



Metodología simplificada de preparación y evaluación de proyectos de mantenimiento vial urbano

Introducción

Generalidades

La presente metodología se basa en la desarrollada en el estudio denominado: *Estudio de Mantenimiento Vial Urbano (MANVU)*, desarrollado por la firma consultora R&Q Ingeniería Ltda.¹ cuyo objetivo final fue el diseño y evaluación de un programa de inversiones en conservación y rehabilitación de vías urbanas, a nivel nacional. Para lograr dicho objetivo, fue necesario diseñar una metodología para diagnosticar el estado actual de los pavimentos, pronosticar su evolución, y desarrollar un modelo de evaluación que permitiera comparar varias políticas de mantenimiento y determinar la política óptima para cada caso, en base a criterios técnico - económicos.

La metodología que se expone en el presente documento corresponde a una versión simplificada de la mencionada precedentemente (MANVU), y extrae de ésta los elementos fundamentales que deben considerarse en la formulación y evaluación de proyectos de mantenimiento vial urbano.

El objetivo de presentar esta versión simplificada, es entregar una herramienta metodológica que sea operativa, autosuficiente y que pueda ser utilizada a nivel local. Su aplicación tiene por objeto la priorización entre distintos proyectos de conservación dentro de una unidad de análisis, entendiéndose por tal un sector de la ciudad, una comuna, una localidad o ciudad. Dicha priorización tiene como fin último una mejor asignación de los recursos disponibles.

¹ Dicho estudio puede ser consultado en la División de Política Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.



La presente “Metodología Simplificada de Preparación y Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano (MANVUSIMP)” corresponde a una versión modificada de la metodología original luego de haberla aplicado, como experiencia piloto, en tres ciudades del país. Por esta razón y en virtud a que se están realizando estudios complementarios sobre la materia, es posible que a futuro se introduzcan nuevos cambios, por lo cual el presente documento se ha diseñado en forma flexible de modo que sea posible actualizarlo, básicamente a través del reemplazo de Anexos.

Esta Metodología es válida para analizar proyectos de mantenimiento vial urbano **sólo para vías pavimentadas en asfalto u hormigón** y tiene como fin último definir un programa de conservación de la red vial urbana, para una cierta Unidad de Análisis predefinida.

Tipologías de proyectos

Los proyectos de mantenimiento vial urbano comprenden acciones sobre la red vial que van desde la conservación rutinaria y/o periódica hasta acciones de rehabilitación física y/u operacional de estas vías. Las tipologías de proyectos asociadas a dichas acciones son las siguientes:

Conservación y reparación de pavimentos

Su objetivo es mantener estándares o niveles de servicio mínimos, prolongar la vida útil del pavimento existente o evitar su deterioro anticipado. Corresponde a obras menores de mantenimiento y como tal, se presentan bajo la forma de un programa anual.

Reposición de pavimentos

Su objetivo es recuperar la calidad y nivel de servicio original de la vía. Corresponde a la renovación total de la calzada sin modificación de su capacidad.



Mejoramiento de la red vial

Su objetivo es mejorar la capacidad y/o calidad de un servicio existente. Considera un conjunto de acciones que modifican las características físicas y/u operacionales de la vía, pudiendo incluir la reposición de pavimentos.

En esta metodología se presenta un procedimiento para identificar y formular proyectos de “Conservación” y “Reposición” de pavimentos. Los proyectos de “Mejoramiento” si bien pueden ser identificados a través de esta metodología, posteriormente deben ser formulados y evaluados de acuerdo a la metodología de Vialidad Urbana.



Teoría sobre la cual se basa la Metodología

En este capítulo se presenta en forma resumida los fundamentos teóricos sobre los cuales se basa la metodología desarrollada en el estudio MANVU para evaluar políticas de conservación en proyectos de mantenimiento vial urbano.

Los beneficios de un proyecto de inversión en mantenimiento vial urbano, considerados en forma amplia, están constituidos por la reducción de los costos de transporte y por el conjunto de los demás efectos positivos que, desde el punto de vista económico, se producen como consecuencia de la realización de dicho proyecto.

Esta definición de beneficios es limitada, por cuanto supone una demanda constante, en tanto no considera efectos tales como generación de tránsito, transferencias de tránsito o cambios en la elección de modo de transporte de los usuarios.

Se define como costos de un proyecto, en sentido económico, los recursos reales utilizados y los efectos negativos que, de una u otra forma, se derivan de la realización del proyecto.

En el caso de los proyectos de mantenimiento vial, cuya variable fundamental es el estado de la carpeta, la metodología de análisis y evaluación consiste en determinar los beneficios provenientes de los ahorros de costos de operación de los vehículos por efecto del proyecto, versus los costos que implica su ejecución.

Los beneficios y costos aplicados en la evaluación son de tipo incremental (diferencia de beneficios y diferencia de costos). Estos se obtienen de comparar la situación **con proyecto** en relación a la situación **sin proyecto**.



En el estudio MANVU se definió una situación sin proyecto, que corresponde a la denominada “Política de Conservación 0” y que sirve de base de comparación para evaluar diversas políticas de conservación para casos tipo predefinidos.

Identificación de beneficios

Existen básicamente dos tipos de beneficios, aquellos cuantificables y aquellos no cuantificables o intangibles. En los proyectos de mantenimiento vial urbano, entre los cuantificables, se puede distinguir los siguientes:

Ahorro de tiempo de viaje de los usuarios

Este es un beneficio directo que se produce al modificar las características de diseño y construcción de la red vial y sus elementos; se mide a través de asignarle valor al tiempo de viaje de los distintos usuarios que transitan por la red.

Ahorro de costos de operación de los vehículos

Los costos de operación pueden clasificarse en dos grandes rubros.

Ahorro de costos de combustible de los vehículos: Corresponde al ahorro que se produce en el consumo de combustible de los vehículos, principalmente por efecto de mejoramiento de las características de diseño y construcción de la red vial y sus elementos.

Ahorro de otros costos de operación de los vehículos: Corresponde al ahorro proveniente de un menor consumo de repuestos, mano de obra, neumáticos, lubricantes, etc., producido por un mejoramiento en el estado de la carpeta de rodado, como consecuencia del proyecto.

Tanto el ahorro de tiempo de viaje de los usuarios, como el ahorro en el consumo de combustible de los vehículos, corresponden a beneficios que cobran especial relevancia en los proyectos cuya tipología es de



“Mejoramiento”. En cambio, el ahorro de otros costos de operación de vehículos es el más relevante en los proyectos cuya tipología es “Conservación”, “Reparación” y “Reposición” de vías.

Ahorro de costos de conservación de la vía

Corresponde a una eventual disminución en el costo de conservación de las vías, por causa del proyecto.

Beneficios Intangibles

El concepto de intangibles se refiere a la identificación de beneficios de difícil cuantificación, pero que pueden incidir en la decisión cuando se debe optar entre varias alternativas de proyecto. Entre éstos cabe mencionar el mejoramiento urbano, la reducción de la contaminación atmosférica, la protección del patrimonio arquitectónico, mayor seguridad para el usuario, etc.

En el estudio MANVU, también se consideraron “intangibles” aquellos beneficios derivados de un aumento de tránsito, que en términos estrictos son cuantificables.

Identificación de costos

Los ítemes de costos usualmente identificados en este tipo de proyectos se pueden clasificar en tres grandes rubros:

Costos de inversión

Corresponden a aquellos gastos en que se incurre para ejecutar el proyecto desde su inicio hasta que entra en operación. Dentro de este rubro se incluye los siguientes ítemes de costos: estudio de ingeniería, adquisición de terrenos, obras civiles, obras de arte, etc.



Costos de conservación

Los costos de conservación son aquellos que se producen a lo largo de la vida del proyecto con el objeto de mantener la calidad y el nivel del servicio de la vía. Se incluyen en este grupo el mantenimiento de las obras civiles (calzadas) y otros gastos como demarcación, señalización, etc. Estos costos se calculan tanto para la situación con proyecto como para la sin proyecto; por diferencia se obtienen los ahorros (beneficios) antes mencionados.

Costos intangibles

Corresponden a aquellos costos de difícil cuantificación, debido a su propia esencia o dificultades técnicas. La realización de un proyecto de esta naturaleza puede producir efectos ambientales negativos tales como: congestión vehicular en la etapa de inversión, contaminación atmosférica, intrusión visual, etc.

Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación corresponde al período definido para el cual se hará la evaluación del proyecto. El horizonte de análisis para este tipo de proyecto no debe superar los 10 años. Se supone que en ese período no se producirán cambios importantes que afecten los supuestos hechos al momento de evaluar.

Cabe señalar, sin embargo, que si el horizonte de evaluación utilizado es menor que la vida útil económica del proyecto, entonces corresponderá estimar su valor residual al término de dicho período.



Indicadores de rentabilidad

Para decidir la conveniencia de realizar un proyecto de inversión se puede utilizar diversos indicadores de rentabilidad. En general, todos consisten en comparar de alguna forma el flujo de beneficios con el flujo de costos. Los criterios de evaluación más utilizados en este tipo de proyectos son:

Valor actualizado neto (VAN)

Es igual a la diferencia entre los flujos de beneficios y costos del proyecto, actualizados a la tasa de descuento pertinente. En el estudio MANVU se le denomina Beneficios Netos Actualizados (BNA).

Razón beneficio - costo (B/C)

Es igual a la razón entre los flujos de beneficios y costos del proyecto, actualizados a la tasa de descuento pertinente.

