costos de operación vehicular.

Para ingresar o modificar esta información es necesario crear una nueva flota vehicular o editar una existente a partir de la sección *flotas vehiculares* del espacio de trabajo. La Figura 5.12 muestra el formulario provisto de HDM-4 para la edición de una flota vehicular. En esta figura, aparece la flota denominada *flota representativa de la red de autopistas*, la cual fue creada con base en los vehículos que se incluyen en los aforos de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (SCT) y en los datos contenidos en la publicación técnica (PT) no. 337 del IMT (Arroyo Osorno, et al., 2010).

Como se aprecia en la figura todos los vehículos pertenecen a la categoría de *tránsito motorizado* y se han definido a partir de *tipos* y *tipos base* predefinidos en

HDM-4 (Odoki & Kerali, 2006). La edición de los datos de los vehículos se realiza a través de los botones localizados en la parte inferior del formulario. El botón *descripción y u. monetaria* permite especificar la unidad monetaria en la que se expresarán los costos unitarios de los insumos de los vehículos, la cual deber haber sido dada de alta previamente en la sección de configuración. Por otro lado, el botón *editar crec. del tránsito* se utiliza para asociar a la flota vehicular series de crecimiento para distintos periodos de tiempo, como se ilustra en la Figura 5.13. Estas series de crecimiento se utilizan después para indicar al sistema la forma en que el tránsito crecerá durante el periodo de análisis de un proyecto, programa o estrategia.

Nombre	Tipo	Última modificación	Tipo de base	Categoría
A	Automóviles	25/08/2012	Automóvil mediano	Motorizado
B3	Autobuses	25/08/2012	Autobús Interurbano	Motorizado
C2	Camiones	25/08/2012	Camión mediano	Motorizado
C3	Camiones	25/08/2012	Camión pesado	Motorizado
T3-S2	Camiones	25/08/2012	Camión articulado	Motorizado
T3-S2-R4	Camiones	25/08/2012	Camión articulado	Motorizado
T3-S3	Camiones	25/08/2012	Camión articulado	Motorizado

Figura 5.12. Flota representativa de la red de autopistas.

HDM-4 da acceso a los formularios destinados propiamente a la edición de los datos de cada vehículo a través del botón *editar*. La Figura 5.14 muestra el primero de estos formularios para el vehículo T3-S2; aquí, se especifica solamente el nombre y descripción del vehículo, así como el método que se empleará para el cálculo de la depreciación del mismo. A este respecto, normalmente se utiliza el método de *vida constante* para vehículos particulares y el de *vida óptima* para vehículos comerciales.

Para acceder a los otros formularios se utilizan las pestañas colocadas en la parte superior del cuadro de diálogo.

En la Figura 5.15 se presentan el formulario para el ingreso de las características básicas (vehículo T3-S2), las cuales se refieren a datos relacionados con los ejes y ruedas del vehículo, la utilización del mismo y las cargas que impone al pavimento. La Tabla 5.4 contiene un resumen de los datos anteriores para todos los vehículos de la flota preparado con base en la información de la PT 337.

Serie de crecimiento del tránsito: Crecimiento al 4%

Nombre: Crecimiento constante al 4%

Descripción: Crecimiento de la flota representativa estimado con datos históricos

Periodos de crecimiento del tránsito motorizado

Vehículo	% de inc. anual a partir del año 1
A	4.00
B3	4.00
C2	4.00
C3	4.00
T3-S2	4.00
T3-S3	4.00
T3-S2-R4	4.00

Añadir periodo...
 Editar periodo...
 Eliminar periodo

Nota: Los años son relativos al año de inicio del análisis en el cual se usa la serie de crecimiento del tránsito.

Aceptar Cancelar

Descripción opcional de la serie de crecimiento del tránsito (máx 200 caracteres)

Figura 5.13. Series de crecimiento del tránsito.

Atributos del vehículo: T3-S2

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Nombre: T3-S2

Tipo base: Camión articulado

Clase: Camiones

Categoría: Motorised

Descripción: International 9200i modelo 2010 con motor Cummins ISC de 450 HP; semiremolque de dos ejes con caja de 40 pies.

Método de vida útil: Vida constante Vida óptima

Calibración...
 Valores por omisión:

Aceptar
 Cancelar

Ver atributos de los vehículos

Figura 5.14. Definición del vehículo T3-S2.

Un tercer formulario de datos de los vehículos está destinado al ingreso de los costos unitarios de los insumos, es decir, combustible, lubricantes, neumáticos, etc. (Figura 5.16.) De manera análoga, en la Tabla 5.5 se presenta un resumen de costos unitarios. En esta tabla se han omitido todos los costos relacionados con el valor del tiempo, ya que la metodología propuesta no considera este factor dentro de los costos de usuario.

Atributos del vehículo: T3-S2

Definición | **Características básicas** | Costos económicos unitarios

Físicas

Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 1.8

Número de ruedas: 18

Número de ejes: 5

Neumáticos

Tipo de neumático: Radial

No. de renovaciones: 3.57

Costo de renovación: 32.73 %

Utilización

km anuales: 180000 km

Hrs. laborables: 2860 hrs

Vida promedio: 8 años

Uso privado: 0 %

Pasajeros: 0 personas

Viajes de trabajo: 100 %

Carga

ESALF: 4.5

Peso en operación: 43.44 ton

Calibración...
Valores por omisión:
Aceptar
Cancelar

Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Figura 5.15. Características básicas del T3-S2.

Atributos del vehículo: T3-S2

Definición | Características básicas | **Costos económicos unitarios**

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 1.05947e+6

Reemplazo neumático: 2350.67

Combustible: 8.48 por litro

Lubricante: 24.06 por litro

Mano de obra mantenimiento: 36.8 por hora

Salarios de los operadores: 52.2 por hora

Gastos generales anuales: 183600

Interés anual: 1.32 %

Valor del tiempo

Pasajero tiempo de trabajo: 0 por hora

Pasajero tiempo de ocio: 0 por hora

Retraso de carga: 0 por hora

Todos los costos deben expresarse en la unidad monetaria de la flota - Peso

Calibración...
Valores por omisión:
Aceptar
Cancelar

Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo

Figura 5.16. Costos unitarios de insumos del T3-S2.

Cabe hacer notar, por un lado, que los costos se encuentran actualizados a la fecha de publicación de la PT 337 y, por otro, que la información disponible en ésta corresponde a los requerimientos de datos del modelo de costos de operación vehicular del Banco Mundial, y no a los de HDM-4, razón por la cual no todos los datos necesarios para definir la flota representativa de la red de autopistas se han tomado de esa publicación. Sin embargo, el documento contiene algunas de las especificaciones técnicas de los vehículos contenidas en el formulario de calibración de datos de los vehículos (Figura 5.17), de manera que en estos casos se han sustituido los datos precargados en HDM-4 con la información de PT 337. En la Tabla 5.6 se precisan las especificaciones técnicas antes referidas y los valores tomados de la publicación.

Tabla 5.4. Características básicas de la flota vehicular.

Concepto	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
Espacios equivalentes	1.0	1.7	1.4	1.6	1.8	1.8	1.8
Número de ruedas	4	10	6	10	18	22	22
Número de ejes	2	3	2	3	5	6	9
Tipo de neumático	Radial	Radial	Diagonal	Diagonal	Radial	Radial	Radial
Número de renovaciones	0	2.39	3.39	3.39	3.57	3.57	3.57
Costo de renov. (%)	0	32.73	51.14	51.14	32.73	32.73	32.73
Kilómetros anuales	20,000	240,000	150,000	150,000	180,000	180,000	180,000
Horas laborables	1716	2,860	2,860	2,860	2,860	2,860	2,860
Vida prom. (años)	6	8	8	8	8	8	8
Uso privado (%)	100	0	0	0	0	0	0
Pasajeros	2	40	0	0	0	0	0
Viajes de trabajo (%)	0	100	100	100	100	100	100
ESALF	0	1.42	2.51	3.18	4.50	6.58	9.9
Peso en oper. (ton)	1.53	21.25	15.88	26.08	43.44	54.54	77.44

5.4 Estándares de conservación

HDM-4 gestiona las formas particulares en las que puede intervenir un tramo a través de entidades denominadas *estándares de trabajo*, las cuales son esencialmente conjuntos de obras específicas u acciones que se caracterizan por su diseño, criterios de intervención, costos unitarios, efectos sobre la condición del pavimento y cambios producidos en el valor del activo carretero intervenido.

El sistema permite la definición de tres tipos de estándares de trabajo: de conservación, de mejora y de construcción de tramos nuevos. Para los efectos de la presente metodología sólo se consideran estándares de conservación. Al momento de preparar un análisis, los estándares de trabajo se utilizan para formular las alternativas de intervención por evaluar; para ello, el usuario asigna a cada alternativa uno o más estándares, como se verá más adelante. La Figura 5.18 resume las relaciones entre acciones, estándares, alternativas y análisis.

Tabla 5.5. Costos unitarios de insumos de la flota vehicular.

Concepto	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
Vehículo nuevo	202,051	1'980,082	488,082	561,326	1'059,470	1'101,920	1'293,080
Reemplazo neumático	821.48	2,514.71	2,350.67	2,350.67	2,350.67	2,350.67	2,350.67
Combustible	8.12 / l	8.48 / l					
Lubricante	24.49 / l	24.06 / l					
Mano de obra mant.	21.15 / h	55.40 / h	36.80 / h				
Salarios operadores	22.45 / h	65.10 / h	45.76 / h	45.76 / h	52.20 / h	52.20 / h	52.20 / h
Gastos generales	5,800	220,800	78,000	106,500	183,600	205,200	253,800
Interés anual	1.32 %	1.32 %	1.32 %	1.32 %	1.32 %	1.32 %	1.32 %

Figura 5.17. Datos de calibración del T3-S2.

Como se mencionó en el inciso 4.4, la aplicación de la presente metodología incluye la realización de un análisis beneficio-costos de cuatro alternativas de conservación a las que se ha denominado *mantenimiento rutinario*, *conservación técnicamente óptima*, *tratamiento de espera* y sólo reconstrucción. Para implementar estas alternativas, se crearon los estándares de conservación que a continuación se describen brevemente:

- *EC1 – Mantenimiento de rutina.* Incluye acciones de conservación rutinaria como sellado de grietas y bacheo.

- *EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción.* Contiene las acciones necesarias para mantener la autopista en condiciones de servicio óptimas.
- *EC3 – Microcarpeta hasta el año 5.* Define las acciones que se utilizarán como tratamiento de espera.
- *EC4 – Reconstrucción.* Especifica trabajos de reconstrucción por ejecutar cuando el pavimento ha alcanzado altos niveles de deterioro.

Tabla 5.6. Datos de calibración modificados con información de la PT 337 del IMT (Arroyo Osorno, et al., 2010).

Concepto	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
FUERZAS							
Área frontal (m ²)	2.58	6.98	6.05	6.05	9.14	9.14	9.14
Coef. de arrastre CD	0.46	0.65	0.85	0.85	0.63	0.63	0.63
Potencia máx. (mhp)	63.87	288.65	163.49	190.1	342.18	342.18	342.18
Potencia al freno (mhp)	51.91	333.56	218.27	327.17	553.88	706.89	996.13
VELOCIDAD							
Vel. deseada (km/h)	110	95	90	90	100	100	100
COMBUSTIBLE							
RPM_a0	3700	1700	2100	2100	1700	1700	1700
EDT	0.80	0.80	0.80	0.80	0.65	0.65	0.65

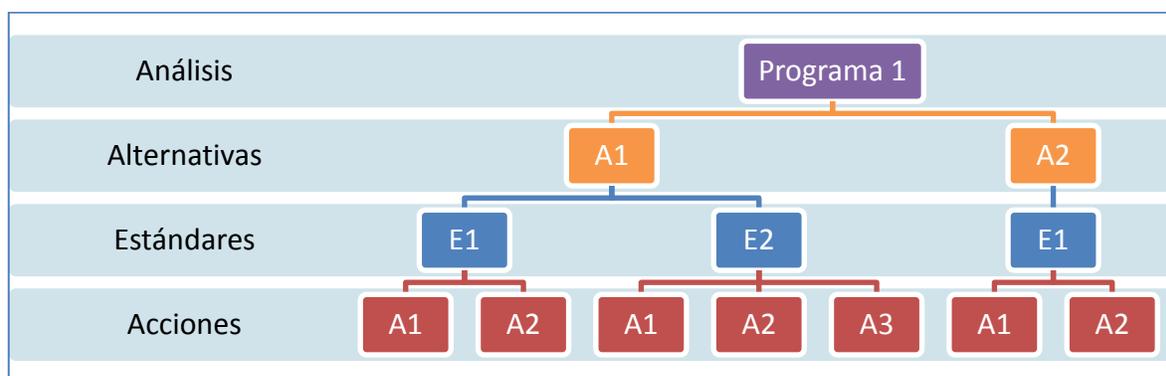


Figura 5.18. Jerarquía de análisis, alternativas, estándares y acciones.

Para crear o editar estándares de conservación en HDM-4 es necesario ingresar a la subsección del mismo nombre dentro del espacio de trabajo. En la Figura 5.19 se presenta el cuadro de diálogo para la edición de un estándar de conservación, con los datos que corresponden al estándar *EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción*.



Figura 5.19. Datos del estándar de conservación EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción.

Como se observa en la figura, la definición de un estándar incluye un nombre, un código y el listado de acciones que lo constituyen. Para el estándar ejemplificado, el listado contiene acciones de conservación rutinaria (limpieza y reparación de drenaje, bacheo, calafateo y sellado de grietas y control de vegetación), una acción de conservación periódica (reposición de carpeta) y una de mantenimiento mayor (reconstrucción). Se hace notar que los estándares de conservación como el que se ilustra, que suponen una intervención más completa que el mero mantenimiento de rutina, deben comprender también este tipo de mantenimiento, ya que es evidente la conservación rutinaria tiene que formar parte de cualquier política razonable de gestión de carreteras.

En relación a la definición de las acciones de conservación, en la Figura 5.20 se muestra como ejemplo el cuadro de diálogo que corresponde a la acción denominada *MP01 – Reposición de carpeta*. HDM-4 agrupa la información de acciones de conservación en las siguientes categorías: información general, diseño, criterios de intervención, efectos y valuación de activos. En correspondencia con lo anterior, el cuadro de diálogo se divide en un conjunto de fichas, una por cada una de las categorías antes mencionadas.

La ficha de información general (Figura 5.20) indica el nombre y código asignados a la acción de conservación, así como la clase de capa superficial y de elemento para los que es aplicable. También, muestra el tipo de trabajos que se utilizó como base para la definición de la acción (en este caso *mill and replace* o fresado y remplazo), la cual se elige de un catálogo predefinido en HDM-4 (Odoki & Kerali, 2006). Los tres últimos elementos no son editables y se especifican al momento de definir la acción.

Figura 5.20. Datos generales de las acciones de conservación.

En las Figuras 5.21 a 5.25 se reproducen las fichas que corresponden al resto de las categorías de información para la acción *MP01 – Reposición de carpeta*. Con respecto al diseño de los trabajos, se especifican los siguientes datos:

- Material de la nueva capa superficial.
- Espesor en mm.
- Coeficiente de capa de AASHTO.
- Profundidad de fresado en mm.
- Indicador de calidad de la construcción de la capa asfáltica, el cual se refiere al contenido de asfalto de la mezcla y varía entre 0.5 (mezcla frágil) y 1.5 (mezcla suave), y vale 1 cuando el contenido es óptimo.

