

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Magíster en Ingeniería Civil



TESIS:

ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE LAS ACCIONES DE
MANTENIMIENTO DESARROLLADAS EN LOS PRINCIPALES CORREDORES
VIALES EN PAVIMENTO FLEXIBLE DE BOGOTÁ D.C. INCLUIDOS EN EL
PROGRAMA "DISTRITOS DE MANTENIMIENTO"

Por:

Maria Paola Villamizar Mansilla
200317041

Asesor:

Ing. Carlos Balen Valenzuela

Bogotá, Febrero 15 de 2004

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2. OBJETIVOS | 5 |
| 2.1 Objetivo General..... | 5 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 6 |
| 3. ALCANCE | 7 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 7 |
| 4.1 Segmentos viales con acciones de mantenimiento..... | 7 |
| 4.2 Segmentos viales con procesos de reconstrucción al finalizar la vida útil | 9 |
| 4.3 Modelo financiero..... | 9 |
| 5. ANTECEDENTES | 10 |
| 5.1 Definición de la Malla Vial..... | 10 |
| 5.2 Clasificación de las vías..... | 11 |
| 5.3 Tipos de Intervención..... | 17 |
| 5.3.1 Mantenimiento Rutinario..... | 18 |
| 5.3.2 Mantenimiento Periódico | 19 |
| 5.4 Creación de los distritos de mantenimiento..... | 21 |
| 5.5 Esquema general de los contratos de mantenimiento..... | 26 |
| 5.5.1 Fase I. Diagnostico..... | 26 |
| 5.5.2 Fase II - Intervención..... | 31 |
| 6. COSTOS DE MANTENIMIENTO | 32 |
| 6.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO | 32 |
| 6.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO PERIODICO | 37 |
| DESCRIPCION..... | 39 |
| 6.3 COSTOS DE RECONSTRUCCIÓN..... | 39 |
| 6.4 COSTOS DE LOS CONTRATOS DE DISTRITOS DE MANTENIMIENTOS DEL IDU..... | 40 |
| 7. DESARROLLO DEL MODELO | 41 |
| 7.1 MODELO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO..... | 43 |
| 7.1.1 Mantenimiento Rutinario..... | 44 |
| 7.1.2 Mantenimiento Periódico | 44 |
| 7.1.3 Etapa de Diagnóstico | 47 |
| 7.1.4 Etapa de manejo ambiental, desvíos de tráfico y AIU | 47 |
| 7.2 MODELO DE RECONSTRUCCIÓN | 48 |
| 7.3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD | 49 |
| 8. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CORREDOR A ANALIZAR | 49 |
| 9. MODELO COMPARATIVO CORREDOR AVENIDA FERNANDO MAZUERA...52 | |
| 9.1 MODELO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO..... | 54 |
| 9.1.1 Costo de Mantenimiento Rutinario..... | 55 |
| 9.1.2 Costos Mantenimiento Periódico..... | 56 |
| 9.1.3 Costos de Diagnóstico | 60 |
| 9.1.4 Costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y AIU | 60 |
| 9.2 MODELO DE RECONSTRUCCIÓN | 62 |
| 9.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD | 64 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 67 |

| | |
|---------------------------|----|
| 11. RECOMENDACIONES | 68 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 69 |

1. INTRODUCCIÓN

Las mayores inversiones en infraestructura física de cualquier ciudad del mundo se destinan a sus vías urbanas y zonas de espacio público. Como producto de dichas inversiones, se obtiene un inventario de corredores y redes viales, que requieren de políticas de mantenimiento que garanticen la sostenibilidad de las mismas.

Los pavimentos durante su vida útil presentan una serie de fenómenos de deterioro debido a factores externos tales como las acciones del tránsito y los cambios climáticos. Es por esto, la importancia que ha surgido en el país, y en especial en Bogotá por su carácter de Distrito Capital de generar un conjunto de acciones cuyo objetivo es planificar a corto, mediano y largo plazo los planes de mantenimiento y conservación que garanticen en un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de tránsito a las cuales se encuentran expuestas las vías.