Tasa interna de retorno (TIR)

Es aquella tasa de descuento que iguala los flujos actualizados de beneficios y costos del proyecto, lo que es lo mismo, aquella tasa con la cual se hace nulo el valor actual neto.

Para que un proyecto sea rentable, los valores de los indicadores deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} \text{VAN} &\geq 0 \\ \text{B} / \text{C} &\geq 1 \\ \text{TIR} &\geq r \end{aligned}$$

donde r es la tasa de descuento pertinente.



Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano 9

En el estudio MANVU se utiliza el indicador “Razón B/C” para elegir la política de conservación óptima y para priorizar entre proyectos. Las razones por las cuales se eligió este indicador, se explican en el punto denominado: “Evaluación de Tramos Preseleccionados”.



Preparación de proyectos

Síntesis

La metodología simplificada para evaluar proyectos de Mantenimiento Vial Urbano, está orientada a la formulación de un programa de conservación anual para una cierta unidad de análisis, entendiéndose por tal una comuna, ciudad o localidad. Ello implica considerar una serie de etapas, las cuales se mencionan en forma resumida a continuación y son explicadas en detalle durante el desarrollo del presente punto.

- Recopilación de antecedentes de la situación actual. Consiste en la recopilación de la información existente y que debe servir de base para la formulación de un programa de conservación o mantenimiento de los pavimentos pertenecientes a la red vial urbana de la unidad de análisis.
- Preselección de tramos que requieren de conservación en forma prioritaria y que parecen ser atractivos para el proceso presupuestario del año siguiente. En los casos que exista abundante información relacionada con la materia, dicha preselección será bastante precisa. Por el contrario, si la información es insuficiente, la preselección será más bien intuitiva.
- Recopilación de información en tramos preseleccionados durante la etapa anterior. Esta labor está orientada a determinar ciertos parámetros (niveles de tránsito y estado del pavimento), con una metodología común de tal modo que posteriormente se pueda analizar distintas opciones de conservación, en base a la situación existente.
- Evaluación de varias opciones de mantenimiento para los tramos preseleccionados, con el objeto de encontrar la más adecuada para cada uno de ellos. Es importante destacar que los resultados deben ser comparables, lo cual obliga a utilizar una metodología precisa y



común. En base a lo anterior, es posible priorizarlos en función de sus indicadores de rentabilidad.

- Formulación del programa de conservación para la Unidad de Análisis. Esta tarea se hace en función de los resultados obtenidos al evaluar cada proyecto (calle o tramo) de acuerdo a lo indicado. Es relevante además hacer un análisis de dichos resultados para compatibilizar las políticas entre tramos consecutivos y definir claramente las especificaciones técnicas del programa definitivo. De esta tarea surgen también proyectos de reposición de pavimentos que deberán ser sometidos a un análisis para determinar la conveniencia de ser identificados como proyectos de “mejoramiento”.

En los puntos siguientes se desarrolla cada uno de los aspectos mencionados, distinguiéndose en algunas etapas, los casos en que se encuentra disponible el estudio MANVU para una cierta unidad de análisis.

Análisis de antecedentes disponibles

Esta tarea se refiere a la recopilación de antecedentes relacionados con el estado y características de los pavimentos de la red vial de la ciudad o unidad de análisis, así como también lo relativo a información de flujos. Dichos antecedentes son básicamente históricos, es decir son aquellos existentes antes de hacer el análisis para determinar las prioridades de mantenimiento vial para el año siguiente. Entre dichos antecedentes es posible mencionar los siguientes:

- Catastros de pavimentos realizados anteriormente en la ciudad.
- Conocimiento de los problemas actuales de la ciudad, siendo relevante los relacionados con el estado de los pavimentos. Se refiere a que el equipo de personas que seleccione en forma preliminar los tramos a ser analizados en detalle, debe tener una visión global de la Unidad de Análisis.



- Antecedentes sobre programas (actuales o futuros) de otros organismos como SENDOS, CTC, etc. y que impliquen rotura de pavimentos existentes.
- Información referida a flujos vehiculares, recorridos de locomoción colectiva, etc. Esta información debe ser considerada al menos en forma cualitativa, con el fin de poder seleccionar en forma prioritaria las vías con mayor demanda.
- Identificación de las principales calles de la Unidad de Análisis, que conformarían la Red Vial Primaria. El resto de las calles pertenecerían a la Red Vial Secundaria.
- Información relacionada con el mantenimiento vial efectuado con anterioridad, incluyendo el contemplado para el año en curso.

La información anterior permite tener antecedentes para hacer un diagnóstico preliminar, cuya precisión dependerá de la calidad de la información disponible. En los casos en que exista un catastro de pavimentos efectuado en el marco del estudio MANVU, siempre que esté debidamente actualizado. Todos los antecedentes mencionados estarían disponibles en él. En el evento que dicho catastro no esté actualizado, es decir cuando haya sido efectuado antes del año en curso, debe seguirse el procedimiento indicado en el punto siguiente.

Selección preliminar de tramos

En esta tarea se contempla disponer de un diagnóstico de la situación actual, pudiendo distinguirse los siguientes casos básicos:

- El estudio MANVU existe y está actualizado.
- Existe estudio MANVU, pero sin actualizar.
- No se ha efectuado el estudio MANVU.



El trabajo a realizar, dependerá de la situación para cada ciudad, describiéndose a continuación el procedimiento a seguir para cada uno de los casos básicos.

Para el primer caso, el estudio MANVU de la ciudad o comuna constituye el diagnóstico de la situación actual, siempre que esté debidamente **actualizado**. En ese caso deberá analizarse los resultados del estudio mencionado, el cual entrega una lista priorizada de proyectos (tramos de calles) con una cierta política óptima de mantenimiento. El análisis de los resultados implica compatibilizar las políticas para tramos consecutivos, lo cual se explica más adelante.

Para el segundo caso, debe actualizarse la información contenida en el estudio MANVU, teniendo presente los siguientes alcances:

- Incorporar la información relativa al mantenimiento efectivamente realizado después de la fecha en que se efectuó dicho estudio, incluyendo el mantenimiento contemplado para el año en curso.
- Recopilar la información del estado actual de los pavimentos, para reflejar la evolución que éste haya experimentado entre la fecha de realización del estudio MANVU y la actual. (Ver anexo N° 2).
- Determinar factores que permitan proyectar para el año en curso la información de flujos. Al respecto, se debe considerar que en el estudio MANVU se realizó un completo análisis de flujos, el cual se basó en conteos en algunos puntos de control y encuestas Origen - Destino permitiendo asignar a cada arco de la Red Vial Primaria (R.V.P.) los flujos de vehículos livianos y pesados, utilizando el modelo de simulación de transporte SATURN. En atención a lo anterior no sería necesario repetir dicho proceso año a año, sino que bastaría realizar mediciones en algunos puntos de control preestablecidos y determinar una tasa de crecimiento para la Unidad de Análisis que sería la resultante del incremento del flujo vehicular en esos puntos. En el



Anexo N° 1 se describe la forma de hacer las mediciones del flujo vehicular.

Para el tercer caso, se debe hacer una selección preliminar de tramos prioritarios para ser abordados en el programa, en función de los factores: tránsito vehículos livianos, tránsito vehículos pesados y estado del pavimento. La selección de los tramos implica considerar los siguientes criterios:

- Debe darse preferencia a las calles más importantes en base a los volúmenes de flujo que circulan por ella. Dichas calles constituyen la Red Vial Primaria, en el caso que ésta esté definida.
- Debe excluirse las vías en que esté contemplada la ejecución de obras subterráneas, como por ejemplo agua potable, alcantarillado, etc.
- Se debe dar prioridad a las vías con pavimentos en peor estado y con flujos importantes.

Una vez seleccionados los tramos en forma preliminar, debe recopilarse la información requerida para hacer la evaluación correspondiente, explicándose el procedimiento en el punto siguiente.

Recopilación de información de tramos preseleccionados

Una vez realizada la selección preliminar en los casos en que no existe catastro MANVU, o bien cuando sea necesario actualizarlo, se debe recopilar los antecedentes de la situación actual, siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:

- Obtener el Tránsito Medio Diario Anual (T.M.D.A) para el año en que se realiza el estudio, de vehículos livianos y pesados, que circulan en un cierto punto de control y que sea representativo de la calle o tramo homogéneo preseleccionado. Para lo anterior se debe ubicar en primer término cada punto de medición y luego hacer mediciones continuas en



un día hábil entre las 7:00 y 23:00 horas. Para esto se debe utilizar la metodología simplificada contenida en el anexo N° 1.

- Hacer una auscultación visual del pavimento existente, en cada uno de los tramos preseleccionados según la metodología contenida en el anexo N° 2 y que corresponde a la desarrollada en el estudio MANVU, a la cual se le hicieron algunas correcciones. Dicha inspección de los pavimentos implica recopilar información referida al agrietamiento del pavimento, descripción de fallas típicas, coeficiente de rugosidad, etc.
- Calcular el índice de serviciabilidad “P”, para el año en que se realiza el estudio de acuerdo a la metodología contenida en el anexo N° 2. En la metodología se exponen dos métodos alternativos para medir el coeficiente de rugosidad (C1), dependiendo si se dispone del instrumento de medición denominado: “Rugosímetro MERLIN”. A fin de obtener una medición más objetiva, se recomienda, en lo posible, utilizar dicho instrumento.
- La información recopilada de acuerdo a lo indicado, permitirá identificar tramos homogéneos, de acuerdo a volúmenes de tránsito y estado del pavimento. Más adelante, en el punto “Normas para la Presentación del Programa Anual de Conservación y Reparación de Vías Urbanas” se explica la forma en que se deberán presentar los antecedentes recopilados.