Otras acciones de conservación pueden requerir datos adicionales de diseño. Por ejemplo, en el caso de la reconstrucción de pavimentos asfálticos es necesario indicar el nuevo tipo de pavimento, el número estructural de las capas superiores (carpeta, base y su-base), la compactación relativa y el indicador de defectos de construcción de la capa de base.

En contraste, para acciones más sencillas como las que corresponden a la conservación rutinaria, el sistema no incluye la ficha de diseño.

Los criterios de intervención se refieren a condiciones que deben cumplirse para que una determinada acción se ejecute. En términos generales, pueden definirse tres tipos de criterios:

- Umbrales mínimos o máximos de un determinado indicador de la operación o la condición de la carretera, como el volumen de tránsito o el IRI.

- Intervalos de tiempo.
- Años específicos del periodo de análisis.

Acción de conservación: MP01 - Reparación de carpeta

General | Diseño | Intervención | Costos | Efectos | Valuación de activos

Material superficial: Concreto asfáltico

Espesor de la nueva capa superficial: 100 mm

Coficiente de la estación seca: 0.4

Profundidad de fresado: 100 mm

Área de la calzada para fresado y remplazo parcial: 50 %

Indicador de calidad de la construcción

Superficie asfáltica: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

Aceptar Cancelar Aplicar

Material de la nueva capa superficial

Figura 5.21. Datos de diseño de las acciones.

Acción de conservación: MP01 - Reparación de carpeta

General | Diseño | Intervención | Costos | Efectos | Valuación de activos

Expresión para iniciar la intervención

Roughness >= 2.8 IRI	Y
Interval >= 5 Año(s)	
OR	
Rut depth mean >= 6 mm	Y
Interval >= 5 Año(s)	
OR	
Total carriageway cracked >= 25 %	Y
Interval >= 5 Año(s)	

Añadir criterio...
Editar criterio...
Copiar criterio...
Pegar criterio...
Eliminar criterio

Añadir expresión OR
Copiar expresión OR
Pegar expresión OR
Eliminar expresión OR

Aceptar Cancelar Aplicar

Añadir un criterio de intervención

Figura 5.22. Criterios de intervención.

La Figura 5.22 reproduce los criterios de intervención definidos para la acción *MP01 – Reposición de carpeta*, que básicamente indican que la acción debe ejecutarse cuando el IRI alcance 2.8 m/km, la profundidad de roderas 6 mm o el área total agrietada 25%. Al mismo tiempo, debe cumplirse que la acción no se repita a intervalos menores a 5 años.

Acción de conservación: MP01 - Reposición de carpeta

General | Diseño | Intervención | **Costos** | Efectos | Valuación de activos

	Económicos	Financieros	
Costos unitarios:	212.03	243.84	por m ²

Costos unitarios de los trabajos previos:

Recargas aisladas:	0	0	por m ²
Reparaciones:	0	0	por m ²
Rep. de borde:	0	0	por m ²
Sellado de grietas:	0	0	por m ²

Drenaje

Factor de costo de mant. del drenaje: 1 0 < DMCF <= 1

Aceptar Cancelar Aplicar

Costo económico unitario de los trabajos

Figura 5.23. Costos unitarios de las acciones.

Acción de conservación: MP01 - Reposición de carpeta

General | Diseño | Intervención | Costos | **Efectos** | Valuación de activos

Condición después de los trabajos

Irregularidad y roderas

Deducidos [Editar calibración detallada...](#)

Definidos por el usuario Irregularidad: 2 IRI (m/km)
Profundidad media de roderas: 0 mm

Características superficiales definidas por el usuario

Textura superficial: 0.7 mm
Resistencia al deslizamiento: 0.55 SCRIM (a 50km/h)

Aceptar Cancelar Aplicar

Calcular irregularidad y roderas después de los trabajos

Figura 5.24. Efectos de los trabajos.

Componente de activos	Proporción del costo de los trabajos %	Valor residual %	Vida útil de los trabajos	
			Años	ESAL
Terreno y subrasante				
Capas del pavimento	100.00	0.00	0.00	0.00
Andadores, senderos y ciclistas (carriles TNM)				

Proporción de los activos existentes dados de baja: %

Calcular irregularidad y roderas después de los trabajos

Figura 5.25. Valuación de activos.

Por lo que toca a los costos unitarios de las acciones, debe especificarse un costo *económico* y un *costo financiero* para cada una de ellas (Figura 5.23). En el contexto de HDM-4, el costo financiero se refiere al precio del mercado de los productos o servicios, en tanto que el costo económico es el que se obtiene al descontar del costo financiero impuestos, subsidios o cualquier otra distorsión que altere el valor real de las mercancías. HDM-4 utiliza costos financieros en la evaluación económica a fin de evitar que el cálculo de indicadores de rentabilidad se vea afectado por las distorsiones mencionadas.

Como puede apreciarse en la Figura 5.23, algunas acciones pueden requerir de trabajos previos, caso en el cuál será necesario ingresar también los costos unitarios de esos trabajos.

Con referencia a la Figura 5.24, para trabajos como el fresado y remplazo, el usuario puede elegir entre dejar que HDM-4 estime los efectos de la acción o especificarlos él mismo. En el caso de la acción tomada como ejemplo, los efectos se expresan en términos de IRI, profundidad de roderas, textura superficial y resistencia al deslizamiento. Otros trabajos en los que los efectos se definen de esta manera son la reconstrucción del pavimento y la colocación de sobrecarpetas. Usualmente se recomienda estimar los efectos a través de HDM-4, a menos de que se tenga plena certeza de que el sistema estima de manera incorrecta tales efectos.

En otros casos, los efectos se determinan de manera diferente. Por ejemplo, en el caso de reparaciones superficiales, el sistema pide al usuario especificar qué porcentaje se dedicará a bacheo, reparación de grietas anchas y desprendimiento de agregados. Asimismo, pide especificar la frecuencia del bacheo.

Finalmente, la ficha de valuación de activos (Figura 5.25) tiene como propósito indicar el valor residual y vida útil de los trabajos (en años o ejes equivalentes). El tema de valuación de activos se introdujo en la versión 2.0 del sistema y no se consideró en el desarrollo de la metodología.

En la Tabla 5.7 se presenta un listado de los estándares de conservación empleados en este trabajo y de las acciones que los integran. La Tabla 5.8 resume los datos de diseño, los criterios de intervención y costos financieros unitarios de las acciones.

Tabla 5.7. Listado de estándares y acciones de conservación

Estándar	Acciones de conservación
EC1 – Mantenimiento de rutina	MR01 – Calafateo y sellado de grietas
	MR02 – Bacheo
	MR03 – Limpieza y reparación de drenaje
	MR04 – Control de vegetación
EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción	MM01 – Reconstrucción
	MP01 – Reposición de carpeta
	Acciones del estándar de mantenimiento de rutina
EC3 – Microcarpeta hasta el año 5	MP02 - Microcarpeta para IRI > 4 m/km hasta el año 5
	Acciones del estándar de mantenimiento de rutina
EC4 – Reconstrucción	MM01 – Reconstrucción
	Acciones del estándar de mantenimiento de rutina

Acciones de conservación	Datos de diseño	Criterios de intervención	Costo financiero unitario
MR01 – Calafateo y sellado de grietas		Intervalo = 1 año	\$59.8/m ²
MR02 – Bacheo		Intervalo = 1 año	\$169.63/m ²
MR03 – Limpieza y reparación de drenaje		Intervalo = 1 año	\$25.88/m ²
MR04 – Control de vegetación		Intervalo = 1 año	\$1,023.50/km/carril
MP01 – Reposición de carpeta	<u>Mat. sup. = concreto asfáltico</u> <u>Espesor = 100 mm</u> <u>Coef. de capa = 0.4</u> <u>Prof. fresado = 100 mm</u> <u>CDS = 1</u>	<u>IRI ≥ 2.8 e intervalo ≥ 5 años</u> <u>PR ≥ 6 e intervalo ≥ 5 años</u> <u>ACA ≥ 25% e intervalo ≥ 5 años¹</u>	\$243.84/m ²
MP02 - Microcarpeta para IRI > 4 m/km hasta el año 5	<u>Mat. sup. = concreto asfáltico</u> <u>Espesor = 100 mm</u> <u>Coef. de capa = 0.011²</u> <u>CDS = 1</u>	IRI ≥ 4 y año ≤ 2016	\$53.92/m ²
MM01 – Reconstrucción	<u>Tipo pav. = AMSB³</u> <u>Mat. sup. = concreto asfáltico</u> <u>SNP = 7</u> <u>Espesor sup. = 100 mm</u> <u>Comp. rel. = 97 %</u> <u>Espesor base = 200 mm</u> <u>Módulo resiliente = 1-5 GPa</u> <u>CDS = 1</u> <u>CDB = 0</u>	<u>IRI ≥ 5 e intervalo ≥ 5 años</u> <u>PR ≥ 12 e intervalo ≥ 5 años</u> <u>ACA ≥ 50% e intervalo ≥ 5 años</u>	\$536.47/m ²

¹ ACA: Área total agrietada.

² Este coeficiente indica que la capa no tiene aporte estructural.

³ Mezcla asfáltica sobre base estabilizada

6 Preparación de datos de la red de carreteras

Como se menciona en el inciso 4.4, los datos de las redes viales cambian conforme las carreteras se deterioran, y el volumen de la información involucrada puede llegar a ser muy grande en función de la longitud de la red en estudio.

Lo anterior provoca que muchas veces resulte impráctica la captura directa de datos de las carreteras en HDM-4 y que, con frecuencia, se opte por preparar los datos fuera del software mediante programas de bases de datos y hoja de cálculo. Una vez preparada, la información se carga en HDM-4 haciendo uso de las herramientas de importación/exportación del propio sistema.

Dentro de HDM-4, una *red de carreteras* es cualquier conjunto de segmentos que puedan caracterizarse por valores únicos de los parámetros de diseño, operación, entorno y condición del pavimento. A los segmentos que cumplen con esta condición se les conoce comúnmente como *segmentos homogéneos*, y constituyen la unidad de análisis básica de HDM-4.

Dependiendo del tipo de análisis que desee efectuarse, los segmentos homogéneos pueden llegar a tener longitudes de unos cuantos kilómetros, de modo que una sola carretera segmentada podría tratarse como una red en HDM-4. De hecho, para efectos de la metodología que se presenta en este documento, cada tramo de autopista se considera como una red de carreteras.

El preproceso de datos de carreteras consiste básicamente en obtener los segmentos homogéneos y almacenarlos en el formato requerido por HDM-4. En realidad, este proceso está gobernado por el contenido y estructura de los archivos de importación/exportación (en general, *archivos de intercambio*), por lo que, en los siguientes párrafos, se presenta en primera instancia una descripción de estos archivos para, enseguida, abordar el tema de la segmentación.

6.1 Archivos de intercambio de HDM-4 para redes de carreteras

Prácticamente cualquiera de los grupos de datos organizados en el espacio de trabajo de HDM-4 puede exportarse o importarse desde el software del sistema a través de archivos de intercambio. Según el grupo de datos, el archivo de intercambio adopta una estructura específica, sin embargo, todos tienen en común el hecho de que se almacenan como de bases de datos de Microsoft Access.

En el caso de los datos de redes de carreteras, la base de datos de intercambio está compuesta por cuatro tablas: *FILETYPE*, *ROADNET*, *SECTIONS* y *TRAFFIC*. Para tener acceso a una de estas bases de datos basta con exportar cualquier red de carreteras desde el espacio de trabajo. De hecho, una base de datos así obtenida puede modificarse con los datos del usuario y luego reimportarse desde HDM-4 como una nueva red.

6.1.1 Tablas *FILETYPE* y *ROADNET*

La tabla *FILETYPE* tiene como propósito indicar a HDM-4 el tipo de información contenido en la base de datos de intercambio, a través del campo único *TYPE* y el valor único *SECT_ID*, que nunca debe ser modificado.

ROADNET contiene la información general de la red de carreteras, la cual se describe en la Tabla 6.1. En la última columna de esta tabla se indican los campos que el usuario debe modificar en forma obligatoria para dar sentido a la definición de la red.

Tabla 6.1. Definición de la tabla *ROADNET*.

Campo	Descripción	Mod.
NAME	Nombre de la red de carreteras	Sí
DESCRIPTION	Texto descriptivo de la red	
CALIB_SET	Serie de calibración en la que se encuentran definidos los juegos de calibración de cada uno de los tramos de la red	Sí
VFLEET	Flota vehicular asociada	Sí
NOOFMT	Número de vehículos motorizados incluidos en la flota	Sí
NOOFNMT	Número de vehículos no motorizados incluidos en la flota	Sí
CURRENCY	Nombre de la unidad monetaria asociada con la red de carreteras. El valor de los activos de la red se expresa en esta unidad monetaria	Sí
TERMROUGHB	Regularidad terminal para pavimentos asfálticos	
TERMROUGHC	Regularidad terminal para pavimentos de concreto hidráulico	
TERMROUGHU	Regularidad terminal para carreteras no pavimentadas	

Tanto las descripciones de la Tabla 6.1 como las otras que se presentan más adelante se basan en el documento *Description of the HDM-4 Road Network Export File Format* incluido en la distribución del software.

6.1.2 Tabla *SECTIONS*

La tabla *SECTIONS* constituye el núcleo de la base de datos de intercambio para carreteras, ya que en ella se almacenen prácticamente todos los datos de los segmentos homogéneos, incluyendo los identificadores y longitud de cada uno de ellos. *SECTIONS* contiene un gran número de campos (112 en total), los cuales pueden agruparse en las siguientes categorías que más o menos corresponden a las fichas del cuadro de diálogo HDM-4 para el ingreso de datos de carreteras (Figura 6.1):

- a) Información general.

- b) Geometría.
- c) Datos del pavimento.
- d) Condición.
- e) Otros.
- f) Valuación de activos.
- g) Identificador del tramo.

Figura 6.1. Cuadro de diálogo de HDM-4 para el ingreso de información de redes de carreteras

En la Tabla 6.2 se describen los campos de la tabla *SECTIONS* para la categoría de información general. El Anexo A contiene las descripciones que corresponden al resto de las categorías. En todas las tablas se indica la clase de superficie para la que la información del campo es relevante y, nuevamente, se señalan los campos en los que se deben obligatoriamente sustituir los valores por omisión para que los análisis con HDM-4 tengan sentido práctico. Nótese que los campos aparecen en las distintas tablas en el mismo orden que tienen las columnas en la tabla *SECTIONS*.

Tabla 6.2. Definición de los campos tabla ROADNET para la categoría de información general.

Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
SECT_ID	Todas	Clave del tramo definida por el usuario	Sí
SECT_NAME	Todas	Nombre del tramo	Sí
LINK_ID	Todas	Clave del arco, carretera o ruta al que pertenece el tramo	Sí

LINK_NAME	Todas	Nombre del arco, carretera o ruta.	Sí
SPEED_FLOW	Todas	Tipo de velocidad/capacidad seleccionado para este tramo	Sí
TRAF_FLOW	Todas	Modelo de tránsito	Sí
ACC_CLASS	Todas	Clase de accidentes	Sí
ROAD_CLASS	Todas	Tipo de carretera	Sí
CLIM_ZONE	Todas	Zona climática	Sí
SURF_CLASS	Todas	Clase de superficie (asfáltica, de concreto o no pavimentada; ver Anexo B)	Sí
LENGTH	Todas	Longitud del tramo en km	Sí
CWAY_WIDTH	Todas	Ancho de calzada en m	Sí
SHLD_WIDTH	Todas	Ancho promedio de acotamientos en m	Sí
MT_AADT	Todas	Tránsito promedio diario anual de vehículos motorizados	Sí
NM_AADT	Todas	Tránsito promedio diario anual de vehículos no motorizados	Sí
AADT_YEAR	Todas	Año de aforo del tránsito	Sí

Debe tenerse en cuenta también que algunos datos de la tabla *SECTIONS* toman como valor una clave numérica. En el Anexo B se indican los campos que se encuentran en este caso y se proveen listados de los valores que pueden tomar las diferentes claves.