Teniendo en cuenta que los recursos destinados para este esquema no alcanzan a cubrir la totalidad de las necesidades de la malla vial a cargo del Instituto de Desarrollo Urbano, se hace necesario estructurar un esquema que permita a lo

largo del tiempo distribuir dichos recursos de tal manera que se logre el mayor índice de cobertura posible.

Es por esto, que el Instituto de Desarrollo Urbano en el mes de Octubre del 2001 presentó al Honorable Concejo de Bogotá el proyecto de solicitud de vigencias futuras con cargo a los recursos de la sobretasa de la gasolina, con el fin de implementar y poner en marcha el proyecto de Distritos de Mantenimiento de la Malla Vial de Bogotá. El proyecto consistía en la creación de corredores viales de la ciudad a los cuales se les realizará labores encaminadas a su conservación.

Para lograr la consolidación definitiva del Proyecto Distritos de Mantenimiento el Instituto previó la contratación de una consultoría que estructurara técnica, legal y financieramente dichos distritos.

En el mes de enero del 2002 el Instituto de Desarrollo Urbano inició la contratación de la “Estructuración Técnica y Legal del Proyecto Distritos de Mantenimiento de la Malla Vial Arterial Principal, Complementaria e Intermedia de la Ciudad de Bogotá D.C.”, adjudicada al CONSORCIO VELNEC S.A. – CAPITAL WEB.

Por todo lo anterior, es importante para la ciudad y para el Instituto de Desarrollo Urbano, realizar un estudio y evaluación financiera del mantenimiento que desde hace aproximadamente un año se esta realizando en las principales vías de pavimento flexible de la ciudad y de esta forma conocer si dicha inversión es

menos costosa en términos financieros que la reconstrucciones de la vías, sin tomar en cuenta los beneficios sociales que traen dichas políticas de mantenimiento.

Para lograr lo anteriormente expuesto, en la presente tesis se realiza un análisis comparativo entre los escenarios de un mantenimiento a lo largo de la vida útil de la vía y otro donde la vía presente un deterioro normal de su condición a lo largo de su vida útil y se realice una intervención de reconstrucción al finalizar dicho periodo. Con estos escenarios comparativos se puede formular un modelo financiero que permita estimar en cualquier estado de condición de la vía y a través del tiempo sus costos de conservación. Asimismo, con el modelo se puede obtener una aproximación de los recursos a invertir en estos corredores viales para las futuras vigencias.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Efectuar una comparación de los costos asociados a las acciones de mantenimiento llevados a cabo desde hace aproximadamente un año en las vías arteriales principales de pavimento flexible de la ciudad de Bogotá con los procesos de reconstrucción realizados habitualmente en dichas vías sin planeación a mediano y largo plazo.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los componentes de costos para las acciones de mantenimiento y reconstrucción de las vías arteriales principales de la ciudad de Bogotá.
- Obtener los costos de las acciones de mantenimiento y reconstrucción de dichas vías.
- Analizar una curva promedio de deterioro para las vías arteriales principales para determinar en que momento de su vida útil es necesario realizar labores de mantenimiento periódico y reconstrucción.
- Formular un modelo financiero que permita comparar costos durante la vida útil del pavimento para vías con y sin acciones mantenimiento.
- Realizar las recomendaciones pertinentes obtenidas de analizar los resultados del modelo financiero formulado.
- Efectuar un análisis de sensibilidad de los costos de mantenimiento, que permitan definir que tipo de inversión en las vías resulta sostenible y menos costoso para la ciudad.

3. ALCANCE

Elaborar un modelo financiero que permita estimar si las acciones de mantenimiento a lo largo de la vida útil de pavimento resultan menos costosas que efectuar procesos de reconstrucción en las vías arteriales principales de Bogotá. Adicionalmente, comparar al realizar las acciones de mantenimiento que nivel del estado de la vía es más sostenible para la ciudad.

4. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para lograr los objetivos planteados se dividirá en segmentos de vías con mantenimiento y con procesos de reconstrucción.

4.1 Segmentos viales con acciones de mantenimiento

1. Se realizó el estudio del informe presentado por el Consorcio Velnec S.A – Capital Web para el IDU para la “Estructuración Técnica y Legal del Proyecto Distritos de Mantenimiento de la Malla Vial Arterial Principal, Complementaria e Intermedia de la Ciudad de Bogotá D.C.”, conociendo el origen y la estructuración de los contratos de mantenimiento que actualmente están en ejecución.
2. Se identificaron los corredores que hacen parte del programa distritos de mantenimiento.

3. Se estudio el informe de diagnóstico de los corredores incluidos en el programa distritos de mantenimiento, extrayendo la información de los segmentos del corredor, el resultado de la clasificación y el tipo de intervención requerida según el estado de cada segmento.
4. Se realizo un análisis de los costos que interfieren en el programa distritos de mantenimiento, donde se estudio las etapas de diagnostico, mantenimientos, interventoría, pólizas de seguros, plan de manejo de tráfico, plan de gestión social y ambiental; de las vías arteriales principales incluidas en el programa.
5. Se obtuvieron los precios de las diferentes intervenciones que se plantean realizar en el corredor según el informe de diagnóstico, extraídos de la base de datos de IDU para el programa Distritos de Mantenimiento y de la Dirección Técnica de Planeación.
6. Se calculo el costo de realizar las intervenciones especificadas en el informe de diagnóstico para convertir el corredor escogido a un estado bueno.
7. Se analizó las curva de deterioro para pavimento flexible elaborada con información extraída de la Propuesta Técnica de la Consultoría para el Desarrollo de la Fase II de la calibración de curvas de deterioro de los pavimentos de Bogotá, elaborado por TNM mediante contrato 072 - 2004 para determinar los periodos en que es necesario efectuar mantenimiento periódico

para el corredor escogido.

4.2 Segmentos viales con procesos de reconstrucción al finalizar la vida útil

1. Se efectuó la recopilación de información de los costos de reconstrucción del corredor escogido para realizar la inversión al finalizar la vida útil del pavimento.

4.3 Modelo financiero

1. Se implemento el modelo financiero comparativo de costos de mantenimiento y reconstrucción para el corredor a analizar, durante la vida útil del pavimento.
2. Se realizó una comparación de los costos de mantenimiento con los costos de reconstrucción del corredor escogido, analizando que opción es menos costosa en términos financieros mediante el VPN a una tasa de inflación e interés estimada.
3. Se realizó un análisis de sensibilidad, variando el estado de condición de la vía mediante acciones de mantenimiento, obteniendo opciones para mantener el pavimento de acuerdo al presupuesto destinado para dichos trabajos.

5. ANTECEDENTES

Debido a la limitación de recursos que cuenta el IDU para realizar mantenimiento a la malla vial de Bogotá es necesario conocer la jerarquización de las vías para priorizar las intervenciones a realizar.

5.1 Definición de la Malla Vial

La malla vial de la ciudad de Bogotá se encuentra jerarquizada de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial según decreto 619 de 2001 de la siguiente forma:

- La malla arterial principal.

Es la red de vías de mayor jerarquía que actúa como soporte de la movilidad y accesibilidad metropolitana y regional. La componen tres subsistemas:

- a. El subsistema del Centro Tradicional y la Ciudad Central.
- b. El subsistema metropolitano.
- c. El subsistema de integración ciudad – región.

- La malla arterial complementaria.

Es la red de vías que articula operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana.

- La malla vial intermedia

Está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma las mallas arterial principal y complementaria, sirviendo como alternativa de circulación a éstas. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal.

- La malla vial local.

Está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda.

- Intersecciones.

Son soluciones viales, tanto a nivel como a desnivel, que buscan racionalizar y articular correctamente los flujos vehiculares del Sistema Vial, con el fin de incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje y reducir la accidentalidad, la congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos.