Evaluación de tramos preseleccionados

En esta etapa corresponde evaluar las distintas políticas de conservación, con el objeto de seleccionar la alternativa óptima para cada uno de los tramos identificados en la etapa anterior.

Sin embargo, en la presente versión simplificada, se utilizan los resultados de las evaluaciones para casos tipo (matrices Anexo N° 4) del estudio MANVU para seleccionar la política de conservación óptima; por lo tanto no es necesario hacer la evaluación propiamente tal.



A continuación, se explicitan los conceptos contenidos en la metodología MANVU que sirvieron de base para evaluar las políticas de conservación. Además, se describe en forma general las distintas alternativas técnicas posibles de aplicar para pavimentos de Hormigón y Asfalto. Finalmente se describe el procedimiento simplificado para determinar la alternativa de conservación óptima para cada uno de los tramos preseleccionados.

Conceptos

En el estudio MANVU se compararon económicamente las políticas de conservación definidas para cada uno de los casos estudiados, tomando como referencia una política de conservación mínima.

La comparación se realizó a partir de la diferencia de costos de mantenimiento entre la alternativa base y el proyecto (que podría incluir una reposición total) y de los beneficios diferenciales provenientes de los ahorros en los costos de operación de los vehículos. El horizonte de comparación es de 20 años, definiéndose un valor residual al año 20 proporcional a la vida útil remanente de las obras consideradas en cada caso.

A partir de la estructura de costos de conservación y la desagregación del precio de mercado en los recursos básicos (moneda nacional, divisas, mano de obra) y transferencias (IVA, aranceles, etc.), se estimó el costo social de las inversiones en cada uno de los casos estudiados, para una superficie típica de 7.000 m². Los beneficios se determinaron a su vez considerando las fórmulas agregadas de costos sociales de operación de vehículos para diferentes niveles de tránsito total y porcentaje de vehículos pesados.

La variable relevante en los ahorros de costos de operación corresponde a la rugosidad, que se relaciona con los diferentes estados de la carpeta de rodado.

Para cada caso, definido a través de un rango de índice de serviciabilidad "P", nivel de tránsito total y nivel de tránsito pesado (y además % de grietas



para asfalto), se seleccionaron políticas de conservación óptima considerando como indicador económico la relación Beneficio/Costo.

Se optó por utilizar la relación Beneficio/Costo porque ante una situación de restricción presupuestaria, como es este caso, en general se maximiza el VAN conjunto de todos los proyectos. Esta elección ha considerado que lo usual es identificar un número de proyectos bastante mayor al que efectivamente llega a financiarse. Sin embargo, conviene tener presente que existe la alternativa teórica de seleccionar la política de mantenimiento óptima como aquella de mayor VAN; pero por razones operativas en que se elabora un programa con un conjunto de proyectos se ha preferido seleccionar la política mediante la relación Beneficio/Costo. Adicionalmente, se estiman los indicadores Beneficio Neto Actualizado (BNA) o Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

Optimización de la situación actual

La alternativa base corresponde a la conservación que se estima como la mínima razonable de aplicar para mantener adecuadamente los pavimentos. Esta política, denominada 0, sirve como referencia para efectos de comparar otras políticas más intensivas en conservación.

Las política 0, para pavimentos de hormigón y asfalto, considerada en el estudio MANVU son las siguientes:

- Hormigón: Incluye sólo sellado de juntas y grietas, sin limpieza previa, cada 2 años.
- Asfalto: Considera un sello superficial cada 4 años y un bacheo anual del 5 % de la superficie agrietada, acotándose el total de superficie agrietada a un 25%.

Luego, en caso que las políticas de conservación estudiadas para un tramo no resultaran rentables, se supone aceptable seguir la política 0.

Alternativas de proyectos



Las alternativas que se consideraron, corresponden a las políticas de conservación posibles de aplicar, las cuales dependen del tipo de pavimento. Las opciones de conservación consideradas en el estudio MANVU y posibles de aplicar son las siguientes:

Hormigón:

- Sello de juntas y grietas
- Limpieza de juntas y grietas, antes del sellado
- Reposición de losas de hormigón
- Reposición total de pavimento

Asfalto:

- Sello superficial
- Bacheo asfáltico
- Recapado
- Reposición de pavimento

En el anexo N° 3, se indica en detalle las políticas de conservación que se consideró en el estudio MANVU, cada una de las cuales contempla una o más de las acciones mencionadas, las cuales se aplican en función de ciertos umbrales preestablecidos.

Determinación de la alternativa de mantenimiento óptima

La evaluación de las alternativas posibles se realizó en el estudio MANVU, a través del análisis de una serie de *casos tipo* para cada uno de los cuales se determinó la política óptima de mantenimiento. La información obtenida se resumió en matrices, las cuales se muestran en el anexo N°4. En síntesis, para este tipo de proyectos de mantenimiento, la evaluación consiste en determinar los parámetros relevantes (T.M.D.A total y pesado, Índice de Serviciabilidad “P” y el Agrietamiento en caso de asfalto) para encontrar la política óptima en la matriz mencionada.

La política óptima para cada tramo homogéneo, se encuentra ingresando a la matriz del estudio MANVU que corresponda, según el tipo de pavimento existente y los parámetros estado del pavimento y T.M.D.A. Las políticas determinadas como óptimas representan acciones de conservación a aplicar durante todo el horizonte de evaluación (20 años). Por tal motivo,



en algunos casos como por ejemplo, si la política óptima determinada es la reposición de pavimentos, la acción de reposición puede ser efectuada el año 1 o posteriormente, lo cual se indica en la matriz de resultados. En el caso que dicha reposición se contemple con posterioridad al año 1, para el primer año deben contemplarse otras acciones como por ejemplo, sello de juntas y grietas.

Posteriormente, falta una etapa adicional que consiste en analizar los resultados obtenidos y compatibilizar las políticas determinadas para tramos consecutivos, lo cual se muestra en el punto siguiente.

Formulación del programa de cada unidad de análisis

Esta etapa se refiere al análisis de las políticas de conservación determinadas como las más rentables para cada uno de los tramos preseleccionados. La metodología aplicada para la selección de dichas políticas “óptimas” en forma individual, puede generar diferencias entre tramos consecutivos, lo cual requiere de un análisis posterior para ver la conveniencia de homogeneizar la solución para tramos consecutivos. En rigor, debería reevaluarse cada proyecto seleccionado, considerando los valores exactos de los parámetros T.M.D.A. e índice “P”, afinándose la elección de la mejor política. Sin embargo, considerando la complicación que esto último representa, se opta por un procedimiento más sencillo, que implica considerar los siguientes criterios:

- En los casos que para dos tramos consecutivos se les haya determinado una política óptima diferente, se deberá analizar la factibilidad de aplicar una política común. Esto implica verificar su factibilidad técnica y calcular los indicadores de rentabilidad globales para el tramo compuesto, ponderando, de acuerdo a la superficie de cada tramo, sus respectivos indicadores.
- Se debe recordar que el procedimiento desarrollado, tiene por objeto la detección de necesidades de conservación, a través de una priorización en base a la relación Beneficio - Costo. Esta metodología no exime a



los responsables de efectuar el mantenimiento vial urbano en cada Unidad de Análisis, de especificar claramente las necesidades precisas de conservación para cada uno de los tramos contemplados en el proceso presupuestario, a través de las especificaciones técnicas de cada licitación.

- En los casos en que la política óptima de conservación determinada para un tramo, sea la reposición de pavimentos deberá hacerse un análisis con algunos antecedentes adicionales, con el fin de concluir si se requiere hacer una evaluación completa usando la Metodología de Vialidad Urbana, o bien es factible efectuar sólo la reposición de pavimentos sin rediseños geométricos.
- El programa de mantenimiento debe formularse de tal modo que se minimice los problemas de congestión, debido a los desvíos de tránsito.

En base a lo anterior, se formula el programa para cada Unidad de análisis. Ello implica priorizar los proyectos de acuerdo a sus indicadores de rentabilidad, que en este caso corresponde a la Relación Beneficio/Costo.

A continuación se especifican las normas de presentación del programa, con el objeto que los antecedentes e información recogidos en la preparación de éste se presenten de manera estructurada por Unidad de Análisis.



Normas para la presentación del programa anual de conservación y reparación de vías urbanas

Al presentar uno de estos programas para su análisis técnico económico, además de los antecedentes incluidos en el Formulario E.B.I, de presentación de proyectos, deberá adjuntarse al menos los siguientes antecedentes:

- Cuadro con información del Tránsito Medio Diario Anual (T.M.D.A) por cada tramo preseleccionado, diferenciando el tránsito de vehículos livianos y pesados. Ver metodología de medición en Anexo N° 1.
- Cuadro de “Monografía de Pavimentos” para cada tramo preseleccionado, de acuerdo al formato indicado en el Anexo N° 2.
- La información recogida en el punto precedente deberá resumirse en el siguiente cuadro:

Nombre de la calle	Tramo (d)esde (h)asta	Tipo de carpeta	TMDA total	TMDA pesado	Índice de Serviciabilidad “P”	Índice de Grietas
						(Sólo para asfalto)

- El resultado de la aplicación de las matrices (Anexo N° 4) en los tramos preseleccionados se deberá consignar, por orden de prioridad (mayor relación beneficio/costo) en el siguiente cuadro:



CUADRO DE INDICADORES
(RESULTADOS MATRICES)

Nombre de la calle	Tramo (d) - (h)	Caso Tipo	Política óptima (Máx. B/C)	Razón (B/C)

PROGRAMA ANUAL DE CONSERVACIÓN
Y REPARACION DE VIAS URBANAS
POR UNIDAD DE ANALISIS

Nombre de la calle	Tramo (d) - (h)	Long. Tramo (m)	Ancho calle (m)	Sup. Tot. Tramo (m ²)	Política de Conserv.	Cubicaciones	Costo total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

Col. (1) : Se deberá consignar el nombre de cada calle seleccionada.