Con frecuencia, se afirma que una de las principales desventajas de HDM-4 es que requiere de un gran número de datos de entrada. Al respecto, es importante llamar la atención sobre el hecho de que, del total de los 112 campos de la tabla *SECTIONS*, en el caso de superficies asfálticas sólo 44, es decir, el 39% del total, han sido marcados como de captura obligatoria para obtener resultados relevantes. Sin embargo, se reconoce que hay que agregar a ese total otros datos del archivo de intercambio de carreteras, así como todo lo que corresponde a la información complementaria descrita en el capítulo 5.

Por otro lado, se advierte que la mayoría de los 44 datos contabilizados para pavimentos asfálticos son los que, invariablemente, se requieren para soportar procesos de gestión de pavimentos, independientemente de que se utilice o no HDM-4. En general, los datos calificados como obligatorios se refieren a los siguientes aspectos:

- Identificación de los tramos.
- Tránsito y clima,
- Diseño geométrico.
- Capacidad estructural.
- Condición del pavimento.
- Historial de reparaciones.

Con respecto a la capacidad estructural, debe recordarse que HDM-4 la expresa a través del número estructural ajustado (*SNP*) y que ofrece cuatro alternativas de datos de entrada para el cálculo de este indicador: i) Número estructural de las capas superiores del pavimento y *CBR*; ii) Espesores y coeficientes de resistencia de las capas superiores del pavimento y *CBR*; iii) Deflexión para 700 kPa medida con deflectómetro de impacto en el punto de aplicación de la carga; iv) Deflexión

medida con viga Benkelman. El método de cálculo se especifica en el campo *SNP_DERIVE* y determina los campos que obligatoriamente deben contar con los datos apropiados para efectuar el cálculo.

6.1.3 Tabla *TRAFFIC*

De acuerdo con lo señalado al principio de este inciso, la base de datos de intercambio de carreteras contiene una tabla adicional denominada *TRAFFIC*, que tiene como finalidad almacenar la composición del tránsito que corresponde a cada segmento homogéneo. En la Tabla 6.3 se presenta la estructura de esta tabla.

Tabla 6.3. Estructura de la tabla *TRAFFIC*.

Campo	Descripción	Mod.
SEC_ID	Identificador del tramo al que corresponde la definición del tránsito	Sí
VEH_ID	Identificador del vehículo al que corresponde la definición del tránsito	Sí
VEH_CAT	Categoría de vehículo (motorizado o no motorizado)	Sí
YEAR_IDX	Actualmente sin uso (debe hacerse 0 en todos los casos)	Sí
YEAR	Año al que corresponde la definición de tránsito	Sí
AADT	Tránsito diario promedio anual del vehículo en el tramo para el año dado	Sí

La liga entre las tablas *SECTIONS* y *TRAFFIC* se establece a través de los campos *ID* y *SEC_ID* de ambas tablas, en tanto que el vehículo al que se refiere cada dato de composición está definido por el campo *VEH_ID*. Este último es un identificador numérico que se asocia de manera unívoca a cada vehículo de la flota vehicular asignada a la red de carreteras. Para saber qué valores de *VEH_ID* corresponden a cada vehículo, es necesario exportar la flota a una base de datos de intercambio y consultar la tabla *VEHICLES*.

Al final, *TRAFFIC* debe tener un número de registros igual al resultado de multiplicar el número de segmentos homogéneos almacenados en la tabla *SECTIONS* por el número de vehículos definidos en la flota.

6.1.4 Creación de la base de datos de intercambio

Tomando en cuenta los detalles expuestos en los párrafos anteriores, la generación de una red de carreteras mediante procedimientos de exportación / importación puede resumirse como sigue:

- a) Generar los segmentos homogéneos para la red de interés mediante alguno de los procedimientos que se presentan en el siguiente inciso.
- b) Crear una base de datos de intercambio exportando una red de carreteras existente en el espacio de trabajo de HDM-4. Se recomienda exportar una de las redes de los estudios de caso que se distribuyen con HDM-4 para recuperar los valores por omisión de todos los campos.

- c) Abrir la base de datos exportada con Microsoft Access.
- d) Modificar la tabla *ROADNET* de acuerdo con las características propias de la red que se desea analizar con HDM-4 (ver Tabla 6.1).
- e) Abrir la tabla *SECTIONS* y eliminar todos los registros con excepción del primero.
- f) Modificar los campos señalados como de cambio obligatorio en la Tabla 6.2 y en las tablas del Anexo A.
- g) Modificar campos adicionales para los que, eventualmente, se disponga de información.
- h) Crear un registro en la tabla *SECTIONS* por cada segmento adicional que se tenga y copiar los valores del primer registro, a fin de recuperar los valores por omisión de los campos.
- i) Repetir los pasos señalados en los párrafos *f* y *g* para el nuevo registro.
- j) Crear registros de composición vehicular en la tabla *TRAFFIC* por cada segmento y cada vehículo de la flota asociada con la red de carreteras.

Es claro que puede resultar más fácil ejecutar las tareas de edición anteriores en Excel que en Access, por lo que en general se recomienda copiar las tablas por editar en una hoja de cálculo, hacer todos los cambios requeridos y copiar la tabla modificada de vuelta en Access.

En última instancia, la aplicación reiterada del procedimiento anterior llevará a plantearse la conveniencia de desarrollar herramientas informáticas especializadas en el pre-proceso de la información de redes de carreteras para HDM-4.

6.2 Generación de segmentos homogéneos

La división de una carretera en segmentos homogéneos, o segmentación, se basa en la misma información requerida por el proceso de gestión en su conjunto, es decir, diseño geométrico, capacidad estructural, estado del pavimento, tránsito y entorno. El reto de producir una buena segmentación consiste en procesar y combinar adecuadamente las variables anteriores para producir segmentos con valores representativos de cada una de ellas, y con una longitud adecuada para la evaluación de proyectos de conservación en cada segmento.

El punto de partida para la generación de segmentos homogéneos consiste en verificar la manera en que se encuentran registrados cada uno de los parámetros que es necesario incluir en la segmentación (Figura 6.2).

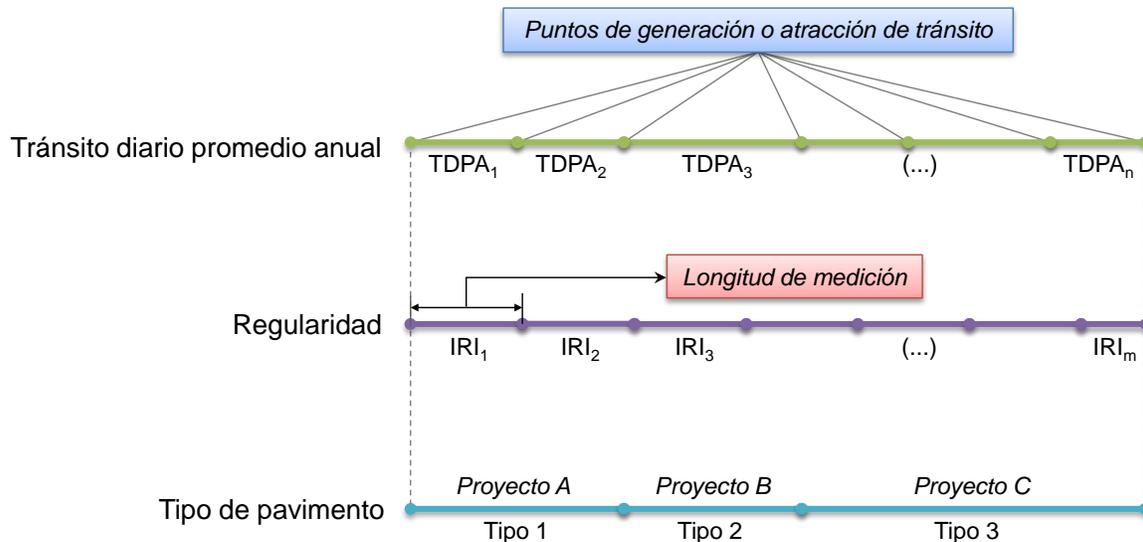


Figura 6.2. Longitud de registro de los parámetros.

Generalmente, los parámetros de la condición del pavimento como el IRI o las deflexiones se registran a intervalos con una longitud fija que depende de cada parámetro, por ejemplo, 20 m para IRI o 100 m para deflexiones. Otras variables como el volumen de tránsito o el tipo de pavimento se encuentran registrados a intervalos de longitud variable cuyos puntos inicial y final dependen de la naturaleza propia de cada variable. En el caso del tránsito, los puntos inicial y final corresponden a puntos de generación o atracción del tránsito, mientras que para el tipo de pavimento esos puntos se encuentran definidos en el proyecto original.

Como se observa, en general los parámetros que intervienen en la segmentación tienen diferentes longitudes de registro, lo cual introduce una primera complicación en el proceso de segmentación. Tradicionalmente, esta complicación se ha sorteado definiendo segmentos homogéneos con una longitud fija, típicamente de 1 km, y asignando a estos segmentos valores representativos de los parámetros de acuerdo con los siguientes criterios básicos (Figura 6.3):

- a) En el caso de variables no numéricas como el tipo de pavimento o el clima, asignar al segmento el valor que le corresponda según su ubicación. Si la variable cambia de valor al interior del segmento, trasladar el punto final del mismo al punto en el que cambia la variable y definir un nuevo segmento. Cabe hacer notar que las variables no numéricas tienen generalmente una longitud mayor que la empleada en segmentaciones de longitud fija.
- b) Para variables numéricas asignar el promedio ponderado por longitud que le corresponde al segmento. Con el promedio ponderado se toma en cuenta la posibilidad de que la variable cambie de valor en el punto final de un segmento.

El uso del promedio ponderado como valor representativo puede tener el inconveniente de ocultar valores críticos de parámetros del estado del pavimento y redundar en una atención inadecuada del segmento involucrado.

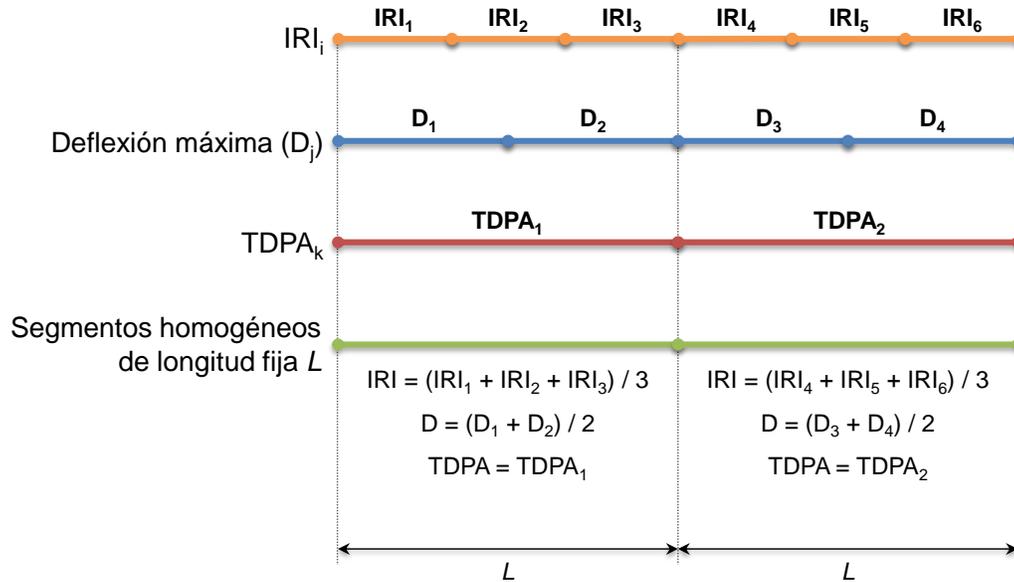


Figura 6.3. Segmentación fija.

Un esquema alternativo para resolver el problema de las diferentes longitudes de registro de los parámetros consiste en generar un nuevo segmento homogéneo cada vez que alguno de los parámetros cambia de valor, lo cual produce segmentos homogéneos de longitud variable, como se muestra en la Figura 6.4. Este esquema, conocido como *segmentación dinámica*, introduce un nuevo inconveniente: dado que varios de los parámetros de la condición del pavimento se registran a intervalos cortos (p. ej., 20 m para el IRI), los segmentos homogéneos resultan también cortos, lo que hace inviable su uso en el proceso de gestión de pavimentos.

Para resolver este problema, varios autores (Fridtjof, 2004) han desarrollado algoritmos para agregar las mediciones de un parámetro medido a intervalos cortos, lo cual equivale a obtener valores representativos del parámetro para longitudes mayores a la longitud de registro y, en última instancia, a segmentar las carreteras de acuerdo con la variación de este parámetro.

El propio Instituto Mexicano del Transporte ha desarrollado un algoritmo que implementa el procedimiento de agregación esbozado en el párrafo anterior y que es objeto de una publicación separada actualmente en preparación. Básicamente, el algoritmo aplica el siguiente procedimiento:

- a) Filtrar las mediciones originales, a fin de eliminar los datos sensiblemente diferentes de la tendencia dominante en un intervalo determinado. Para ello se emplear el método de la media móvil (Sayers & Karimbas, 1998) con una

longitud por omisión de 1 km que puede ser modificada por el usuario. Los valores eliminados como producto del filtrado se almacenan en un archivo separado para su análisis posterior.

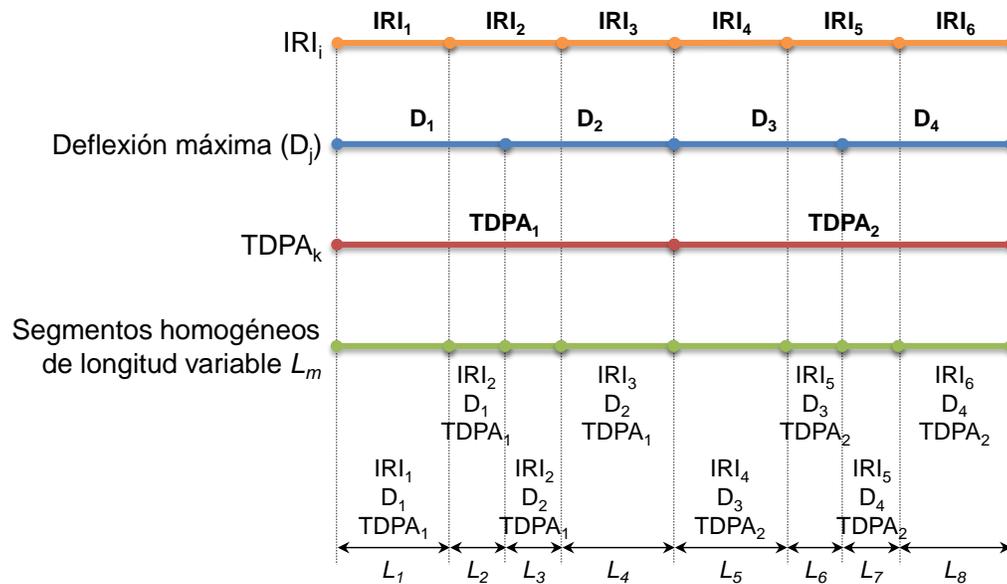


Figura 6.4. Segmentación dinámica.