5.2 Clasificación de las vías

Los corredores viales se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes índices de condición del pavimento:

- Índice de rugosidad internacional (IRI)

El Índice de Rugosidad Longitudinal Internacional (IRI) es una medida para determinar la regularidad superficial del pavimento expresada en metros por kilómetro (m/Km). Su cálculo es importante, ya que dependiendo del nivel de

rugosidad mejoran la movilidad, seguridad y confort de la vía. La clasificación del IRI se determina de la siguiente manera:

Tabla 1.
CLASIFICACIÓN DEL IRI

| IRI | ESTADO |
|------------|---------|
| 0 – 4 m/Km | Bueno |
| 4 – 8 m/Km | Regular |
| > 8 m/Km | Malo |

- **Índice de Falla (IF/ MDR)**

El Índice de Falla es una medida para determinar el nivel de las fallas superficiales que se presentan en el pavimento por acción de las cargas de tránsito y el clima durante su vida útil y el impacto que ellas generan en el comportamiento de la estructura. Existen dos metodologías para clasificar el pavimento:

La metodología Banco Mundial, en la cual el Índice de Falla se expresa como IF y se presentan rangos desde 0 hasta aproximadamente 120, donde 0 representa la inexistencia de fallas y 120 representa una superficie totalmente deteriorada.

La metodología PAVER, en la cual el Índice de falla se expresa como MDR, presenta un rango desde 0 hasta 100, donde 100 representa la inexistencia de fallas y 0 representa una superficie totalmente deteriorada.

La clasificación del MDR considerando las prioridades de movilidad, seguridad y estado actual de la malla vial, es la siguiente:

- **MDR excelente:** ausencia de fallas superficiales o presencia de fallas tipo fisuras, piel de cocodrilo incipiente y baches de severidad baja. La suma de la extensión total de las fallas deberá ser inferior al 25% del área total mantenida.
- **MDR bueno:** presencia de fallas tipo fisuras y baches de severidad media; piel de cocodrilo, ahuellamientos, hundimientos y corrugaciones. La suma de la extensión total de las fallas deberá ser inferior al 40% del área total mantenida.
- **MDR regular:** presencia de fallas tipo fisuras y baches de severidad alta; piel de cocodrilo, ahuellamientos, hundimientos y corrugaciones. La suma de la extensión total de las fallas deberá ser inferior al 60% del área total mantenida.
- **MDR malo:** presencia de fallas tipo baches, piel de cocodrilo, ahuellamientos, hundimientos y corrugaciones. La suma de la extensión total de las fallas será superior al 60% del área total mantenida.

Correlacionando la ocurrencia, tipo, severidad y extensión de las fallas expuestas en las calificaciones para cada una de las curvas de la metodología PAVER, se encuentran los siguientes rangos de MDR:

Tabla 2.
Rangos del MDR

| Rango del MDR | Clasificación |
|---------------|---------------|
| 79-100 | Excelente |
| 59-78 | Bueno |
| 40-58 | Regular |
| 0-39 | Malo |

- **Condición del Pavimento (ICP / OPI)**

Existen varios índices que permiten establecer la condición superficial del pavimento en función del Índice de Rugosidad Internacional y del Índice de Falla. En el proyecto de Inventario y Diagnóstico Vial de la Malla Vial de Bogotá se calcularon dos Índices, con el objeto de contar con datos que correlacionados permiten interpretar los resultados de una manera integral, los cuales se explican con mayor detalle en el Anexo A. La clasificación del estado de condición de los pavimentos según el ICP y el OPI es la siguiente:

Tabla 3
Rangos del ICP

| ICP | ESTADO |
|-----|--------|
|-----|--------|

| | |
|----------|---------|
| 70 – 100 | Bueno |
| 50 – 70 | Regular |
| 0 – 50 | Malo |