Col. (2) : Identificar el o los tramos de cada una de las calles seleccionadas

Col. (3) : Indicar la longitud de los tramos identificados en la Col (2).

Col. (4) : Señalar el ancho de la calzada en el tramo respectivo.

Col. (5) : Superficie Total del tramo, se obtiene de multiplicar las columnas (3) y (4).

Col. (6) : Identificar la política de conservación seleccionada, luego de compatibilizar las políticas para tramos con consecutivos.



Col. (7) : Consignar las pérdidas y su magnitud (por ítem) contempladas en la política de conservación adoptada, identificada en la columna 6. Ej: Política 2; 1.584 m² de reemplazo de losas y 16.374 ml de sello y limpieza de juntas y grietas.

Col. (8) : Indicar el costo total por tramo. Se obtiene de multiplicar el(los) precio(s) unitario(s) por la(s) cantidad(es) de obra definida(s) en la col (7).

A objeto de elaborar un Programa de Conservación a nivel regional, se deberá seleccionar, de cada unidad de análisis dentro de la región y de acuerdo a criterios de rentabilidad, en este caso la relación Beneficio/Costo, los proyectos más prioritarios.

El resultado se deberá consignar en el siguiente cuadro resumen:

PROGRAMA REGIONAL

REGIÓN:

Unidad de Análisis	Proyectos	Superficie Total (m ²)	Costo Total (M\$)	Razón B/C Ponderado ¹
A	1			
	2			
	3			
Sub-total Unidad A				
B	1			
	2			
	3			
Sub-total Unidad B				
TOTAL REGIÓN				

¹ Corresponde a la Razón B/C del proyecto (calle) ponderado en función de la superficie de cada uno de los tramos que conforman el proyecto.



Los proyectos de reposición que, después de un análisis técnico, se identifican como “mejoramiento”, deberán excluirse de este Programa.



Anexo N° 1

Determinación del tránsito medio diario anual (TMDA)

El tránsito medio diario anual (T.M.D.A.) corresponde al promedio aritmético de los volúmenes vehiculares diarios que, a lo largo de un año utilizan una sección de una vía. Conocer su valor es de alto interés en el análisis de proyectos de vialidad, no obstante su determinación en forma exacta requiere de un volumen de información cuya obtención y manejo demanda cuantiosos recursos.

En el caso de la vialidad urbana, para la determinación del T.M.D.A. se debe sumar una dificultad adicional que deriva de la necesidad de determinar su valor, en tantas secciones de una vía como el número de veces en que se observa un cambio de volumen del flujo circulante en ella (intersecciones, entrada y/o salida de vehículos, otros). Esto conlleva la necesidad de realizar conteos continuos 24 horas al día, 365 días al año, en todos los segmentos de arcos en que no se produce salida o ingreso de vehículos desde y hacia la vía en análisis.

Estos requerimientos constituyen un problema cuya magnitud excede las posibilidades de adquisición de información en términos prácticos, aún mediante el uso de equipos electrónicos automáticos. Por este motivo, en general se opta por metodologías alternativas de determinación del T.M.D.A., que mediante el uso de un volumen menor de información permiten una estimación confiable de dicho parámetro.

Para el caso de vías urbanas, a diferencia de las vías rurales, no existe un método estándar de medición del T.M.D.A. Sin embargo, en base al análisis de la información de un número significativo de estaciones de conteo continuas, ubicadas en la red vial primaria de Santiago, se obtiene que el flujo vehicular observado en un día laboral, entre las 7:00 y las 23:00 horas, representa en promedio un 92,81% del flujo diario (con una desviación estándar del 2,73%).



Por otra parte, el flujo vehicular de los días Sábado y Domingo es en promedio un 78,34% del flujo del día laboral (con una desviación estándar de 13,41%). Finalmente al relacionar el flujo medido en día laboral entre las 7:00 y las 23:00 horas con el T.M.D.A. de una vía, se concluye que este último representa en promedio un 101,16% del anterior (con una desviación estándar del 4,85%).

En consideración a lo indicado y en ausencia de datos que permitan una mejor estimación, se recomienda considerar como T.M.D.A. en una vía urbana de la red vial primaria, un volumen igual al observado entre las 7:00 y las 23:00 horas de un día laboral de una semana normal (sin festivos, ni en período de vacaciones, ni de cosecha, etc.).

En caso que una situación presente comportamientos estacionales marcados, el T.M.D.A. se estimará en base al análisis de una semana tipo, en temporada de alta y otra en temporada normal, ponderando los resultados correspondientes al T.M.D.A. de cada una por el número de semanas al año en que se verifiquen las temporadas tipificadas y dividiendo dicho resultado por 52 semanas/año.

Los conteos vehiculares, en que se sustenta el método de estimación presentado, serán continuos y clasificados por tipo de vehículo (vehículo liviano, bus o camión de 2 ejes y camión de más de 2 ejes, como mínimo); deberán desarrollarse entre las 7:00 y las 23:00 horas de un día Martes, Miércoles o Jueves y en ningún caso podrán ser representativos de un tramo de vía de una longitud mayor a 500 metros o de tramos de vía contiguos con una o más intersecciones intermedias en donde el volumen de flujo vehicular varíe más de un 10% entre los tramos considerados.

El T.M.D.A. total, utilizado como parámetro para determinar la rentabilidad económica en las matrices de resultados (Anexo N° 4), corresponde a la suma del valor de: vehículos livianos, buses, camiones de 2 ejes y camiones de más de 2 ejes. El T.M.D.A. pesado, se expresa en buses equivalentes lo que implica ponderar la suma del N° de buses, camiones



de 2 ejes y camiones de más de 2 ejes, ponderando este último por un factor 4,75.

Si se opta por un método alternativo de estimación del T.M.D.A., éste deberá ser debidamente justificado y sustentado con información estadística que demuestre su representatividad. De ninguna manera será aceptable una estimación basada en conteos vehiculares de menor extensión (duración) y detalle que los descritos en el párrafo precedente.



Anexo N° 2

Metodología de auscultación de pavimentos

De acuerdo a lo indicado en la metodología simplificada, uno de los requerimientos para poder utilizar las matrices que definen la política óptima de mantenimiento para cada caso tipo, es conocer el estado actual de los pavimentos.

El objetivo del presente Anexo de la metodología es homogeneizar la forma de obtener los datos referentes al estado actual de un pavimento existente. En la medida que el procedimiento sea homogéneo para cualquier calle o tramo de cada unidad de análisis, será posible comparar sus indicadores de rentabilidad.

A continuación, se indica el procedimiento simplificado que será necesario desarrollar en terreno para cumplir con los objetivos planteados.

Criterios generales

A continuación, se define ciertas características generales que se deberán considerar para hacer las monografías de pavimentos:

- Deberá recopilarse la información relacionada con la sección transversal de la calzada. Esto implica medir el ancho e identificar el N° de pistas en que circulan efectivamente los vehículos.
- Debe distinguirse los diferentes tipos de pavimentos existentes a lo ancho de una sección considerando además el estado de éste cuando varía entre una pista y otra.

La monografía de pavimento deberá efectuarse por pistas en el caso que las características señaladas difieran entre una u otra.

- La calzada será aquella que está comprendida entre las soleras izquierda y derecha. En casos especiales, como por ejemplo bandas de



estacionamientos paralelos a la calzada y segregados, no se considerarán como parte de la calzada.

- En los casos en que exista una mediana (bandejón central), las monografías deberán hacerse separadamente para cada calzada, considerando cada una de ellas como un tramo independiente.

Balizado

El catastro o monografía del pavimento existente deberá basarse en un balizado que sirva como referencia planimétrica. Dicho balizado implica realizar marcas cada 25 metros sobre el pavimento o solera, si es que existe. Además, en las monografías deberá indicarse el kilometraje de todas las calles transversales (en el eje) con que se intersecte el eje del tramo estudiado, en la columna observaciones del cuadro con los datos de terreno.

Monografías de pavimentos

Esta monografía consiste en la detección y registro de las fallas características que presenta el pavimento existente, en el momento de la medición. La metodología adoptada difiere para pavimentos rígidos y flexibles, cada una de las cuales se explica a continuación.

Monografía pavimentos de hormigón

La auscultación visual se efectúa a partir de un muestreo estadístico sistemático cada 25 metros y debe abarcar la totalidad de las losas ubicadas a lo ancho de la sección transversal frente a la marca del balizado. En el caso de coincidir dicha marca con una junta transversal se debe muestrear la losa inmediatamente anterior. En la figura N° 1 que se presenta en la siguiente página, se indica el procedimiento a seguir para ciertos casos especiales.