- Aplicar el método de diferencias acumuladas documentado originalmente en la Guía de Diseño de Pavimentos de AASHTO de 1986 (AASHTO, 1986). Este método permite identificar puntos en los que la tendencia general de los datos cambia y, en cada uno de estos puntos, se define el inicio de un nuevo segmento.
- Asignar a los segmentos obtenidos un valor representativo de los datos originales definidos al interior del segmento, como el promedio o algún percentil de esos datos. El valor representativo por asignar queda a elección del usuario.
- Unir los segmentos cuyos valores representativos tengan una diferencia menor a un límite especificado también por el usuario.

En la Figura 6.5 se ilustra la aplicación del algoritmo antes descrito a la segmentación de un tramo carretero en función del IRI. En la gráfica que se presenta, las líneas horizontales representan los valores representativos asignados a cada segmento homogéneo, en tanto que los puntos señalados en la parte superior representan las mediciones descartadas por su separación de la tendencia dominante.

Aplicando un algoritmo de agregación como el desarrollado por el IMT, la segmentación dinámica puede producir resultados de mayor utilidad práctica, como puede apreciarse en la Figura 6.6.

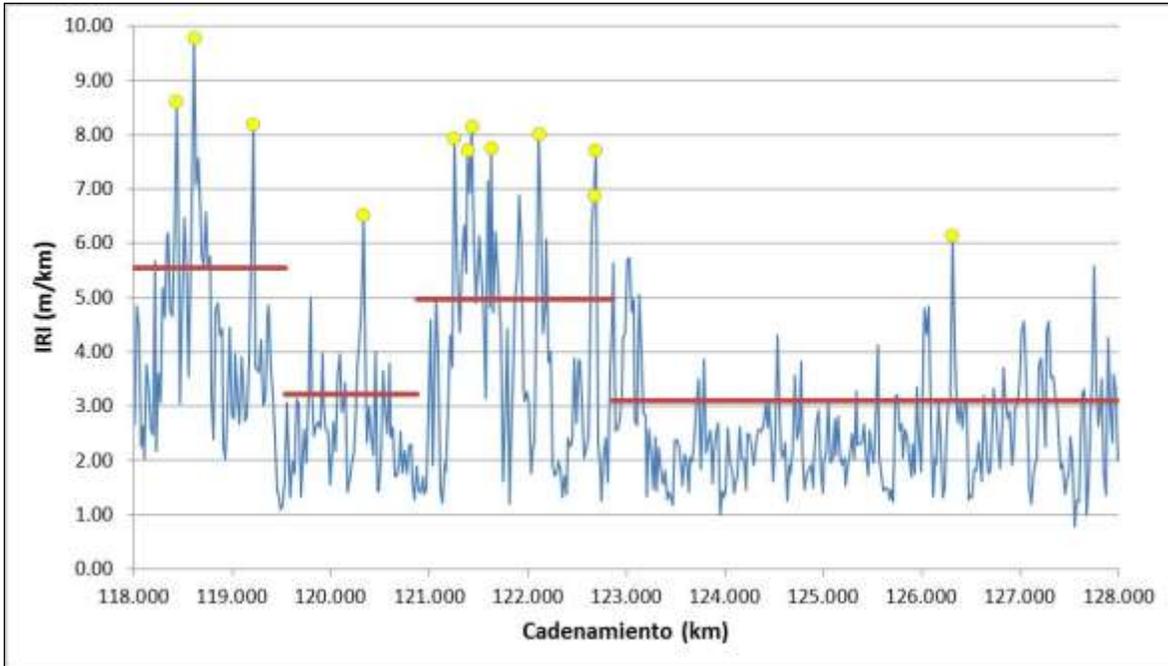


Figura 6.5. Resultado del algoritmo de agregación de datos del IMT.

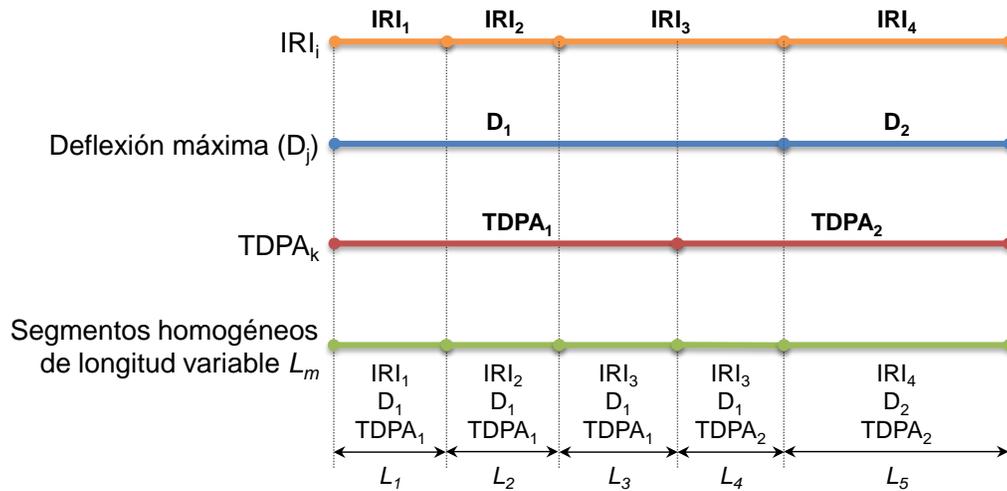


Figura 6.6. Segmentación dinámica con información agregada.

Aún con la mejora introducida con el uso de información agregada, la segmentación dinámica conlleva la desventaja de que, al aplicarse año con año, puede producir segmentos diferentes, ya que los indicadores de la condición del pavimento cambian por efecto del deterioro o de la ejecución de obras de conservación. Esta variabilidad dificulta en cierta medida la evaluación del comportamiento del pavimento en el tiempo.

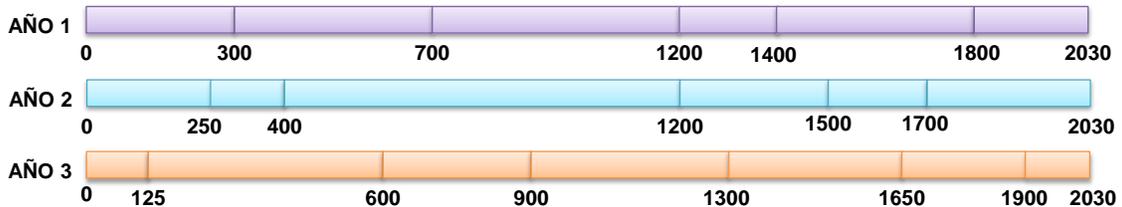
Para paliar la desventaja anterior se ha propuesto, como alternativa, mantener en uso los segmentos generados con segmentación dinámica por algunos años, dando lugar a lo que se conoce como *segmentación estática* (Bennett, s.f.) En la

Figura 6.7 se ilustran de manera general la segmentación estática y los otros dos tipos de segmentación presentados en este inciso.

SEGMENTOS DE LONGITUD FIJA



SEGMENTACIÓN DINÁMICA



SEGMENTACIÓN ESTÁTICA

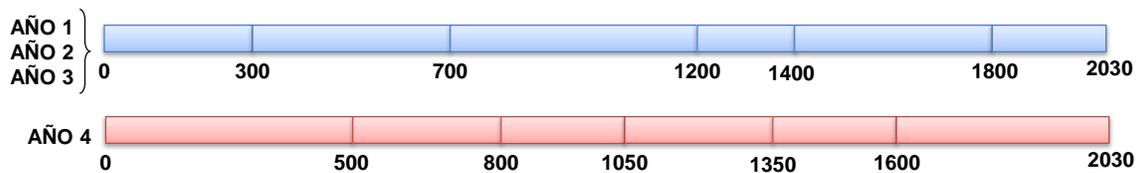


Figura 6.7. Tipos de segmentación

En los trabajos desarrollados para CAPUFE y BANOBRAS, el IMT aplicó el procedimiento de segmentación dinámica para la obtención de los segmentos homogéneos, en conjunto con el algoritmo desarrollado por el propio instituto para la agregación de parámetros medidos a intervalos cortos.

7 Aplicación de HDM-4 y postproceso de los resultados

En esta parte final de la descripción de la metodología para la elaboración de anteproyectos de conservación de autopistas, se trata lo relacionado con la aplicación de HDM-4, el post-proceso de los resultados y la generación de informes.

La aplicación de HDM-4 consiste esencialmente en la ejecución de una corrida de análisis de programas. La razón por la que se decidió emplear este tipo de análisis es que la obtención del anteproyecto de presupuesto es un ejercicio en el que se pretende jerarquizar los proyectos de conservación de cada tramo de autopista en función de su rentabilidad económica, así como mostrar los efectos de la aplicación de tratamientos alternativos en el comportamiento del pavimento. Ambos objetivos son compatibles con los del análisis de programas.

Para ejemplificar el análisis se utiliza información del tramo Puerto México – La Carbonera correspondiente al año 2008 por lo que toca a los indicadores de capacidad estructural y a 2010 para el resto de la información. Estos datos se utilizaron como insumo para segmentar el tramo con el procedimiento de segmentación dinámica y el algoritmo de agregación de información del IMT que se describen en el capítulo 6, y así obtener los segmentos homogéneos requeridos para el análisis, que fueron importados desde HDM-4 como una nueva red de carreteras. En la Figura 7.1 se muestra una vista de esta red.

En relación a la flota vehicular, que constituye uno de los atributos de la red de carreteras, se utilizó una flota representativa similar a la descrita en el inciso 5.3. Los datos de configuración se integraron también siguiendo los lineamientos generales discutidos en el capítulo 5.

En lo que respecta a las alternativas de conservación evaluadas, se definieron las cuatro alternativas mencionadas en el inciso 4.4 con los estándares de conservación definidos al final del mismo capítulo 5. La definición de las alternativas y la definición de los estándares se presentan en la Tabla 7.1.

Como se aprecia en la Tabla 7.1, la única alternativa a la que se ha asignado más de un estándar es la alternativa *ALT3 – Tratamiento de espera*, y ello se debe a que esta alternativa supone el diferimiento de las acciones de conservación óptima, agrupadas en el estándar *EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción*, hasta el año 2016, y la aplicación de un tratamiento de espera basado en una microcarpeta entre 2011 y 2016.

ID	Descripción	Última modificación	Clase de sup.	Tipo de pavimento	Juego de calibración RD	Long. (km)	Ancho de calzada (m)	Flujo de tránsito
T1S101	Sentido 1, km. 000+000 al 003+600	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	3.6	10.50	Sentido a
T1S102	Sentido 1, km. 003+600 al 012+900	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	9.4	10.50	Sentido a
T1S103	Sentido 1, km. 012+900 al 015+000	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.0	10.50	Sentido a
T1S104	Sentido 1, km. 015+000 al 017+500	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.5	10.50	Sentido a
T1S105	Sentido 1, km. 017+500 al 023+100	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	5.6	10.50	Sentido a
T1S106	Sentido 1, km. 023+100 al 034+700	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	11.6	10.50	Sentido a
T1S107	Sentido 1, km. 034+700 al 039+350	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	4.7	10.50	Sentido a
T1S108	Sentido 1, km. 039+350 al 041+200	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	1.9	10.50	Sentido a
T1S109	Sentido 1, km. 041+200 al 044+140	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.9	10.50	Sentido a
T1S110	Sentido 1, km. 044+140 al 046+860	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.7	10.50	Sentido a
T1S111	Sentido 1, km. 046+860 al 048+000	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	1.1	10.50	Sentido a
T1S112	Sentido 1, km. 048+000 al 050+300	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.3	10.50	Sentido a
T1S113	Sentido 1, km. 050+300 al 053+500	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	3.2	10.50	Sentido a
T1S114	Sentido 1, km. 053+500 al 056+100	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.6	10.50	Sentido a
T1S115	Sentido 1, km. 056+100 al 058+000	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	1.9	10.50	Sentido a
T1S116	Sentido 1, km. 058+000 al 059+700	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	1.7	10.50	Sentido a
T1S117	Sentido 1, km. 059+700 al 062+000	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	2.3	10.50	Sentido a
T1S118	Sentido 1, km. 062+000 al 065+500	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	3.5	10.50	Sentido a
T1S119	Sentido 1, km. 065+500 al 069+500	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	4.0	10.50	Sentido a
T1S201	Sentido 2, km. 000+000 al 001+800	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	1.8	10.50	Sentido a
T1S202	Sentido 2, km. 001+800 al 007+800	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	6.0	10.50	Sentido a
T1S203	Sentido 2, km. 007+800 al 010+800	04/10/2012	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base granular	AMGB	3.0	10.50	Sentido a

Figura 7.1. Red carretera del análisis.

Tabla 7.1. Definición de las alternativas de conservación

Alternativa	Estándar	Año
Alternativa base (ALT1)	EC1 – Mantenimiento de rutina	2011
ALT2 – Alternativa técnicamente óptima	EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción	2011
ALT3 – Tratamiento de espera	EC3 – Microcarpeta hasta el año 5	2011
	EC2 – Reposición de carpeta, reconstrucción	2016
ALT4 – Sólo reconstrucción	EC4 – Reconstrucción	2011

El análisis de programas se realizó con una tasa de actualización de 12% y un periodo de análisis de 20 años.

7.1 Uso de tramos de autopista como unidades de análisis del anteproyecto

HDM-4 asigna las acciones de la alternativa base a un segmento dado cuando ninguna de las alternativas adicionales resulta rentable para ese segmento. Aunque este comportamiento es en general adecuado para carreteras convencionales, en el caso de las autopistas resulta inadmisibles, ya que puede redundar en un nivel de deterioro excesivo en relación con los estándares de desempeño que corresponden a una autopista.

Por otro lado, en los ejercicios iniciales de obtención del anteproyecto de presupuesto se observó que los programas por segmento homogéneo generados con una corrida normal de HDM-4 pueden contener una gran variabilidad en las acciones de conservación para segmentos contiguos.

De esta manera, se decidió buscar un método alternativo para la elaboración del programa que permitiera resolver las limitaciones anteriores en la aplicación de HDM-4 a la formulación de programas de conservación para autopistas.

Luego de analizar varios cursos de acción, se decidió realizar el análisis beneficio/costo para el conjunto de segmentos homogéneos del tramo de autopista; es decir, obtener flujos de costos y beneficios e indicadores de rentabilidad considerando que las alternativas se aplican a la totalidad del tramo y no a cada segmento homogéneo. Lo anterior no implica la sustitución del conjunto de segmentos homogéneos por un solo segmento representativo de todo el tramo. De hecho, el enfoque propuesto no requiere modificar la manera de obtener los segmentos o de aplicar HDM-4. Se trata más bien de un tratamiento de la información posterior a la aplicación del sistema que consiste en agregar los flujos de costos y beneficios por alternativa para todos los segmentos del tramo de autopista, y en calcular los indicadores de rentabilidad con esos flujos. La información necesaria para este tratamiento se encuentra disponible en la base de datos de resultados de HDM-4.

Utilizando un procedimiento similar, se pueden obtener valores de IRI promedio ponderado indicativo de la implementación de las alternativas por tramo.

Aunque el tratamiento adicional de la información se realiza fuera de HDM-4, en realidad se utilizan los resultados del sistema en lo que se refiere a la predicción del deterioro del pavimento, la estimación de los efectos de las acciones y el cálculo de costos de operación vehicular. Para implementar el procedimiento propuesto fue necesario desarrollar herramientas adicionales de procesamiento de datos en Microsoft Access y Excel.