Tabla 4.
Rangos del OPI

| OPI | ESTADO |
|----------|-----------|
| 71 – 100 | Excelente |
| 51 – 70 | Bueno |
| 31 – 50 | Regular |
| 0 – 30 | Malo |

El estado de condición de cada uno de los segmentos, es un índice que se encuentra conformado por las siguientes variables:

- Numero estructural (S/N)
- Trafico definido como numero de ejes equivalentes de 8.2 toneladas
- Condición global de pavimento – OPI

Dichas variables evalúan tanto la condición superficial del pavimento como la condición de la estructura del mismo (S/N – Índice estructural), el cual se explica con mayor detalle en el Anexo B.

La clasificación de los estados de condición de las vías de acuerdo a los anteriores índices es la siguiente:

- **Vías Verdes: Estado de condición bueno**

Es el segmento o conjunto de segmentos para los cuales se prevé, la realización de labores de mantenimiento rutinario como actividades suficientes para sostener el Estado de Condición presentado por la vía al momento de su intervención y adicionalmente se realizan algunas actividades de parcheo.

- **Vías Amarillas: Estado de condición aceptable**

Corresponde al segmento o conjunto de segmentos para los cuales se prevé como regla general, la realización de actividades de mantenimiento rutinario como suficientes para sostener el Estado de Condición presentado por la vía al momento de su intervención. A diferencia de las anteriores, estas vías, requerirán la realización de obras y labores de mantenimiento periódico.

- **Vías anaranjadas: Estado de condición regular**

Es el segmento o conjunto de segmentos para los cuales se prevé, desde el inicio del contrato, la realización de labores de mantenimiento periódico como las únicas posibles para lograr obtener un estado de Condición Bueno.

- **Vías rojas: Estado de condición malo**

Es el segmento o conjunto de segmentos para los cuales, al inicio del contrato se prevé la necesidad de realizar actividades de reconstrucción. Estas vías no forman parte del programa de los Distritos de Mantenimiento.

Una vez identificados los colores de la totalidad de los segmentos correspondientes a los corredores previamente asignados a cada distrito por el Instituto de Desarrollo Urbano, el contratista debe presupuestar el costo de las intervenciones.

5.3 Tipos de Intervención

El modelo de mantenimiento, considera dos grandes tipos de intervención en las vías que conforman la malla vial arterial principal, malla vial arterial complementaria y malla vial intermedia, los cuales se denominan Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico.

5.3.1 Mantenimiento Rutinario

El Mantenimiento Rutinario corresponde a todas y cada una de las actividades necesarias para que el pavimento mantenga su vida útil conforme a las proyecciones de su ciclo de vida.

De acuerdo con la clasificación y calificación del estado vial (calificación de Tránsito, OPI y Número Estructural) para la Malla Vial Arterial Principal, Malla Vial Arterial Complementaria y Malla Vial Intermedia, es obligatorio mantener con actividades rutinarias todas y cada una de las vías clasificadas como Verdes, Amarillas y/o Naranjas, independientemente de las obras de Mantenimiento Periódico que se realicen en las mismas.

Este mantenimiento incluye varios trabajos que el contratista debe desarrollar a lo largo del plazo del contrato en todas y cada una de las vías objeto del contrato. Las actividades que incluye el Mantenimiento Rutinario son las siguientes:

- 1) En la calzada y separadores: limpieza de cunetas y/o bermas, limpieza de alcantarillas, limpieza de pozos de inspección, limpieza de sumideros.
- 2) En los pavimentos: sello de fisuras, sello superficial (en presencia de pérdida de finos y/o peladuras) y limpieza y sello de juntas. Asimismo,

cuando la extensión de las fisuras, la pérdida de finos y las peladuras lo ameriten, se consideran tres actividades alternativas de mantenimiento rutinario: lechada asfáltica (slurry seal), sello de arena asfalto y tratamiento superficial simple (cheap seal).