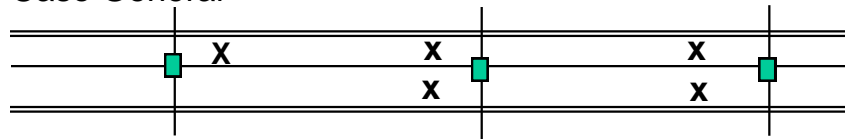


Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano 30

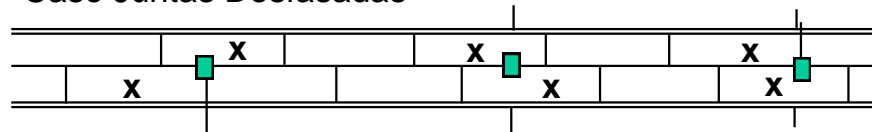
Para cada una de las muestras seleccionadas de acuerdo al procedimiento indicado, deberá registrarse el número de losas auscultadas y sus dimensiones (largo y ancho promedio).

Figura N° 1 Definición de Losas a Muestrear en Pavimentos de Hormigón

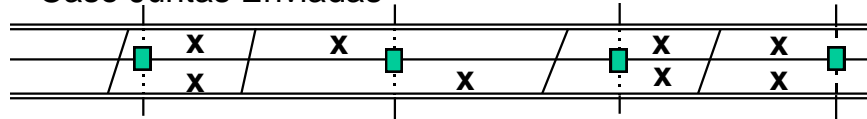
Caso General



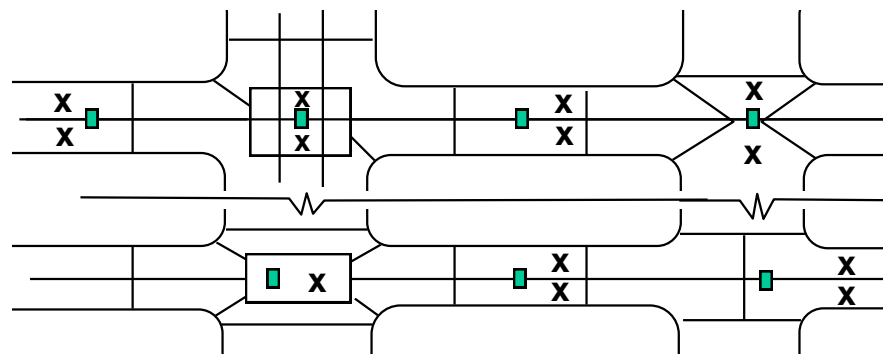
Caso Juntas Desfasadas



Caso Juntas Enviadas



Caso Intersecciones



- Baliza
- X Losa muestreada
- || Proyección de baliza hacia línea de soleras indica losa a muestrear

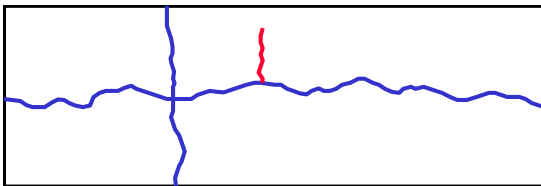
A continuación se indica la forma de obtener la información de terreno.

N° de grietas y fisuras

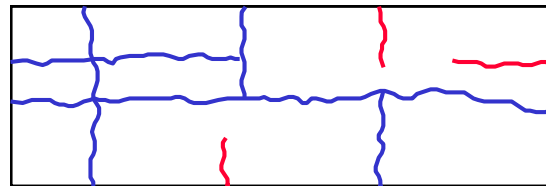
Para efectos de la presente metodología se adoptará la siguiente definición de grietas y fisuras: “Se considerará como grieta aquella que une dos bordes de la losa o aquella que une un borde y una grieta o dos grietas en forma continua formando un trozo, y como fisuras todas las restantes”. En otras palabras, el número de grietas es igual al número de trozos o bloques en que se subdivide una losa menos uno (1). En la figura N° 2 se indica algunos ejemplos que explican gráficamente lo anterior.

El procedimiento consiste en contar para todas las losas de una muestra, el número de grietas y fisuras existentes indicando además si éstas están selladas o no.

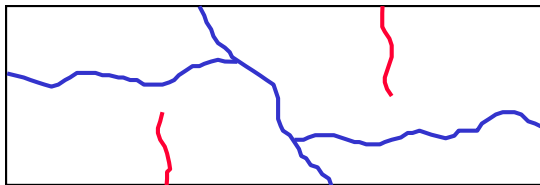
Figura N° 2 Ejemplo de Medición de Grietas Pavimento de Hormigón



3 grietas, 1 fisura



7 grietas, 3 fisuras



3 grietas, 2 fisuras



Coeficiente de rugosidad (C1)

Existen dos métodos alternativos para determinar el coeficiente de rugosidad (C1), dependiendo si se dispone del rugosímetro MERLIN como instrumento de medición.

Con rugosímetro MERLIN:

Para utilizar este procedimiento de determinación del coeficiente C1, se requiere conocer el funcionamiento del rugosímetro MERLIN, leyendo su "Manual de Uso".

De la medición con el perfilómetro se requieren los parámetros;

D^0 = Constante de calibración, mm (Ver Manual)

D = Dispersión del histograma, definido como el intervalo que concentra el 90% de las mediciones, en mm.

El coeficiente C1 se calcula como:

$$C1 = 2,8 \log (1 + S_v)$$

en que

$$S_v = \frac{(\sigma \cdot 50 / D^0)^2}{81} \quad (\text{en millonésimas})$$

siendo

$$\sigma = \frac{D^0}{3,29} \quad (\text{en mm})$$

Sin Rugosímetro MERLIN:

Es este caso se determina para cada tramo de 25 metros (anterior al balizado), un coeficiente de rugosidad longitudinal, calificando con nota entre 1 y 5, de acuerdo a la siguiente tabla:



Coeficiente	Apreciación visual en terreno de superficie de pavimento
1	Perfectamente lisa
2	Algo rugosa
3	Medianamente rugosa
4	Rugosidad alta
5	Extremadamente rugosa

Cuando se aprecie que no hay uniformidad en el tramo de 25 m anterior, se debe asignar el valor predominante.

Fallas típicas

Para estos efectos será necesario hacer una descripción de las fallas típicas que se presentan en el pavimento (muestra cada 25 m), de acuerdo a la siguiente clasificación:

Código	Falla
1	Grietas y fisuras longitudinales
2	Grietas y fisuras transversales
3	Grietas y fisuras diagonales y/o esquina
4	Grietas piel cocodrilo
5	Desconche
6	Hoyos y parches
7	Hundimientos
8	Desgastes
9	Desprendimiento de carpeta
10	Deformaciones



Estado del Sello de Junturas

Debe especificarse el estado en que se encuentran; calificando como bueno si su estado es adecuado; regular si existen sólo parcialmente; y malo si son Inexistentes.

Observaciones

En este punto interesa consignar toda información adicional que pudiera ser relevante.

La información anterior deberá ser recogida en el formulario contenido al final del presente anexo. En base a lo anterior se obtiene el Índice de Serviciabilidad, según las ecuaciones que se explican más adelante.

Monografía de pavimentos de asfalto

La metodología usada en pavimentos de asfalto es similar a la expuesta para hormigones. El área muestreada, a diferencia del pavimento de hormigón en que la unidad es la losa, es una franja de 6 m. de largo por el ancho de la calzada centrado en la baliza cada 25 m.

Las fallas de pavimento registradas incluyen además de los defectos ya mencionados para pavimento de hormigón, síntomas de deterioro específico de pavimento de asfalto, tales como desprendimiento superficial, exudación y ahuellamiento. De esta manera, los defectos detectados serán una cuantificación porcentual del área de pavimento agrietado, parchado, con desprendimiento superficial de carpeta y con exudación además de una medición de la profundidad del ahuellamiento en los carriles de circulación de la calzada.



Determinación área afectada

El porcentaje de agrietamiento, parches, desprendimiento superficial y exudación se determina a partir del total del área de muestreo considerando que la suma de estas fallas siempre sea menor o igual a 100%.

El orden de prioridad en la identificación de la falla será el siguiente: parches y baches (hoyos y hundimientos), agrietamiento, desprendimiento superficial y exudación. Esto quiere decir que si se encuentra un parche agrietado, la superficie comprometida se asigna a la columna “% de parches y baches”, asimismo si se encuentra un área en que coexista agrietamiento y desprendimiento superficial, la superficie comprometida se asigna a la columna “% de agrietamiento”.

Area afectada por grietas

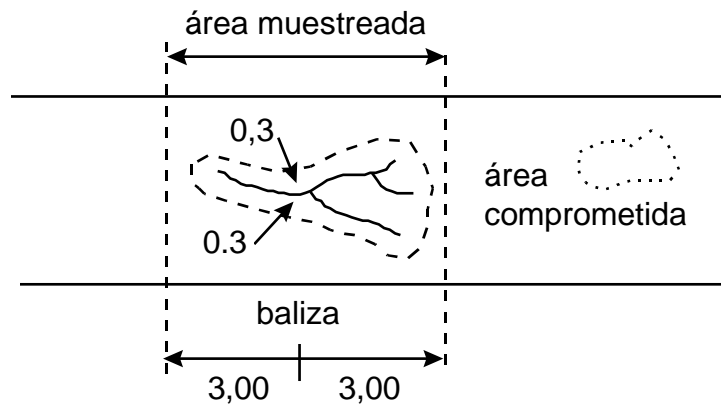
Se considera que el área afectada por una grieta aislada, tiene un ancho de 0.30 m. a cada lado, por la longitud de la grieta. En el caso de agrietamiento múltiple estas superficies agrietadas se traslapan, formando un paño cuyas dimensiones se apreciarán directamente relacionándolo con el tamaño de la muestra completa.