Estas herramientas acceden directamente al archivo de resultados de HDM-4, el cual tiene también consiste en una base de datos de Access que contiene tablas diversas en el que se almacenan tanto copias de los datos de entrada como las salidas de las distintas etapas de análisis del sistema.

El acceso a la base de datos de resultados se realiza a través de consultas escritas en el lenguaje SQL de Access, que operan sobre varias de las tablas antes mencionadas. En la Tabla 7.2 se describe brevemente el contenido de las tablas de la base de datos que se utilizan en el proceso.

Tabla 7.2. Tablas de la base de datos utilizadas en el procedimiento de análisis por tramo de autopista

Tabla	Contenido
ANNUALDATA .DBF	Resultados anuales del cálculo de variables como volumen y cargas del tránsito, indicadores del estado de la carretera, costos de inversión y costos de usuario
ANNUALWORKS .DBF	Programas anuales de obra derivados de la aplicación de las alternativas en cada segmento homogéneo
OPTIONS .DBF	Descripción de las alternativas consideradas en el análisis
SECTIONS .DBF	Red de carreteras (conjunto de segmentos homogéneos) utilizada en el análisis

La implementación del procedimiento de análisis por tramo consiste en dos fases: consulta y procesamiento de datos. Para la primera fase, se utiliza una base de datos de Access en la que previamente se han incorporado vínculos a las tablas de la Tabla 7.2 y se han definido las consultas SQL antes referidas. Ejecutando estas consultas se obtiene la siguiente información:

- a) Listado combinado de segmentos homogéneos y años del periodo de análisis (consulta `Flujos - Segmentos y años`)
- b) Costos de operación vehicular anuales para la alternativa base en todos los segmentos homogéneos (consulta `Flujos - COV ALT1`).
- c) Costos de inversión y costos de operación anual para el resto de las alternativas en todos los segmentos homogéneos (consultas `Flujos - IncRAC` y `COV ALTi`)
- d) Evolución anual del IRI por segmento y por alternativa (consulta `IRI promedio`).
- e) Programas de obra derivados de la aplicación de cada alternativa en todos los segmentos de la autopista (consultas `Programa de obra - ALTi`).

La Figura 7.2 muestra una pantalla de Access con las tablas vinculadas, las consultas y el resultado de la consulta `Programa de obra - ALT2`, la cual genera el programa de obra para la alternativa técnicamente óptima.

Para la fase de procesamiento se emplea un libro de Excel con macros que también sirve como base para la generación del informe de la corrida. El libro anterior está contenido en un archivo en el que previamente se han construido tablas de Excel vinculadas a las consultas definidas en Access. La vinculación anterior se instrumenta también mediante consultas SQL, usando la opción de *obtención de datos externos* de Excel.

7.2 Informes de resultados

Con las tablas de Excel se generan las componentes de los informes de resultados que se describen en los siguientes párrafos. Las Figuras referidas en ellos contienen en todos los casos ejemplos de la autopista Puerto México - La Carbonera. Asimismo, los códigos ALT1, ALT2, etc. usados en estas Figuras, representan a las alternativas según lo mostrado en la Tabla 7.1.

- a) *Programas de obra por tramo de autopista y por alternativa.* Presentan un listado de los trabajos que es necesario efectuar cada año en diferentes segmentos del tramo de autopista, de acuerdo con los criterios de intervención definidos en los estándares. Utilizan como entrada los resultados de las consultas que producen los programas de obra por alternativa. El listado incluye el segmento involucrado, año de ejecución, descripción de los trabajos y costo. La Figura 7.3 muestra un fragmento del programa de la alternativa técnicamente óptima.

Resultados HDM-4 : Base de datos (Formato de archivo de Access 2002 - 2003) - Microsoft Access

Archivo Inicio Crear Datos externos Herramientas de base de datos Complementos

Ver Pegar Cortar Copiar Copiar formato Portapapeles Filtro Ordenar y filtrar Ascendente Descendente Quitar orden Ordenar y filtrar Selección Avanzadas Actualizar todo Eliminar Registros Nuevo Guardar Revisión ortográfica Más Buscar Reemplazar Ir a Seleccionar Buscar Calibri 11 Formato de texto

Todas las tablas Programa de obra - ALT2

Año	Segmento	Longitud	TDPA	Trabajos por ejecutar	Costo
2012	Sentido 1, km. 000+000 al 003+	3.6	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	9.217152
2012	Sentido 1, km. 003+600 al 012+	9.38	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	24.015802
2012	Sentido 1, km. 012+980 al 015+	2.02	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	5.1718465
2012	Sentido 1, km. 015+000 al 017+	2.5	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	6.4008
2012	Sentido 1, km. 017+500 al 023+	5.60001	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	14.337818
2012	Sentido 1, km. 023+100 al 034+	11.6	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	29.699714
2012	Sentido 1, km. 034+700 al 039+	4.65001	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	11.905514
2012	Sentido 1, km. 039+350 al 041+	1.84999	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	4.736566
2012	Sentido 1, km. 041+200 al 044+	2.94	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	7.5273405
2012	Sentido 1, km. 044+140 al 046+	2.72	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	6.9640705
2012	Sentido 1, km. 046+860 al 048+	1.14	4458.51	MM01 - Reconstruccion	6.4215455
2012	Sentido 1, km. 048+000 al 050+	2.3	4458.51	MM01 - Reconstruccion	12.95575
2012	Sentido 1, km. 050+300 al 053+	3.2	4458.51	MM01 - Reconstruccion	18.025392
2012	Sentido 1, km. 053+500 al 056+	2.60001	4458.51	MM01 - Reconstruccion	14.645686
2012	Sentido 1, km. 056+100 al 058+	1.89999	4458.51	MM01 - Reconstruccion	10.702519
2012	Sentido 1, km. 058+000 al 059+	1.7	4458.51	MM01 - Reconstruccion	9.575989
2012	Sentido 1, km. 059+700 al 062+	2.3	4458.51	MM01 - Reconstruccion	12.95575
2012	Sentido 1, km. 062+000 al 065+	3.5	4458.51	MM01 - Reconstruccion	19.715272
2012	Sentido 1, km. 065+500 al 069+	4	4458.51	MM01 - Reconstruccion	22.531738
2012	Sentido 2, km. 000+000 al 001+	1.8	4458.51	MM01 - Reconstruccion	10.139282
2012	Sentido 2, km. 001+800 al 007+	6	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	15.36192
2012	Sentido 2, km. 007+800 al 010+	3	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	7.68096
2012	Sentido 2, km. 010+800 al 012+	2.17999	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	5.5814725
2012	Sentido 2, km. 012+980 al 015+	2.92	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	7.4761345
2012	Sentido 2, km. 015+900 al 017+	2	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	5.12064
2012	Sentido 2, km. 017+900 al 031+	13.9	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	35.588448
2012	Sentido 2, km. 031+800 al 033+	1.59999	4458.51	MP01 - Reparacion de carpeta	4.09648625

Registro: 1 de 97 Sin filtro Buscar

Vista Hoja de datos

Figura 7.2. Acceso a la base de datos de resultados de HDM-4 mediante consultas SQL.

- b) *Larguillos de los programas de obra por cuerpo*. Son representaciones gráficas de los programas de obra por alternativa y por sentido de circulación. Estos larguillos se generan con base en la información del programa de obra mediante una macro de Excel almacenada en el mismo libro que contiene el informe, la cual se ejecuta oprimiendo el botón “Actualizar larguillos” colocado en la hoja “Resumen costos”. En la Figura 7.4 se presenta el larguillo que corresponde a la aplicación de la alternativa técnicamente óptima en el cuerpo “B”.
- c) *Resumen de costos*. Es un concentrado de los costos totales de implementación de las alternativas en el periodo de análisis considerado (Figura 7.5), que se integra sumando los costos de todas las obras incluidas en el programa de cada alternativa.
- d) *Inversión total en el primer año*. Indica las inversiones que es necesario realizar en el primer año de análisis para cada alternativa (Figura 7.6). En el caso ilustrado, el primer año del periodo de análisis corresponde a 2011. Evidentemente, este listado se genera sumando los costos de las obras que HDM-4 determina programar para cada alternativa en el primer año de acuerdo con los criterios de intervención especificados.
- e) *IRI promedio ponderado por alternativa*. En esta tabla (Figura 7.7) se muestra un pronóstico de la evolución del promedio ponderado del Índice de Regularidad Internacional (IRI) de la autopista para cada alternativa considerada. Los resultados de la tabla se basan en la consulta sobre la evolución anual del IRI y, para obtenerlos, se sigue el procedimiento que se describe a continuación:
- i. Obtener un factor de ponderación de la longitud para cada segmento homogéneo, dividiendo la longitud del segmento entre la longitud total de la autopista.
 - ii. Ponderar el IRI estimado por HDM-4 para cada segmento por alternativa y por año multiplicándolo por el factor de ponderación.
 - iii. Sumar los IRI ponderados que corresponden a cada alternativa y cada año.
- f) *Análisis costo/beneficio*. Muestra un conjunto de tablas en los que se resume la obtención de los flujos de costos y beneficios y de los correspondientes indicadores de rentabilidad por autopista. Las operaciones necesarias para generar estos cuadros pueden resumirse como sigue:
- i. Obtener los costos de operación vehicular por año y por autopista de la alternativa base, agregando los costos de operación por año y por segmento homogéneo del listado que se genera mediante la consulta `Flujos - COV ALT1`.



Figura 7.4. Larguillo del programa de obra para la alternativa técnicamente óptima.

ANTEPROYECTO DE PRESUPUESTO 2012	
Tramo 1	
RESUMEN DE COSTOS TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS	
Alternativa	Costo total (millones de pesos)
ALT1: Alternativa Base	\$0.000
ALT2: Alternativa técnicamente óptima	\$927.408
ALT3: Tratamiento de espera	\$722.538
ALT4: Reconstrucción al final de la vida útil	\$1,776.064

Figura 7.5. Resumen de los costos totales de las alternativas en el periodo de análisis.

ANTEPROYECTO DE PRESUPUESTO 2012	
Tramo 1	
INVERSIÓN EN 2011	
Alternativa	Costo total (millones de pesos)
ALT1: Alternativa Base	\$0.000
ALT2: Alternativa técnicamente óptima	\$476.024
ALT3: Tratamiento de espera	\$0.000
ALT4: Reconstrucción al final de la vida útil	\$220.248

Figura 7.6. Costos de inversión de las alternativas en el primer año.

ANTEPROYECTO DE PRESUPUESTO 2012				
Tramo 1				
IRI PROMEDIO POR ALTERNATIVA DE PROYECTO (Ponderado por longitud)				
Año	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4
2012	3.29	3.29	3.29	3.29
2013	3.49	2.04	3.49	3.03
2014	3.73	2.10	3.57	3.18
2015	4.01	2.16	3.47	3.31
2016	4.35	2.21	3.50	3.32
2017	4.79	2.26	3.52	3.42
2018	5.34	2.32	2.65	3.43
2019	5.97	2.38	2.77	3.11
2020	6.62	2.43	2.53	2.43
2021	7.29	2.49	2.29	2.56
2022	7.96	2.56	2.39	2.68
2023	8.61	2.38	2.56	2.83
2024	9.21	2.44	2.74	3.00
2025	9.75	2.49	2.46	2.66
2026	10.17	2.55	2.36	2.80
2027	10.47	2.47	2.42	2.80
2028	10.69	2.62	2.46	2.88
2029	10.88	2.17	2.45	2.68
2030	11.07	2.25	2.51	2.48
2031	11.27	2.32	2.59	2.66

Figura 7.7. Evolución del IRI promedio ponderado por alternativa para todo el tramo.

- ii. Obtener los costos de inversión por año y por autopista para cada una de las alternativas restantes, agregando los costos de inversión por año y por segmento homogéneo del listado que se genera mediante la consulta $\text{Flujos} - \text{IncRAC} \text{ y } \text{COV ALT}_i$.
- iii. Obtener los costos de operación vehicular por año y por autopista para cada una de las alternativas diferentes de la alternativa base, agregando los costos de operación por año y por segmento homogéneo del listado que se genera mediante la consulta $\text{Flujos} - \text{IncRAC} \text{ y } \text{COV ALT}_i$.
- iv. Calcular la diferencia anual entre los costos de operación de cada alternativa considerada y la alternativa base, es decir, el ahorro en costos de operación.
- v. Calcular los beneficios anuales de cada alternativa como la diferencia entre el ahorro en costos de operación y el costo de inversión.
- vi. Actualizar los beneficios anuales con una tasa de 12%.
- vii. Determinar el valor presente neto de cada alternativa como la suma de los beneficios anuales actualizados.
- viii. Determinar la tasa interna de retorno del flujo de beneficios de cada alternativa (en este caso se emplea la expresión disponible en Excel).

En la Figura 7.8 se presentan a manera de ejemplo las tablas del análisis costo/beneficio que corresponden a la alternativa técnicamente óptima (ALT2) y a la alternativa de reposición de la capa de rodadura (ALT3).

- g) *Gráficas*. El informe incluye un total de cinco gráficas con los siguientes elementos:
- i. Costos anuales de implementación de las alternativas, la cual se construye con los concentrados de costos anuales que aparecen en los programas de obra por alternativa.
 - ii. Costos totales de implementación de las alternativas para el periodo de análisis considerado.
 - iii. Inversiones en el primer año por alternativa.
 - iv. IRI promedio ponderado por alternativa para el periodo de análisis.
 - v. Gráfica de los flujos de costos y beneficios.

Las Figuras 7.9 a 7.13 ilustran las gráficas anteriores para el tramo Puerto México - La Carbonera.