5.3.2 Mantenimiento Periódico

El Mantenimiento Periódico corresponde a todas y cada una de las actividades necesarias para solucionar por un lapso de tiempo corto los problemas de fallas superficiales y aumentar la vida residual estructural de los pavimentos, los cuales inciden en el nivel de serviciabilidad, movilidad, confort y seguridad vial.

De acuerdo con la clasificación y calificación del estado vial (calificación de tránsito, OPI y Número Estructural) para la Malla Vial Arterial Principal, Malla Vial Arterial Complementaria y Malla Vial Intermedia, es obligatorio reparar las fallas superficiales en todas y cada una de las vías clasificadas como Verdes, Amarillas y/o Naranjas que poseen capacidad de soporte estructural, independientemente de las actividades de Mantenimiento Rutinario que se realicen en las mismas.

Este mantenimiento incluye varios tipos y niveles de intervención en la estructura de pavimento, dependiendo del porcentaje de área afectada y severidad de las fallas superficiales que se presenten, las cuales son calificadas a través del OPI,

medida que depende del Índice de Falla Superficial (MDR) y del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), explicado anteriormente.

Así mismo, se hace necesario que la estructura de pavimento a mantener posea capacidad de soporte estructural, ya que desde el punto de vista económico no es aconsejable mantener periódicamente estructuras sin vida estructural por el nivel de intervención que se requiere, el cual se ve reflejado en los costos de estas intervenciones. La capacidad de soporte de las estructuras de pavimento flexibles se mide a través del cálculo del Número Estructural (SN).

Del diagnóstico superficial de los pavimentos (tipo de daños, magnitud y severidad) y los resultados de OPI y SN, se deciden intervenciones de mantenimiento periódico entre las siguientes: parcheos, bacheos, riegos de agregados y asfalto, sellos cheap seal, morteros asfálticos (slurry seal), micro aglomerados, nivelación de la rasante, sobre carpetas y reciclados de las carpetas asfálticas y/o materiales granulares en el sitio.

De acuerdo a la anterior clasificación de mantenimiento, se puede deducir las intervenciones a realizar según el estado de la vía, mediante los siguientes rangos:

Tabla 5.
Intervenciones a Realizar

| Rango de IRI | Rango de IF | Rango de ICP | Rango de MDR | Rango de OPI | Tipos de Intervención |
|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 0-6 | 0-30 | 70-100 | 79-97 | 70-100 | Mantenimiento Rutinario Mantenimiento Periódico con un nivel bajo |
| 7-9 | 30-50 | 50-70 | 40-78 | 30-70 | Mantenimiento Rutinario Mantenimiento Periódico con un nivel medio a alto |
| > 10 | > 50 | 0-50 | 0-39 | 0-30 | Reconstrucción y/o Construcción Mantenimiento Rutinario posterior |

Fuente: Consorcio Velnec S.A. – Capital Web

5.4 Creación de los distritos de mantenimiento

La necesidad de intervenciones en la malla vial arterial principal y complementaria de la ciudad de Bogotá hizo necesario planear un modelo de mantenimiento a largo plazo que mantenga y mejore el nivel de servicio de los corredores. Debido a que los recursos han sido limitados para el mantenimiento de los pavimentos se hizo imprescindible estructurar un modelo flexible y sostenible que permita en el mediano plazo la inversión en las principales vías, las cuales se encuentren en mejor estado para cubrir la mayor área posible de pavimento. Para la estructuración de dicho modelo, se creó el contrato para la “Estructuración Técnica y Legal del Proyecto Distritos de Mantenimiento de la Malla Vial Arterial Principal, Complementaria e Intermedia de la Ciudad de Bogotá D.C.”, el cual presenta una guía metodológica de alternativas de intervenciones aplicables a cualquier

situación, que se reflejaron en la creación inicial de los contratos de mantenimiento denominados Distritos de Mantenimiento.