Las áreas afectadas por otros tipos de fallas se estiman por observación directa.

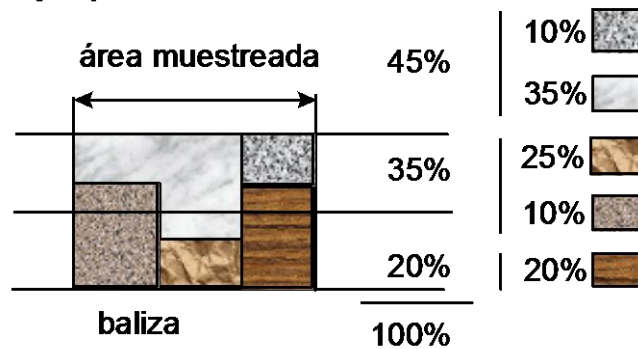
En la figura N° 3 se grafican dos ejemplos de determinación de áreas falladas:

Figura N° 3

Ejemplo 1



Ejemplo 2



Ahuellamiento

El ahuellamiento se mide con una regla de 1.20 m. de longitud y utilizando una cuña graduada al milímetro. Se miden todas las huellas de la calzada consignando el mayor valor.



Coeficiente C1

Adicionalmente, se evalúa el coeficiente C1 de rugosidad longitudinal en forma análoga que para el caso del pavimento de hormigón, lo que permite, luego de determinar los coeficientes C2 y C3 a partir de correlaciones con la información de grietas y parches y ahuellamiento, deducir el Índice de Serviciabilidad “P”.

La información tanto en pavimentos de hormigón como de asfalto, será vaciada en el formulario adjunto.

Determinación del índice de serviciabilidad

Pavimento de hormigón

El índice de serviciabilidad para los pavimentos de hormigón se determina mediante la siguiente relación:

$$P = 5.8 - 0.8 \cdot C1 - 0.5 \cdot C2$$

en que:

C1 = Coeficiente de rugosidad, determinado de acuerdo a lo indicado en el punto anterior.

C2 = Coeficiente de agrietamiento, determinado en función de un índice de grietas que se obtiene a partir del número de grietas promedio en cada losa, con la siguiente relación:

$$IGR = 2.21 \cdot (NG + NF) \cdot 100 \cdot 3.5 / (A \cdot L \cdot N)$$

en que:

N = N° de losas en el punto de muestreo

NG = N° de grietas en cada punto de muestreo (sección)

NF = N° de fisuras en cada punto de muestreo

A = Ancho promedio de losas en cada punto de muestreo



L = Longitud promedio de losas en puntos de muestreo

El cálculo anterior se efectúa para cada muestra, vale decir cada 2.5 metros. Posteriormente, a partir del valor de IGR promedio para cada tramo homogéneo se obtiene “C2”, mediante la siguiente tabla:

IGR	Coefficiente C2
< 5	1.0
5,01 - 15	1.5
15,01 - 40	2.0
40,01 - 80	2.5
80,01 - 140	3.0
140,01 - 220	3.5
> 220	4.0

Pavimento de asfalto

El índice de serviciabilidad para los pavimentos de asfalto se determina mediante la siguiente relación:

$$P = 5.4 - 0.8 \cdot C1 - 0.1 \cdot C2 - 0.3 \cdot C3$$

en que:

C1 = *Coefficiente de rugosidad*, determinado de acuerdo a lo indicado en el punto anterior.

C2 = *Coefficiente de agrietamiento*, determinado en función de un índice de grietas que se obtiene a partir del número de grietas promedio en cada losa, con la siguiente relación:

$$IGR = \%AREA AGRIETADA + \%AREA PARCHADA$$

en que dichas áreas fueron obtenidas directamente durante la auscultación visual.



A partir del valor de IGR promedio de un tramo homogéneo se obtiene “C2”, mediante la siguiente tabla:

IGR	Coefficiente C2
< 5	1.0
5,01 - 10	1.5
10,.01 - 20	2.0
20,.01 - 30	2.5
30,.01 - 40	3.0
40,01 - 50	3.5
> 50	4.0

C3 = *Coefficiente de ahuellamiento*, en función de las mediciones directas de la profundidad del ahuellamiento, considerando la siguiente tabla:

H (mm)	Coefficiente C3
< 1	1.0
1,01 - 5	1.5
5,01 - 10	2.0
10,01 - 25	2.5
> 25	3.0



Anexo N° 3

Políticas de conservación

Metodología de análisis

Uno de los objetivos centrales del estudio MANVU, fue el diseño y evaluación de un programa de inversiones en conservación y rehabilitación de vías urbanas a nivel nacional a partir de un análisis detallado realizado en tres ciudades piloto.

En el presente caso, y particularmente por la amplitud del ámbito definido, se plantea un número muy grande de situaciones a resolver. Por otra parte, en muchas de estas situaciones aparece más de una alternativa técnica de solución, sin que sea evidente cual es la mejor desde el punto de vista económico.

El análisis anterior condujo a la formulación de un enfoque metodológico, consistente en la definición de una serie de situaciones o casos tipo, a través de las cuales se cubre razonablemente bien el universo de casos registrados en la realidad.

Estos casos tipo permiten segmentar el universo de situaciones de acuerdo a dos grandes criterios:

- Estado del pavimento actual, caracterizado por sus índices de deterioro, lo que permite estimar tanto los costos de operación sobre ese pavimento como sus perspectivas de evolución futura.
- Nivel de demanda, caracterizado por el volumen de tránsito total y la sollicitación de vehículos pesados. Esto permite evaluar la magnitud de los beneficios derivados de un mejoramiento de la condición del pavimento y, por otra parte, estimar la evolución del deterioro debido a la sollicitación de cargas.

Como resultado de las evaluaciones realizadas en que se identificaron las variables más relevantes desde el punto de vista del comportamiento del pavimento y el resultado económico de su mejoramiento, se definieron los casos tipo indicados en los cuadros adjuntos, para pavimentos de hormigón y asfalto.

En una primera evaluación preliminar se abordó un conjunto relativamente reducido de casos durante el desarrollo del estudio MANVU, en los que se ensayó un número importante de alternativas de solución. Estas soluciones apuntaban, en particular, a obtener el óptimo de conservación correspondiente a cada caso particular.

Si bien este enfoque permitió perfilar claramente los lineamientos generales de las políticas más adecuadas, resultó evidente que era físicamente imposible aplicar este método para cubrir el número tan grande de casos posibles.

A fin de obtener una respuesta posible de generalizar a las diferentes situaciones o casos, se resolvió modificar este enfoque inicial para realizar una selección sistemática de soluciones de conservación preestablecidas, poniendo un número importante de casos que cubriesen adecuadamente la gama de situaciones posibles de encontrar en la realidad.

DEFINICIÓN DE CASOS TIPO

Pavimentos de Hormigón	Rangos de Validez	Nº de casos	Valor (típico) representativo
TMDA	-2000	4	1500
	2000 - 4000		3000
	4000 - 6000		5000
	6000 -		7000
Vehículos pesados (bus eq.)	- 250	3	150
	250 - 750		500
	750 -		800
	- 1.50		1.0
	1.50 - 2.00		1.8



P	2.00 - 2.50	5	2.3
	2.50 - 3.00		2.8
	3.00 -		3.3
Total casos tipo		60	

DEFINICIÓN DE CASOS TIPO

Pavimentos de Asfalto	Rangos de Validez	N° de casos	Valor (típico) representativo
TMDA	-2000	4	1500
	2000 - 4000		3000
	4000 - 6000		5000
	6000 -		7000
Vehículos pesados (bus eq.)	- 250	3	150
	250 - 750		500
	750 -		800
P	- 2.00	4	1.5
	2.00 - 2.50		2.3
	2.50 - 3.00		2.8
	3.00 -		3.3
G	- 15	2	10
	15 -		30
Sn	6.5		Se asocian en relación 1:1 con V pesados
	7.5		
	8.0		
Total casos tipo		96	

Esta segmentación condujo a un total de 60 casos tipo para los pavimentos de hormigón y de 96 casos tipo para los de asfalto.

La búsqueda de la solución óptima de conservación para cada caso tipo se realizó simulando y evaluando económicamente la aplicación de una serie de políticas alternativas (9 para los casos de hormigón y 6 para los de



asfalto) a cada uno de esos casos, lo que representó analizar más de 700 alternativas. Se obtuvieron matrices de soluciones, para hormigón y para asfalto, mediante las cuales se propone la solución óptima de conservación o rehabilitación para cada situación o combinación de tránsito y estado actual.

Estas soluciones óptimas corresponden a un conjunto de acciones de conservación definidas para cada uno de los 20 años comprendidos dentro del horizonte de evaluación, cuantificadas en términos de cantidades de obra y presupuestos por cada 1000m. de calzada de 7m. de ancho.

Definición de políticas

Como soluciones para abordar la conservación y rehabilitación de pavimentos se formularon una serie de políticas alternativas. Cada una de ellas consiste en un conjunto de acciones que se realizan de acuerdo a criterios (normalmente umbrales) preestablecidos.

Estas políticas se definieron de modo tal de ser aplicables a todos los casos tipo definidos, para asegurar así una comparación justa entre las alternativas analizadas.

Lo anterior, condujo necesariamente a limitar el número de políticas por analizar, a fin de mantener un volumen razonable de número de combinaciones entre Casos Tipo y Políticas a evaluar.