7.3 Procedimiento de análisis y generación de informes por autopista

Una vez realizadas las corridas con HDM-4, el procedimiento para la realización de la evaluación técnica-económica y la generación de los informes por tramo puede resumirse como sigue:

ANTEPROYECTO DE PRESUPUESTO 2012											
Tramo 1											
ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO SOCIAL PARA UN PERIODO DE 20 AÑOS											
(TODOS LOS IMPORTES EN MILLONES DE PESOS)											
	Alt. base	ALT2: Alternativa técnicamente óptima					ALT3: Tratamiento de espera				
AÑO	COV	ΔRAC	COV	-ΔCOV	Beneficios	Benef. act.	ΔRAC	COV	-ΔCOV	Beneficios	Benef. act.
2012	\$1,610.404	\$413.930	\$1,610.404	\$0.000	-\$413.930	-\$413.930	\$0.000	\$1,610.404	\$0.000	\$0.000	\$0.000
2013	\$1,702.241	\$0.000	\$1,664.046	\$38.195	\$38.195	\$34.103	\$6.519	\$1,702.241	\$0.000	-\$6.519	-\$5.820
2014	\$1,800.781	\$0.000	\$1,747.724	\$53.057	\$53.057	\$42.297	\$13.589	\$1,792.601	\$8.180	-\$5.409	-\$4.312
2015	\$1,904.379	\$0.000	\$1,835.598	\$68.782	\$68.782	\$48.957	\$7.784	\$1,877.992	\$26.387	\$18.603	\$13.241
2016	\$2,013.305	\$0.000	\$1,927.914	\$85.391	\$85.391	\$54.268	\$9.675	\$1,973.559	\$39.746	\$30.071	\$19.111
2017	\$2,132.432	\$0.000	\$2,024.900	\$107.532	\$107.532	\$61.017	\$185.188	\$2,074.351	\$58.081	-\$127.107	-\$72.124
2018	\$2,265.934	\$0.000	\$2,126.801	\$139.134	\$139.134	\$70.489	\$7.659	\$2,143.786	\$122.148	\$114.489	\$58.004
2019	\$2,412.546	\$0.000	\$2,233.878	\$178.667	\$178.667	\$80.820	\$61.446	\$2,258.986	\$153.560	\$92.114	\$41.668
2020	\$2,573.450	\$0.000	\$2,346.415	\$227.035	\$227.035	\$91.696	\$83.201	\$2,359.417	\$214.034	\$130.833	\$52.841
2021	\$2,751.828	\$0.000	\$2,464.718	\$287.110	\$287.110	\$103.535	\$21.929	\$2,462.217	\$289.611	\$267.682	\$96.529
2022	\$2,949.972	\$83.042	\$2,589.179	\$360.794	\$277.752	\$89.429	\$0.000	\$2,591.074	\$358.899	\$358.899	\$115.556
2023	\$3,161.960	\$0.000	\$2,715.594	\$446.367	\$446.367	\$128.320	\$0.000	\$2,732.024	\$429.937	\$429.937	\$123.597
2024	\$3,382.996	\$4.007	\$2,852.372	\$530.623	\$526.616	\$135.169	\$89.148	\$2,879.157	\$503.838	\$414.690	\$106.441
2025	\$3,609.351	\$0.000	\$2,995.935	\$613.416	\$613.416	\$140.579	\$40.655	\$3,003.150	\$606.201	\$565.546	\$129.609
2026	\$3,834.455	\$51.205	\$3,147.083	\$687.371	\$636.166	\$130.172	\$0.000	\$3,142.962	\$691.492	\$691.492	\$141.493
2027	\$4,059.109	\$0.000	\$3,302.828	\$756.281	\$756.281	\$138.170	\$10.953	\$3,301.416	\$757.693	\$746.739	\$136.426
2028	\$4,286.254	\$171.204	\$3,472.702	\$813.552	\$642.349	\$104.781	\$30.679	\$3,467.359	\$818.895	\$788.217	\$128.575
2029	\$4,522.753	\$0.000	\$3,634.976	\$887.777	\$887.777	\$129.300	\$0.000	\$3,640.306	\$882.447	\$882.447	\$128.523
2030	\$4,774.227	\$0.000	\$3,818.258	\$955.969	\$955.969	\$124.314	\$0.000	\$3,823.960	\$950.267	\$950.267	\$123.572
2031	\$5,041.842	\$83.042	\$4,011.094	\$1,030.747	\$947.706	\$110.035	\$59.866	\$4,017.320	\$1,024.522	\$964.657	\$112.003
					VPN	\$1,403.519				VPN	\$1,444.932
					TIR	30.1%				TIR	99.9%

Figura 7.8. Tablas del análisis costo/beneficio.

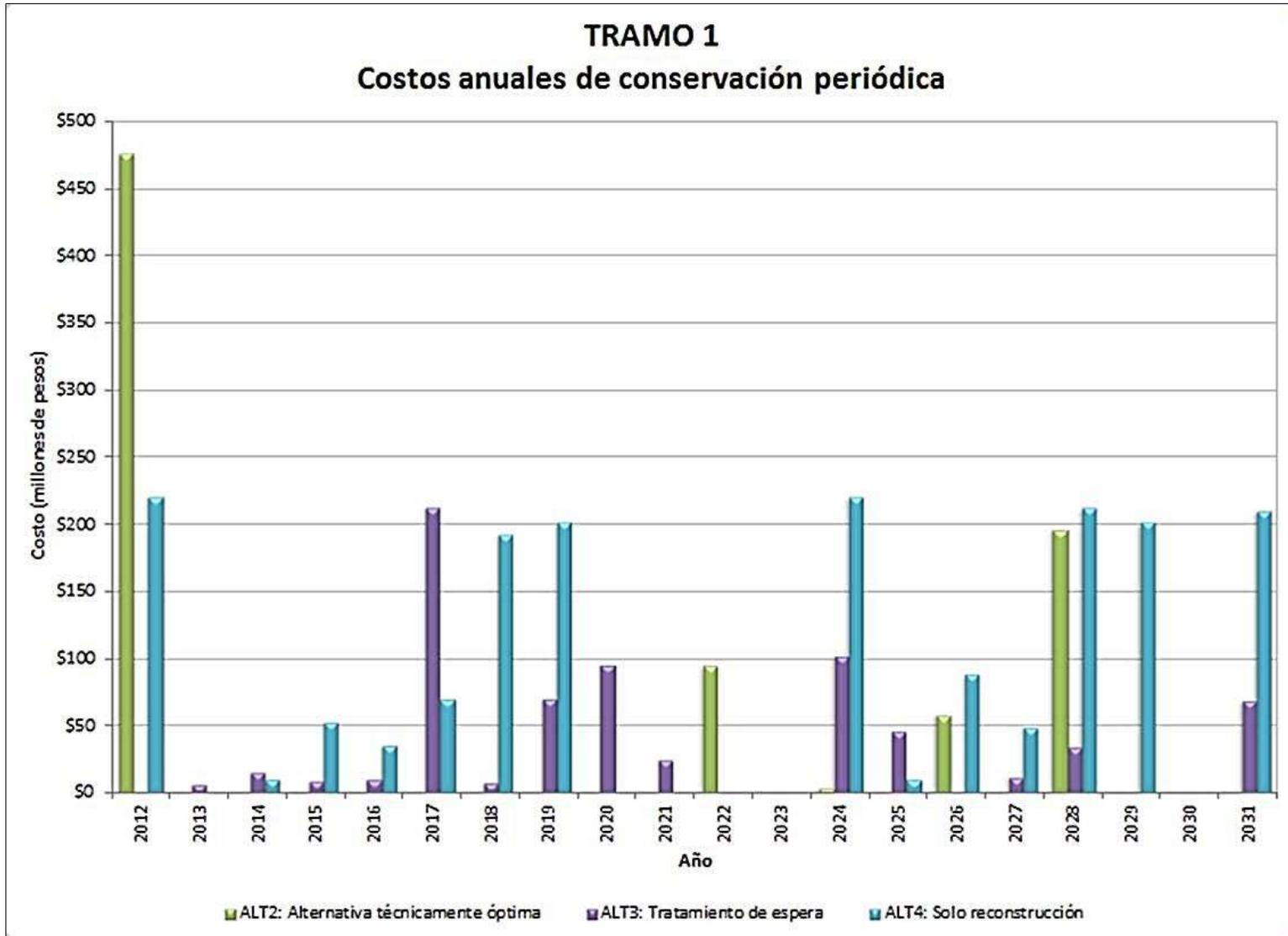


Figura 7.9. Costos anuales de implementación de las alternativas.

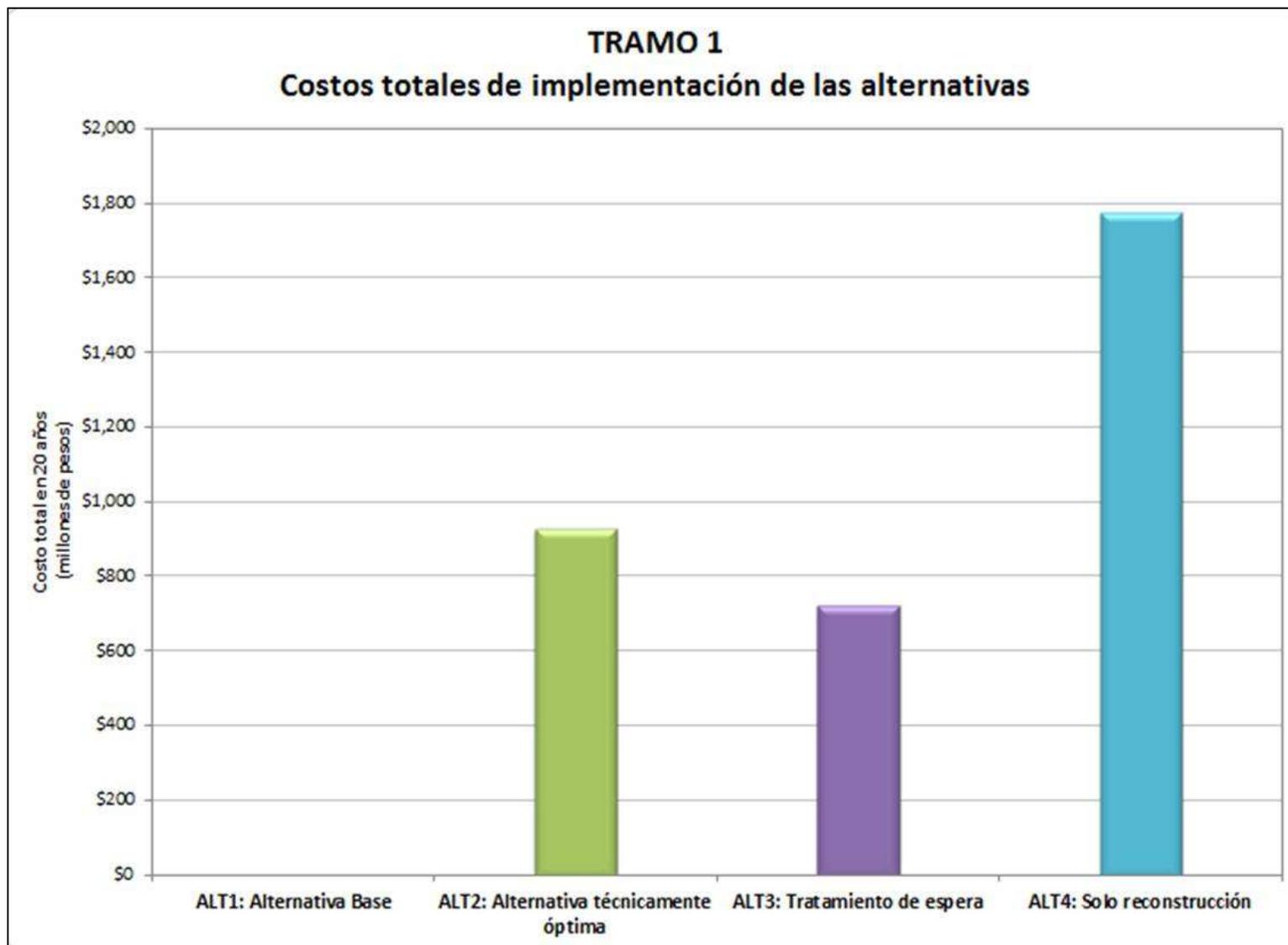


Figura 7.10. Costos totales de implementación de las alternativas para el periodo de análisis.

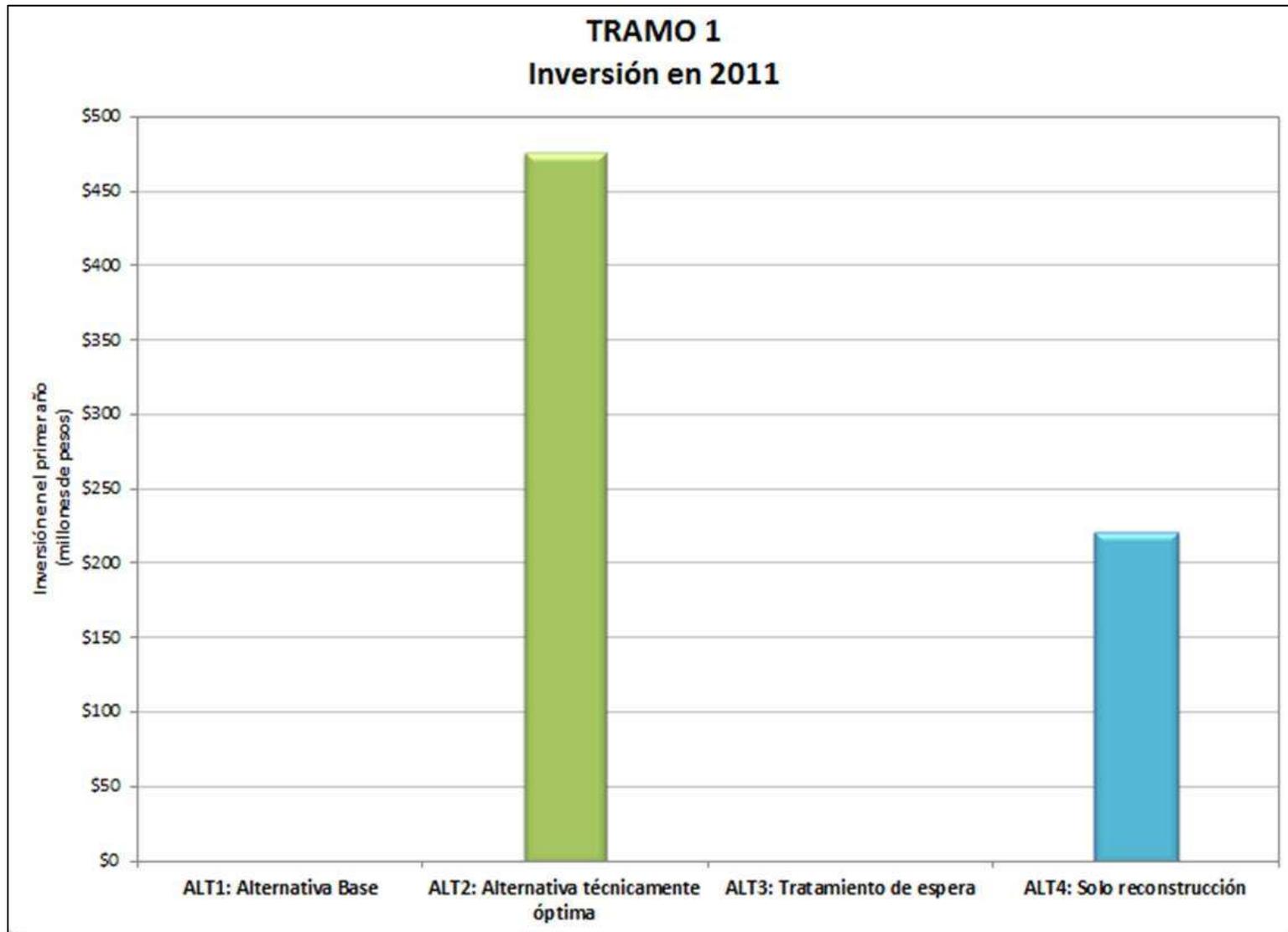


Figura 7.11. Inversiones en el primer año por alternativa.