Políticas para pavimentos de hormigón

Entre las acciones reconocidas para conservar pavimentos de hormigón se consideraron:

- Limpieza de juntas y grietas, previa a su sellado
- Sello de juntas y grietas
- Reposición de losas de hormigón
- Rehabilitación del pavimento (reposición de pavimento)



Las políticas definidas a partir de estas acciones comprenden:

Política base (0):

De conservación mínima o de referencia, que incluye sólo el sellado de juntas y grietas cada 2 años, sin limpieza previa.

Esta política corresponde a lo que se estima un mínimo razonable para la conservación de pavimentos de hormigón de las redes viales Primaria y Secundaria.

Las políticas que se formulan a continuación, correspondientes siempre a alternativas más intensas de conservación, se comparan con la política 0 en términos de costos y beneficios, generando un flujo neto. Este flujo neto (y sus indicadores económicos asociados) permitieron evaluar el resultado de aplicar estas políticas alternativas en lugar de la Política 0 como situación base.

Política 1:

Agrega al caso anterior la limpieza previa al sellado. El efecto de esta operación es reducir la altura y el efecto del cordón de sello sobre los vehículos en movimiento, ya que éste representa una contribución a la rugosidad del pavimento.

Política 2:

Agrega a la limpieza y sello de juntas y grietas, el reemplazo de losas cuando el Índice de Grietas excede de 150. Esta política corresponde a una primera forma de responder al deterioro progresivo de un pavimento de hormigón, por la vía de reponer las losas más dañadas. Su principal ventaja es la de escalonar la inversión en el tiempo, pero en su contra juegan tanto el menor nivel de recuperación del standard, (normalmente se obtiene una rugosidad más alta al reemplazar una losa que al construir un tramo completo) como una repetida interrupción al tránsito.

La alternativa de remoción de losas deterioradas y su base, para ser reemplazadas por una base y carpeta asfáltica (bacheo asfáltico) se descartó en esta etapa por razones técnicas como una solución sistemática para enfrentar el deterioro.

Políticas 3, 4 y 5:

Consideran limpieza y sello de juntas y grietas más la rehabilitación con umbrales del índice de serviciabilidad (p) de 2.5, 2.0 y 1.5.

Se plantean como soluciones de rehabilitación generalizada, sin admitirse la reposición parcial de losas aisladas.

El propósito de formular tres umbrales alternativos para rehabilitar responde tanto a la necesidad de explorar el nivel de deterioro que razonablemente debería admitirse antes de rehabilitar como a la de analizar la forma en que este umbral óptimo puede variar para diferentes niveles de solicitud y demanda.

POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

POLÍTICA	0	1	2	3	4	5	6	7	8
REHABILITACIÓN	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Umbral P				2.5	2.0	1.5	2.5	2.0	1.5
REEMPLAZO LOSAS	No	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Umbral IG			150				150	150	150
% Sup. Grietas (1)			5%				5%	5%	5%
% Máx. Acumulado (2)			25%				25%	25%	25%
SELLO DE JUNTAS/GRIET.									
Intervalo atención	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Año 1ª. Atención	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Incluye limpieza?	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

(1) % de la superficie agrietada en que se reemplazan losas.

(2) % máximo acumulado, de la superficie total, en que se admite reemplazo de losas.



Políticas 6, 7 y 8:

Son homólogas a las 3, 4 y 5 pero se agrega además la posibilidad de reemplazar losas como en la política 2.

En este caso, se trata de hacer competir, en cierto modo, las políticas alternativas de reemplazos localizados de losas y de rehabilitación general, antes definidas, con una posible continuación de ambas.

En el cuadro al pie de la pagina, se resumen las políticas formuladas para pavimentos de hormigón.

Políticas para pavimentos de asfalto

Se reconocen, en este caso, las siguientes acciones de conservación:

- Sello superficial
- Bacheo asfáltico
- Recapado
- Rehabilitación

Como en el caso de pavimentos rígidos, y también para mantener en un número razonable el número de alternativas se consideró las principales soluciones posibles, sin cubrir la totalidad de los casos que podrían teóricamente formularse y estudiarse mediante el Modelo de Deterioro.

Las políticas propuestas, en este caso, corresponden a las siguientes:

Política base (0):

De conservación mínima, considera un bacheo anual y un sello superficial cada 4 años.

Esta corresponde a lo que se estimó un mínimo razonable de conservación para vías de las Redes Viales Principal y Secundarias como las aquí estudiadas en el caso de pavimentos flexibles.



La Política 0 sirvió como referencia (o situación base) para efectos de comparar las políticas definidas a continuación, que corresponden a soluciones más intensivas de conservación.

Los criterios y cantidades de superficie a bachear se definieron de acuerdo a los patrones de acción habituales en una conservación razonable y, al mismo tiempo, en forma suficientemente general como para aplicarlas a todas las políticas propuestas.

Así, se definió como cantidad de superficie a bachear el 5% de la superficie total agrietada, que corresponde aproximadamente a la fracción en que el agrietamiento es tan intenso que justifica su bacheo profundo (incluyendo reemplazo de base).

Por otra parte, se acotó la superficie bacheada total acumulada a un 25% de la superficie del pavimento, a fin de aumentar el carácter de reparación no generalizada de esta operación.

A fin de responder a casos extremos, particularmente cuando se ensaya la Política 0 (de mantención mínima) aplicada a casos de solicitud elevada y deterioros altos, la restricción anterior del 25% acumulado máximo se relaja cuando el agrietamiento excede del 50% de la superficie total. En este caso, no se pone cota al bacheo acumulado.

Políticas 1 y 2:

Agregan la posibilidad de recapar con 3 ó 5 cm. cuando el agrietamiento superficial excede el 40%. Este recapado se restringió a un espesor máximo total de 10 cm. por restricción de nivel de la rasante.

Corresponde a una solución de rehabilitación generalizada de bajo costo relativo, con la que se refuerza la estructura existente y reduce parcialmente el deterioro.



El espesor alternativo de 3 y 5 cm. se formuló para ensayar, dentro de los valores usuales, los niveles más adecuados en función de la sollicitación y demanda.

Como umbral de acción se definió un 40% de la superficie agrietada, situación en la cual no parece razonable continuar aplicando una política de bacheos puntuales.

Por último, se restringió el uso repetitivo de esta solución debido a problemas creados en el perfil transversal al elevar la rasante más allá de un cierto límite.

Políticas 3, 4 y 5:

Admiten, en vez del recapado, la rehabilitación del pavimento cuando el índice de serviciabilidad pasa el umbral de 2.5, 2.0 y 1.5. Los diseños corresponden a un número estructural (S_n) de 6.5, 7.5 y 8.0 cm (incluido el aporte de la subrasante) para niveles de sollicitación de cargas bajo, medio y alto, respectivamente.

Estas políticas corresponden a las soluciones de rehabilitación más definitivas, en que se construye una nueva estructura del pavimento y se reinicia un nuevo ciclo de vida a partir de los estándares de deterioro correspondientes a un pavimento nuevo.

Los umbrales de acción (índices de serviciabilidad) alternativos persiguen sensibilizar la solución óptima frente a los diferentes niveles de sollicitación y demanda.

Los diseños (S_n) considerados son función de la sollicitación esperada (tránsito pesado) y corresponden a una estructura suficiente para llegar a un nivel razonable de deterioro tras 20 años de vida útil.

El cuadro siguiente resume las políticas propuestas para asfalto.



POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS DE ASFALTO

POLÍTICA	0	1	2	3	4	5
REHABILITACIÓN	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Umbral P				2.5	2.0	1.5
Diseño Sn (cm.)				f(EE)	f(EE)	f(EE)
Espesor (cm.)				5	5	5
C. Estruct.				0.4	0.4	0.4
RECAPADO	No	Sí	Sí	No	No	No
Umbral IG		40%	40%			
Diseño Espesor (cm.)		3	5			
C. Estruct. (cm.)		0.3	0.3			
SELLO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Frecuencia	4	4	4	4	4	4
BACHEO						
%Sup. G (1)	5%	5%	5%	5%	5%	5%
% Máx. Acum. (2)	25%	25%	25%	25%	25%	25%

(1) % de la superficie agrietada que se bachea.

(2) % máximo acumulado en que se admite bacheo. Estas restricciones se relajan si la superficie total agrietada excede el 50%, caso en que el bacheo acumulado puede llegar a comprender el 100% de la superficie total.



Anexo N° 4

Matrices resultado políticas de conservación para casos tipo

El modelamiento del deterioro del pavimento en los distintos casos tipo y diferentes políticas alternativas de solución permitió determinar el resultado económico de dichas soluciones y concluir, a partir de ellas, cuál es la más recomendable en cada caso.

En las páginas siguientes se muestra el resultado económico obtenido, para cada caso tipo, al aplicar las diferentes políticas. Se indican el Beneficio Neto Actualizado (BNA) o Valor Actual Neto, la razón Beneficio/Costo y la Tasa Interna de retorno obtenidas al comparar cada una de ellas con la Política Base o situación de referencia.

Pavimentos rígidos (hormigón)

Los casos tipo se definieron como una combinación de tres variables. Para efectos prácticos, se codificó cada caso tipo bajo la forma CTXYZ en que X Y y Z representan los rangos de las variables que lo definen:

CTXYZ: Caso Tipo (CT) XYZ

X =

- 1: TMDA = 1500, valor típico del rango 0 - 2000
- 2: TMDA = 3000, valor típico del rango 2000 - 4000
- 3: TMDA = 5000, valor típico del rango 4000 - 6000
- 4: TMDA = 7000, valor típico del rango sobre 6000 (vehículos/día, promedio diario anual en 2 pistas)



Y =

- 1: V. PESADOS = 150, valor típico del rango 0 - 250
- 2: V. PESADOS = 500, valor típico del rango 250 - 750
- 3: V. PESADOS = 800, valor típico del rango sobre 750 (Buses equivalentes/día, promedio diario anual en 2 pistas).

Z =

- 1: P. ACTUAL = 1.0, valor típico del rango 0 - 1.5
- 2: P. ACTUAL = 1.8, valor típico del rango 1.5 - 2.0
- 3: P. ACTUAL = 2.3, valor típico del rango 2.0 - 2.5
- 4: P. ACTUAL = 2.8, valor típico del rango 2.5 - 3.0
- 5: P. ACTUAL = 3.3, valor típico del rango sobre 3.0

El Modelo de Deterioro admite un número muy grande de variables, y parámetros para precisar tanto la situación o condición actual del pavimento como las características del tramo analizado y las acciones de conservación aplicadas.

En este sentido, es necesario reiterar que los Casos Tipo y Políticas analizadas, cuyas consideraciones exceden de los 700 casos estudiados (entre hormigón y asfalto), sólo cubren una parte de las posibilidades de análisis admitidas por el Modelo de Deterioro.

Así, para las variables no definidas explícitamente en la formulación del Caso Tipo o Política, se adoptaron valores o criterios por defecto, que corresponden a la situación media o de ocurrencia más generalizada en las ciudades piloto encuestadas en detalle. Estas son:

- ◆ Calzada de 7m. de ancho, con dos pistas de circulación. Se evaluó una longitud estándar de 1000 m., lo que equivale a 7000 m² de pavimento.
- ◆ Espesor de losa 15 cm., para pavimento existente y proyectado.
- ◆ Largo de losa actual 7.5 m.
- ◆ Largo de losa al rehabilitar 4.5 m.

- ◆ 60% de grietas con orientación transversal. Valor corresponde al promedio observado en análisis detallado para Curicó.
- ◆ Índice P inicial del pavimento existente, cuando nuevo 4.0.
- ◆ Índice P inicial del pavimento nuevo, al rehabilitar 4.2.
- ◆ Índice P inicial de losa recién repuesta 4.0.
- ◆ Altura del cordón de sello, juntas y grietas 4 mm. Valor medio de mediciones experimentales.
- ◆ Factor de forma del cordón 0.6.

Los cuadros denominados “Resultados Políticas de Mantención Pavimentos de hormigón” que se encuentran en el siguiente icono para Excel 5.0 / 7.0, indican el resultado de las diferentes políticas aplicadas a cada caso tipo, así como la mejor política de acuerdo al criterio de selección máximo BNA o máximo B/C.

Microsoft[©] Excel 5.0 / 7.0



Hormigón.xls

La presentación se ha organizado en cuadros en los que, a cada casillero, corresponde un caso tipo (esto es, una combinación de estado del pavimento caracterizado por el Índice “P” actual; un nivel de demanda caracterizado por el TMDA y un nivel de solicitud caracterizado por el TMDA de vehículos pesados).

Para cada Caso Tipo (casillero) se indica el resultado de evaluar las diferentes Políticas (1 a 8), en comparación con la Políticas 0 o Base. Los indicadores económicos presentados son el Beneficio Neto Actualizado (BNA) o Valor Actual Neto, la razón Beneficio/Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Los casos en que esta última tiene varias soluciones se indican con ***.



Cada página corresponde, en el caso del hormigón a un nivel de sollicitación (Tránsito Pesado). Así para cada condición de pavimento (Índice “P” inicial), los Casos Tipo presentados en un mismo renglón solo difieren en el nivel de demanda total (TMDA), lo que corresponde a variar el número de beneficiarios sin variar la sollicitación (ni el consecuente deterioro).

Resulta entonces posible indicar en cada renglón, cuando el resultado de aplicar la política resulta análogo al de aplicar otra: cuando $P \leq 1,0$, resulta idéntico aplicar la Política 3 (rehabilitar $P \leq 2,5$), la Política 4 (rehabilitar cuando $P \leq 2,0$), que la Política 5 (rehabilitar si $P \leq 1,0$) ya que en todos los casos se rehabilita el primer año.

Asimismo, aplicar las políticas 6, 7 y 8 que admiten el reemplazo de losas resulta en la práctica, igual a aplicar sus monólogas 3, 4 y 5, por cuanto no se alcanza los umbrales necesarios para iniciar el reemplazo de losas ($IG > 150$). En virtud de lo expuesto en el párrafo anterior, todas estas políticas se remiten a la aplicación de la Política 5.

En cada renglón, además, se consigna el año en que se rehabilita, toda vez que ello se admite (Políticas 3 a 8) y se produce efectivamente.

Como resultado de la evaluación de las diferentes Políticas aplicadas a un mismo Caso Tipo, es posible identificar cual Política es la mejor. Así, para cada Caso Tipo, se indica en el casillero correspondiente la Política óptima seleccionada de acuerdo al criterio máximo BNA (recomendable en ausencia de restricción presupuestaria) o al criterio de máximo B/C (recomendable para priorizar obras pequeñas al interior de grandes programas de inversión).

En el caso en estudio, se estimó más razonable seleccionar en definitiva como política óptima aquella de máximo B/C, ya que existe una evidente restricción presupuestaria para abordar en el corto plazo todas las necesidades de conservación.



En la medida en que cada uno de los proyectos (casos tipo) estudiados pueda considerarse marginal en el contexto del Programa Global, puede admitirse que este criterio conduce efectivamente a la asignación óptima de recursos por la vía de buscar el máximo Beneficio por cada unidad (marginal) invertida en conservación.

Pavimentos flexibles (asfalto)

En pavimentos flexibles, los Casos Tipo se definen como una combinación de 4 variables.

Para efectos prácticos, se codificó cada caso tipo (CT) bajo la forma CTXYZW en que X, Y, Z y W representan las clases o rangos de las variables que lo definen.

CTXYZW: Caso Tipo (CT) XYZW

X =

- 1: TMDA = 1500, valor típico del rango 0 - 2000
- 2: TMDA = 3000, valor típico del rango 2000 - 4000
- 3: TMDA = 5000, valor típico del rango 4000 - 6000
- 4: TMDA = 7000, valor típico del rango sobre 6000 (vehículos/día, promedio diario anual en 2 pistas)

Y =

- 1: V. PESADOS = 150, valor típico del rango 0 - 250
- 2: V. PESADOS = 500, valor típico del rango 250 - 750
- 3: V. PESADOS = 800, valor típico del rango sobre 750 (Buses equivalentes/día, promedio diario anual en 2 pistas).

Z =

- 1: P. ACTUAL = 1.5, valor típico del rango 0 - 2.0
- 2: P. ACTUAL = 2.3, valor típico del rango 2.0 - 2.5
- 3: P. ACTUAL = 2.8, valor típico del rango 2.5 - 3.0
- 4: P. ACTUAL = 3.3, valor típico del rango sobre 3.0



W =

1: % GRIETAS = 10% valor típico del rango 0 - 15

2: % GRIETAS = 30% valor típico del rango sobre 15

La estructura de los pavimentos asfálticos actuales en la Ciudad Piloto de Iquique es más conocida, pero es necesario adoptar una estimación para efectos del modelamiento. Basándose en un diseño estándar adoptado en esa ciudad, de 4 a 5 cm. de carpeta de mezcla en sitios sobre 15 cm. de base a los que se agregan refuerzos (recapados) en caso de solicitudes importantes, se adoptaron los siguientes diseños característicos:

Solicitud	División Pavimentos Existente
150 horas equipo/día	Sn = 5,5 cm.
500 horas equipo/ día	Sn = 6,0 cm.
800 horas equipo/ día	Sn = 6,5 cm.

En cuanto a las políticas de conservación ensayadas (0 al 5), corresponden a las definiciones siguientes:

- ◆ Coeficiente estructural carpeta nueva 0.4.
- ◆ Coeficiente estructural carpeta existente 0.3.
- ◆ Pluviometría anual de 2 mm. concentrándose el 80% en 3 meses.
- ◆ Altura 10 m. s. n. m.
- ◆ Rugosidad pavimento recién rehabilitado 1330 mm/Km. (P = 4.2).
- ◆ Rugosidad pavimento recién recapado 2270 mm/Km. (P = 3.0).
- ◆ Espesor máximo acumulado de 10 cm. en recapados dentro del horizonte de simulación.
- ◆ Grietas acotadas al 50% de superficie, tras mantención, al inicio de cada año.
- ◆ No se admite una segunda rehabilitación dentro del horizonte de simulación.



Los cuadros denominados “Resultados Políticas de Mantención - Pavimentos de Asfalto”, que se encuentran en el siguiente iconos para Excel 5.0 / 7.0, indican el resultado de las diferentes políticas aplicadas a cada caso tipo, así como la mejor política de acuerdo al criterio de selección máximo BNA o máximo B/C.

Microsoft[®] Excel 5.0 /
7.0



La presentación de resultados y criterios de selección de Políticas para cada Caso Tipo (máximo B/C) son homólogos a los expuestos para el caso de pavimentos rígidos, habida consideración del parámetro adicional (agrietamiento) requerido para definir el estado actual del pavimento asfáltico. Por ello, cada página corresponde en este caso a una combinación de Agrietamiento y Tránsito Pesado, para el que se muestran los diferentes Casos Tipo definidos por el Índice “P” y TMDA.