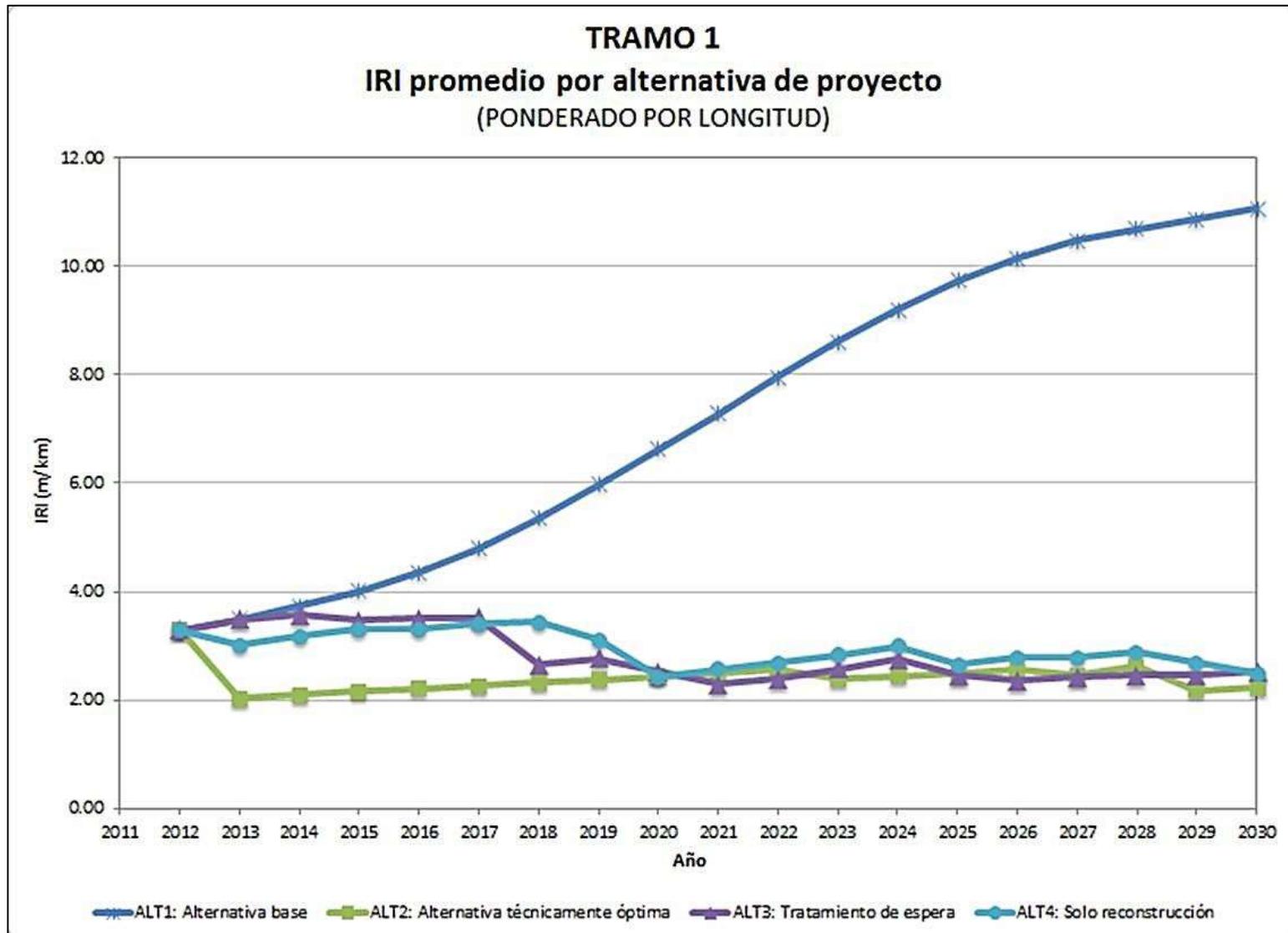


Figura 7.12. IRI promedio ponderado por alternativa para el periodo de análisis.

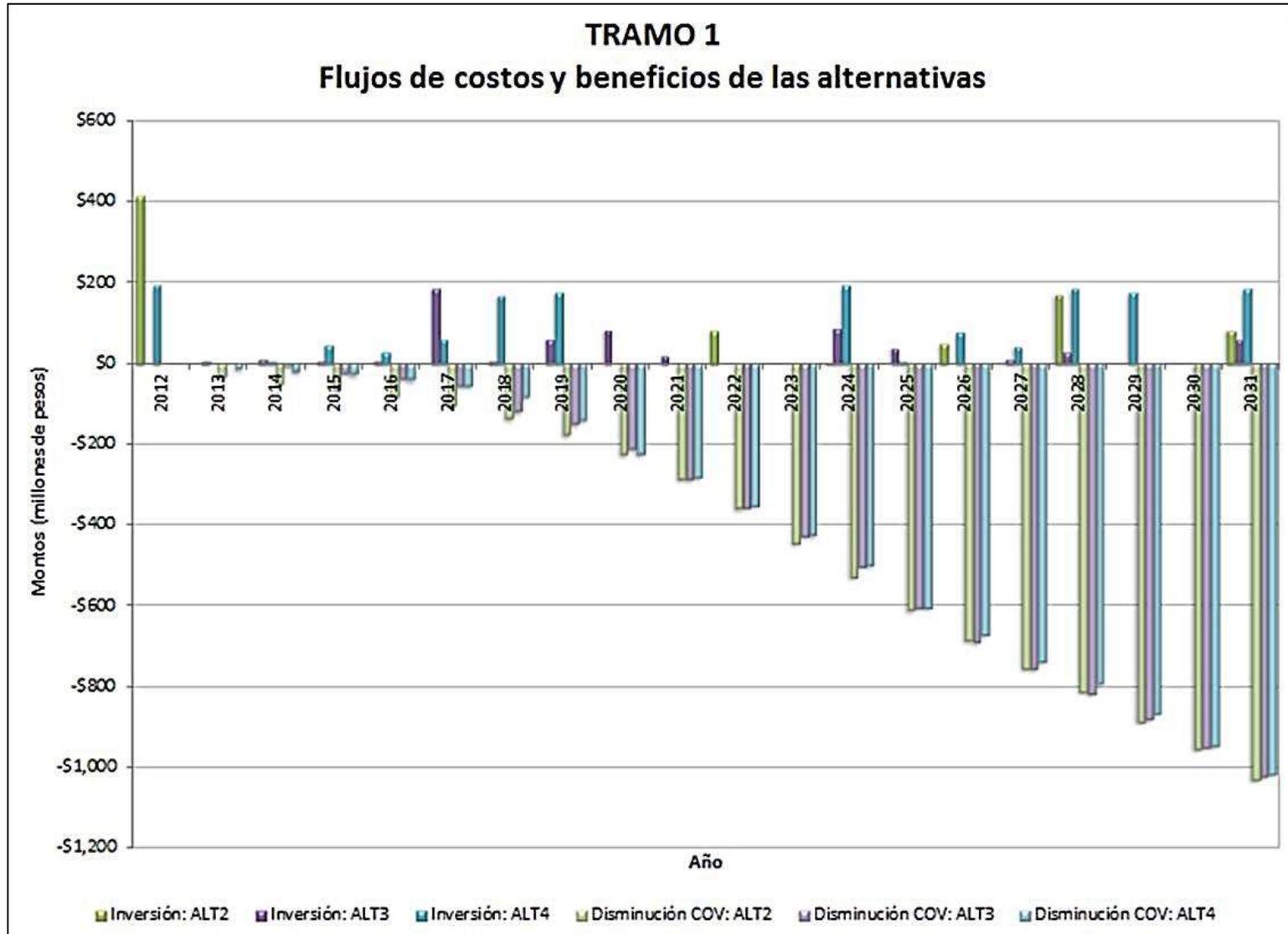


Figura 7.13. Gráfica de flujos de costos y beneficios de las alternativas.

- Abrir la base de datos de Access que contiene de las tablas vinculadas y las consultas.
- Actualizar las referencias de las tablas vinculadas usando el “administrador de tablas vinculadas” de la pestaña “datos externos”, de manera que apunten al directorio en el que se encuentran los archivos de resultados de HDM-4 de cada autopista.
- Verificar que las consultas se actualizan apropiadamente.
- Abrir el archivo que contiene el patrón de libro de Excel con macros destinado a la generación del informe y guardarlo con un nuevo nombre representativo de cada autopista.
- Actualizar las referencias de las tablas contenidas en el informe a las consultas de la base de datos, utilizando la opción “actualizar todos” de la pestaña “datos”.
- Actualizar los larguillos de los programas de obra presionando el botón “actualizar larguillos” colocado en la hoja “resumen costos”.
- Guardar el informe.
- Repetir los pasos anteriores para todas las autopistas de la red.

El anteproyecto de presupuesto que se genera con los procedimientos descritos en este inciso corresponde al programa de obra de la alternativa técnicamente óptima para el primer año. El uso de esta alternativa como base para la integración del anteproyecto responde al supuesto de que una red de autopistas debe proveer siempre servicios carreteros de alta calidad.

Las alternativas adicionales se incluyeron en el análisis con un doble propósito. Por un lado, mostrar a los tomadores de decisiones las consecuencias de aplicar estándares de conservación que no permiten mantener los niveles de servicio establecidos por la autoridad durante todo el periodo de análisis. Estas consecuencias pueden visualizarse con claridad en la gráfica del IRI promedio ponderado por alternativa (Figura 7.12). Por otro lado, las alternativas adicionales ponen a disposición del analista opciones de intervención para aquellos casos en que no se disponga de los recursos necesarios para implementar la alternativa técnicamente óptima.

Al revisar los análisis costo/beneficio puede observarse que, en muchos casos, las alternativas diferentes de la alternativa técnicamente óptima generan mejores indicadores de rentabilidad social. Al sopesar estos resultados debe recordarse que la rentabilidad social no puede considerarse como el criterio de decisión más importante para definir el programa de conservación de una red de autopistas, ya

que los operadores de este tipo de infraestructura están obligados a ofrecer altos estándares de servicio en forma permanente.

8 Conclusiones

De la realización del presente trabajo se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) En el medio carretero mexicano prevalece una tendencia a considerar los equipos de medición y las herramientas informáticas como los componentes más importantes de los sistemas de gestión de carreteras. Sin menospreciar la importancia de estos elementos, los autores consideran que la utilidad de ambos puede ser muy limitada si no se respalda con la adopción de procedimientos de trabajo formales que orienten sobre su uso.
- b) Para que un sistema de gestión se consolide como parte de los procesos institucionales de una organización de carreteras, es necesario contar con el apoyo de la dirección de la organización para que los procedimientos a que se refiere el párrafo anterior puedan aplicarse de manera ininterrumpida.
- c) Dados los estándares de servicio con los que debe cumplir una autopista, se requiere identificar, por un lado, el tipo de obras de conservación más adecuadas (incluyendo su frecuencia de aplicación) para mantener esos estándares y, por otro, los criterios para evaluar la viabilidad técnica y económica de esas obras, criterios que no pueden ser iguales a los que se aplican en carreteras convencionales.

En particular, es necesario tener presente que, en el caso de las autopistas, el uso de la rentabilidad social como criterio único de decisión no siempre conduce a la selección de alternativas técnicamente adecuadas para este tipo de infraestructura.

- d) Como ha quedado de manifiesto en el desarrollo del presente trabajo, la preparación de información puede ser una de las tareas más complejas en el proceso de aplicación de una herramienta como HDM-4. Por lo anterior, el manejo de esta información normalmente requiere el uso de un sistema informático separado que permita mantener un inventario confiable de la red carretera y acometer con oportunidad tareas de procesamiento de datos como las descritas en los capítulos 5 y 6.
- e) En concordancia con lo expresado en el inciso c, los resultados de un análisis de programas de HDM-4 no pueden usarse de manera directa en la formulación de un anteproyecto de conservación de autopistas, ya que normalmente excluyen las obras que no resultan rentables desde el punto de vista social, lo que puede llevar a algunos tramos a un nivel de deterioro

inaceptable con referencia a los estándares de desempeño que deben cumplir las autopistas. Por lo anterior, en este trabajo se ha propuesto un enfoque alternativo en el que se formula un programa de referencia basado en obras que garanticen que las autopistas se mantengan en buen estado, y el criterio de rentabilidad social se utiliza únicamente para la priorización de las obras.

- f) La aplicación de enfoques alternativos para la formulación de anteproyectos de presupuesto basados en HDM-4, normalmente requieren el desarrollo de herramientas informáticas adicionales para el post-proceso de los resultados del sistema.
- g) A pesar de las limitaciones mencionadas para la aplicación de HDM-4 a la conservación de autopistas, este sistema constituye una herramienta de análisis muy útil en virtud de que provee componentes como modelos de deterioro de pavimentos, modelos para el cálculo de costos de usuario y rutinas para la obtención de flujos de costos y beneficios que son indispensables en la evaluación de alternativas de conservación.
- h) Para dar certeza a los ejercicios de planeación y programación que actualmente se realizan con HDM-4 en la nación, es necesario realizar esfuerzos para calibrar los modelos utilizados por el sistema a las condiciones de nuestro país.

Bibliografía

- AASHTO, 1986. *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington(D.C.): American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AIPCR, 2012. *Ficha término | Terminología*. [En línea]
Available at: <http://www.piarc.org/es/terminologia/ficha-termino/5-es-autopista.htm?>
[Último acceso: 9 febrero 2012].
- Arroyo Osorno, J. A., Aguerrebere Salido, R. & Torres Vargas, G., 2010. *Publicación técnica no. 337: Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2010*, San Fandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Barousse Moreno, M. & Galindo Solórzano, A., 1994. *Publicación técnica no. 49: Sistema de Administración de Puentes (SIAP)*, Querétaro, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Bennett, C., s.f. *Sectioning of Road Data for Pavement Management*, Washington, D.C., Estados Unidos de América: The World Bank.
- CAPUFE, 2010. *wwwCapufe > Actividades e Infraestructura*. [En línea]
Available at:
<http://www.capufe.gob.mx/portal/site/wwwCapufe/menuitem.f64197eabf52d3d05a034bd7316d8a0c/>
[Último acceso: 13 Febrero 2010].
- Escalante Sauri, C. I., 2002. *La conservación de carreteras en México: la experiencia reciente*. México, D.F., México: Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (AMIVTAC).
- Fridtjof, T., 2004. *Generating Homogeneous Road Sections Based on Surface Measurements: Available Methods*. Berlín, Alemania, 2nd European Pavement and Asset Management Conference.
- García, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Cuarta ed. México(D.F.): s.n.
- Gobierno del Estado de Chiapas, 2005. *Programa estatal de ordenamiento territorial 2005*. Primera ed. Tuxtla Gutiérrez(Chiapas): Gobierno del Estado de Chiapas.

- Haas, R., Hudson, W. R. & Falls, L. C., 2011. *Evolution of and Future Challenges for Pavement Management*. Santiago, Chile, Transportation Research Board, p. 14.
- INEGI, 2000. *Base de datos climáticos: Diccionario de datos climáticos escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 (vectorial)*, s.l.: INEGI.
- INEGI, 2011. *Climatología*. [En línea]
Available at:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/default.aspx>
[Último acceso: 23 08 2012].
- Kerali, H. G. R., Odoki, J. B. & Stannard, E., 2006. *The Highway Development and Management Series. Volume One: Overview of HDM-4*. París: The World Road Association (PIARC).
- Martínez Antonio, J. J. y otros, 2009. *Manual Estadístico del Sector Transporte 2009*, San Fandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Mendoza Puga, L. E., 2010. Implementación de un sistema de gestión de pavimentos. *Vías Terrestres*, Issue 8, pp. 8-11.
- Odoki, J. B. & Kerali, H. G. R., 2006. *The Highway Development and Management Series, Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions*. París: The World Road Association (PIARC).
- Osio Méndez, J. M., 2010. Aplicación en México del HDM-4 en la planeación de la conservación de carreteras. *Vías Terrestres*, Issue 7, pp. 24-28.
- Rico Rodríguez, A., Orozco y Orozco, J. M., Téllez Gutiérrez, R. & Pérez García, A., 1990. *Documento técnico no. 3: Primera fase Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP)*, San Fandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Sayers, M. W. & Karimbas, S. M., 1998. *The Little Book of Profiling: basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*. s.l.:University of Michigan.
- SCT, 2009. *Red nacional de carreteras: el sector carretero en México 2009*, México, D.F., México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- Solorio Murillo, J. R., Hernández Domínguez, R. I. & Gómez López, J. A., 2004. *Publicación técnica no. 253: Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos*, San Fandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, Enero, 38(1), pp. 55-94.

- U.S. Department of Transportation, 1999. *Asset Management Primer*, U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration.
- U.S. Department of Transportation, 2003. *Economic Analysis Primer*, Washington, D.C., Estados Unidos de América: U.S. Department of Transportation.

Anexo A Descripción de campos para categorías adicionales de la tabla *SECTIONS*

DATOS GEOMÉTRICOS			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
DIRECTION	Todas	Dirección del tránsito en el tramo (un sentido descendente, un sentido ascendente o dos sentidos; ver Anexo C)	Sí
RF	Todas	Promedio de ascensos y descensos, en m/km	Sí
NUM_RFS	Todas	Número promedio de ascensos y descensos por kilómetro.	
SUPERELEV	Todas	Sobrelevación (%)	
CURVATURE	Todas	Curvatura horizontal (deflexión promedio), en °/km	Sí
SIGM_ADRAL	Todas	Ruido de aceleración natural debido al comportamiento del conductor y al alineamiento de la carretera, en m/s ²	
SPEED_LIM	Todas	Límite de velocidad, en km/h	
ENFORCEMNT	Todas	Factor de cumplimiento del límite de velocidad. Es la relación entre la velocidad media y el límite de velocidad. Tiene un valor típico de 1.1 porque los usuarios fácilmente exceden el límite	
XNMT	Todas	Reducción de velocidad del tránsito motorizado debida al transporte no motorizado (1=sin reducción; 0.6=reducción significativa)	
XMT	Todas	Reducción de velocidad del tránsito no motorizado debida al transporte motorizado (valor por omisión=1.0)	
XFRI	Todas	Fricción lateral, es decir, reducción de la velocidad del tránsito motorizado debido a actividades al lado de la carretera (1=sin fricción lateral; 0.6=fricción lateral significativa)	

DATOS DEL PAVIMENTO			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
HSNEW	Asfáltica	Espesor de carpeta más reciente, en mm	Sí
HSOLD	Asfáltica	Espesor de las carpetas subyacentes a la actual, en mm	Sí
HBASE	Asfáltica	Espesor de base del pavimento original, en mm (sólo para bases estabilizadas)	Sí
RES_MODULU	Asfáltica	Módulo resiliente de base estabilizada, en GP	Sí
REL_COMPCT	Asfáltica	Compactación relativa de las capas de base, subbase y subrasante, en %	
SNP_DERIVE	Asfáltica	Método para calcular el SNP, número estructural ajustado (número estructural especificado directamente, coeficientes de capa, Viga Benkelman o FWD; ver anexo A)	Sí
SN	Asfáltica	Número estructural de las capas superiores del pavimento (usado para calcular el SNP, de acuerdo con el método de derivación elegido)	
CBR	Asfáltica	Valor relativo de soporte (usado para calcular SNP, de acuerdo con el método de derivación elegido)	
SNP_DRY	Asfáltica	VERDADERO si el SNP especificado corresponde a la estación seca, FALSO si corresponde a la estación húmeda	Sí
D0	Asfáltica	Deflexión de FWD medida en el punto de aplicación de la carga para 700 kPa (usada para calcular SNP)	Sí
BENKEL_DEF	Asfáltica	Deflexión de Viga Benkelman bajo 80 kN de carga, 520 kPa de presión de inflado y 30°C de temperatura promedio de la capa asfáltica (mm)	
SURF_STREN	Asfáltica	Coeficiente de resistencia de la carpeta (usado para calcular SNP)	
BASE_STREN	Asfáltica	Coeficiente de resistencia de la base (usado para calcular SNP)	
SUBB_STREN	Asfáltica	Coeficiente de resistencia de la subbase (usado para calcular SNP)	
HSUBBASE	Asfáltica	Espesor de la subbase, en mm (usado para calcular SNP)	
SURF_THICK	Concreto	Espesor de la losa (mm)	Sí
SLAB_LENTH	Concreto	Longitud de la losa (m)	Sí
BASE_THICK	Concreto	Espesor de la base (mm)	Sí
BASE_MODUL	Concreto	Módulo de la base (MPa)	Sí
CNSTR_YEAR	Concreto	Año de construcción	Sí
SUBG_MATRL	No pavimentada	Material de la subrasante para carreteras no pavimentadas (ver anexo C)	Sí
COMPMETHOD	No pavimentada	Método de compactación (mecánico o no mecánico; ver anexo C)	Sí

DATOS DE CONDICIÓN DEL TRAMO			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
COND_YEAR	Asfáltica	Año para el cual aplican los datos de condición definidos en los campos que siguen	Sí
ROUGHNESS	Todas	Regularidad expresada en términos del Índice de Regularidad Internacional (IRI), en m/km	Sí
CRACKS_ACA	Asfáltica	Área total de agrietamiento estructural, como porcentaje del área total de la calzada	Sí
CRACKS_ACW	Asfáltica	Área de agrietamiento estructural ancho, como porcentaje del área total de la calzada	Sí
CRACKS_ACT	Asfáltica	Área de agrietamiento térmico, como porcentaje del área total de la calzada	Sí
RAVEL_AREA	Asfáltica	Área con desprendimientos de agregado pétreo, como porcentaje del área total de la calzada	Sí
PHOLE_NUM	Asfáltica	Número de baches unitarios de 0.1 m ² por kilómetro	Sí
EDGEBREAK	Asfáltica	Área con rotura de borde, en m ² /km	Sí
RUT_DEPTH	Asfáltica	Profundidad media de roderas, en mm	Sí
RUTDEPTH_SD	Asfáltica	Desviación estándar de la profundidad de roderas, en mm	Sí
TEXT_DEPTH	Asfáltica	Profundidad de la textura, en mm	Sí
SKIDRESIST	Asfáltica	Resistencia al deslizamiento (SCRIM a 50 km/h)	Sí
DRAIN_COND	Asfáltica	Condición del drenaje (usada para determinar valores para los factores de drenaje DF _{min} , DF _{max} ; ver anexo A)	Sí
FAULTING	Concreto	Escalonamiento promedio (mm)	Sí
SPALL_JNTS	Concreto	Juntas despostilladas (%)	Sí
CRACKSLABS	Concreto	Losas agrietadas (%)	Sí
DETERCRACK	Concreto	Grietas deterioradas (no./km)	Sí
FAILURES KM	Concreto	Fallas (no./km)	Sí
GRAV_THICK	No pavimentada	Espesor de grava, en mm	Sí

OTROS DATOS			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
LAST_CONST	Asfáltica	Año de los últimos trabajos de reconstrucción o construcción nueva	Sí
LAST_SURF	Asfáltica	Año del último tratamiento superficial	Sí
LAST_PRVNT	Asfáltica	Año del último tratamiento preventivo	Sí
LAST_REHAB	Asfáltica	Año de la última rehabilitación	Sí
PREV_ACA	Asfáltica	Área total de agrietamiento estructural antes del último resello o sobrecarpeta, como porcentaje del área total de la calzada	
PREV_ACW	Asfáltica	Área de agrietamiento estructural ancho antes del último resello o sobrecarpeta, como porcentaje del área total de la calzada	
PREV_NCT	Asfáltica	Número de grietas térmicas transversales antes de la última sobrecarpeta o reposición de la capa superficial (no./km)	
LASTGRAVEL	No pavimentada	Año de la última recarga	
DRAIN_TYPE	Asfáltica	Tipo de drenaje (usado para determinar valores para los factores de drenaje DF_{min} , DF_{max} ; ver anexo A)	Sí
ALTITUDE	Todas	Elevación del tramo carretero sobre el nivel medio del mar, en m	
SHOULDTYPE	Concreto	Tipo de acotamiento (ver anexo A)	
WIDN_WIDTH	Concreto	Ancho de ampliación (m)	
EDGEDRAINS	Concreto	VERDADERO si existen drenes laterales, FALSO en caso contrario	
NMT_SEPAR	Todas	VERDADERO si existen carriles separados para tránsito no motorizado, FALSO en caso contrario	
NMTLANES	Todas	Número de carriles para tránsito no motorizado	
ELANES	Asfáltica, concreto	Número efectivo de carriles	Sí
CALIB_ITEM	Todas	Nombre del juego de calibración del tramo	Sí

DATOS DE VALUACIÓN DE ACTIVOS			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
REPCOST	Todas	Costo de remplazo	
CONDBASED	Todas	VERDADERO si se emplea el método de valuación basado en la condición, FALSO si se emplea el método basado en la producción	
INIROUGH	Todas	Regularidad inicial, expresada en términos del IRI (m/km)	
TERROUGH	Todas	Regularidad terminal, expresada en términos del IRI (m/km)	
RDFOSBGR_PPRECO	Todas	Costo de remplazo del terreno y la subrasante	
RDPVLA_PPRECO	Todas	Costo de remplazo de las capas del pavimento	
FTCYCLE_PPRECO	Todas	Costo de remplazo de andadores, senderos y ciclistas (carriles de TNM)	
BRDGSTR_PPRECO	Todas	Costo de remplazo de puentes y estructuras	
TRFSGN_PPRECO	Todas	Costo de remplazo de dispositivos de tránsito, señales y equipamiento	
RDFOSBGR_RESVAL	Todas	Valor residual del terreno y la subrasante	
RDPVLA_RESVAL	Todas	Valor residual de las capas del pavimento	
FTCYCLE_RESVAL	Todas	Valor residual de andadores, senderos y ciclistas (carriles de TNM)	
BRDGSTR_RESVAL	Todas	Valor residual de puentes y estructuras	
TRFSGN_RESVAL	Todas	Valor residual de dispositivos de tránsito, señales y equipamiento	
RDFOSBGR_USELFE	Todas	Vida útil del terreno y la subrasante	
RDPVLA_USELFE	Todas	Vida útil de las capas del pavimento	
FTCYCLE_USELFE	Todas	Vida útil de andadores, senderos y ciclistas (carriles de TNM)	
BRDGSTR_USELFE	Todas	Vida útil de puentes y estructuras	
TRFSGN_USELFE	Todas	Vida útil de dispositivos de tránsito, señales y equipamiento	
RDFOSBGR_AGE	Todas	Edad del terreno y la subrasante con respecto al año base para el cálculo de la edad de las componentes	
RDPVLA_AGE	Todas	Edad de las capas del pavimento con respecto al año base para el cálculo de la edad de las componentes	
FTCYCLE_AGE	Todas	Edad de andadores, senderos y ciclistas (carriles de TNM) con respecto al año base para el cálculo de la edad de las componentes	
BRDGSTR_AGE	Todas	Edad de puentes y estructuras con respecto al año base para el cálculo de la edad de las componentes	
TRFSGN_AGE	Todas	Edad de dispositivos de tránsito, señales y equipamiento con respecto al año base para el cálculo de la edad de las componentes	
COMPAGEYEAR	Todas	Año base para el cálculo de la edad de las componentes de activos	
USFLFEUNIT	Todas	Unidad de la vida útil de las capas del pavimento para el método de análisis basado en la producción (años o millones de ejes equivalentes)	

IDENTIFICADOR DE SEGMENTO			
Campo	Clase de superficie	Descripción	Mod.
ID	Todas	Identificador numérico único del tramo, usado internamente para vincular la tabla SECTIONS con la tabla TRAFFIC	

Anexo B Campos de la tabla *SECTIONS* con claves numéricas

Clase de superficie

- 0 - Asfáltica
- 1 - No pavimentada
- 2 - Concreto

Tipo de pavimento asfáltico

- 0 - AMBG (Mezcla asfáltica sobre base granular)
- 1 - AMAB (Mezcla asfáltica sobre base asfáltica)
- 2 - AMAP (Mezcla asfáltica sobre pavimento asfáltico)
- 3 - AMSB (Mezcla asfáltica sobre base estabilizada)
- 4 - STBG (Tratamiento superficial sobre base granular)
- 5 - STAB (Tratamiento superficial sobre base asfáltica)
- 6 - STAP (Tratamiento superficial sobre pavimento asfáltico)
- 7 - STSB (Tratamiento superficial sobre base estabilizada)

Tipo de carretera no pavimentada

- 0 - Grava
- 1 - Tierra
- 2 - Arena

Tipo de pavimento de concreto

- 0 - JPCP (Pavimento de concreto con juntas y pasajuntas)
- 1 - JPCP (Pavimento de concreto con juntas y sin pasajuntas)
- 2 - JRCP (Pavimento de concreto reforzado con juntas)
- 3 - CRCP (Pavimento de concreto continuamente reforzado)

Dirección del flujo

- 0 - Un solo sentido, ascendente
- 1 - Un solo sentido, descendente
- 2 - Doble sentido

Material de superficies asfálticas

- 0 - AC (Concreto asfáltico)
- 1 - HRA (Mezcla asfáltica compactada en caliente)
- 2 - PMA (Asfalto modificado con polímeros)
- 3 - RAC (Concreto asfáltico ahulado)
- 4 - CM (Mezcla asfáltica en frío)
- 5 - PA (Asfalto poroso)
- 6 - SMA (*Stone Mastic Asphalt*)
- 7 - SBSA (Riego de sello sencillo)
- 8 - DBSA (Riego de sello doble)
- 9 - CAPE (Riego de sello y lechada asfáltica)
- 10 - SL (Mortero asfáltico)
- 11 - PM (Macadam de penetración)

Material de superficies no pavimentadas

- 0 - Grava laterítica
- 1 - Grava de cuarcita
- 2 - Gravas volcánicas anguladas
- 3 - Gravas de coral anguladas

Procedimiento para obtener SNP

- 0 – SNP especificado por el usuario
- 1 - Coeficientes de capa
- 2 - Viga Benkelman
- 3 - Deflectómetro de impacto

Material de subrasante para pavimentos de concreto

- 0 - Fino
- 1 - Granular

Material de subrasante para carreteras no pavimentadas

- 0 - Gravas-arenas bien graduadas con poco contenido de arcilla (GC)
- 1 - Mezclas de grava-arena con exceso de finos (GF)
- 2 - Arenas con exceso de finos (SF)
- 3 - Limos arcillosos inorgánicos (CL)
- 4 - Arcillas inorgánicas de plasticidad media (CI)
- 5 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH)

Método de compactación

- 0 - Mecánico
- 1 - No mecánico

Condición del drenaje

- 0 - Excelente
- 1 - Buena
- 2 - Regular
- 3 - Mala
- 4 - Muy mala

Intervalo entre reparaciones (patching)

- 0 - < 2 semanas
- 1 - 1 mes
- 2 - 2 meses
- 3 - 3 meses
- 4 - 4 meses
- 5 - 6 meses
- 6 - 12 meses

Tipo de drenaje

- 0 – Alineado y continuo
- 1 - Alineado con la superficie
- 2 - En “V” revestido
- 3 - En “V” no revestido
- 4 – Poco profundo, revestido
- 5 - Poco profundo, no revestido
- 6 – Requerido pero ausente
- 7 - Sin efectos de drenaje

Tipo de acotamientos para pavimentos de concreto

- 0 - No concreto
- 1 - De concreto, no ligados
- 2 - De concreto, ligados

Tipo de superficie para el carril NMT

- 0 - Asfáltica
- 1 - Concreto
- 2 - Adoquín
- 3 - Grava
- 4 - Tierra
- 5 – Arena

Tipo de base para pavimentos de concreto

- 0 - Granular
- 1 - Estabilizada con asfalto
- 2 - Estabilizada con cemento

Tipo de sello de juntas para pavimentos de concreto

- 0 - Silicón
- 1 - Asfalto
- 2 - Prefabricado
- 3 - Ninguno

Colocación del acero en concretos reforzados

- 0 - Silletas
- 1 - Fundas

Categorías de vehículos

- 0 - Motorizados (MT)
- 1 - No motorizados (NM)
- 2 - TDPA motorizado sin asignar
- 3 - TDPA no motorizado sin asignar

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671



**INSTITUTO
MEXICANO DE
TRANSPORTE**



www.imt.mx
publicaciones@imt.mx