Los principios y lineamientos de la política de mantenimiento bajo los cuales se estructuraron los actuales contratos de mantenimiento son:

- *Duración de los contratos de Mantenimiento:* La duración de los contratos mediante los cuales se ejecuta el mantenimiento será de dos años, plazo dentro del cual el respectivo contratista o responsable de las obras, garantiza su atención. El tiempo propuesto obedece a la necesidad de que exista un tiempo prudencial dentro del desarrollo de los contratos que permita al contratista conocer las vías a su cargo y así programar las inversiones e intervenciones de manera tal que se optimicen los recursos a su disposición. Así mismo, tendrá la posibilidad de aplicar tecnologías y maquinarias de pavimentos que permitan dar soluciones óptimas a los problemas que en la actualidad se presenta sobre la malla vial.
- *Prioridad de inversiones para mejorar la movilidad en la ciudad:* Con este principio se pretende asegurar que las inversiones se orienten a los corredores sobre los cuales se presenta el mayor tránsito o tráfico de la ciudad, representado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas. Lo anterior, con el fin de lograr un mejor nivel de servicio sobre las vías más transitadas, permitiendo disminuir el tiempo de traslado de los usuarios de un punto a otro, así como los costos de operación del parque automotor.

- *Prioridad de intervención sobre los segmentos en mejor estado:* De acuerdo con las investigaciones adelantadas a nivel mundial por diferentes universidades e instituciones dedicadas a la investigación de los pavimentos, se ha determinado que la inversión oportuna en vías cuyo deterioro no se encuentra muy avanzado es mucho más eficiente, pues de no realizarse las mismas a tiempo podría resultar cuatro o cinco veces más costosa la intervención.
- *Mayor cobertura sobre la malla vial de la ciudad:* Teniendo en cuenta que los recursos destinados para este esquema no alcanzan a cubrir la totalidad de las necesidades de la malla vial a cargo del IDU, se hace necesario estructurar un esquema que permita a lo largo del tiempo distribuir estos recursos de manera tal que se logre el mayor índice de cobertura posible.

Los parámetros que permitieron determinar las vías que se incluyeron dentro del esquema de mantenimiento que se aplica en la ciudad de Bogotá son:

1. *Distribución de la ciudad en Distritos de Mantenimiento:* Inicialmente se plantearon dos esquemas de la distribución de estos, de los cuales El Instituto de Desarrollo Urbano escogió los corredores viales, definido como la agrupación de corredores viales que integran la ciudad y que no se encuentran definidos como corredores del Sistema Transmilenio construidos, en construcción o con horizonte de construcción menor al

plazo del contrato. Las ventajas y desventajas obtenidas del análisis de la consultoría contratada por el IDU son las siguientes:

Tabla 6.
Ventajas y desventajas de corredores viales

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|---|
| Mayor facilidad de manejo de tráfico, ya que esta actividad estaría a lo largo del corredor manejada por una sola persona. | La asignación de recursos no sería equitativa para toda la ciudad, lo que generaría bajos índices de cobertura. Así mismo, se puede correr el riesgo de dejar excluidos del programa varios sectores de la ciudad. |
| Mejor identificación por parte de la ciudadanía de los contratistas que están interviniendo cada corredor. Por lo anterior, se facilitaría la veeduría ciudadana sobre las obras a ejecutar en cada vía. | Las economías de escala no serían muy aplicables, ya que para el caso de grandes corredores el contratista deberá realizar un transporte mayor de maquinaria, personal y de materiales, lo cual puede encarecer altamente el contrato. |
| Se logra mejorar las condiciones de movilidad en el corredor intervenido. | Falta de recursos para acometer la totalidad del corredor. Esta situación se puede presentar debido a que al momento de distribuir los recursos destinados para este programa, no se conoce con exactitud el valor a invertir sobre cada vía. |

Fuente: Consorcio Velnec S.A. – Capital Web. Informe mensual No.4 Contrato No. 044 del 2002,

2. Clasificación de la malla vial de acuerdo al POT: En el Plan de Ordenamiento Territorial del año 2000, se introdujo el esquema de análisis vial, en función de las mallas conformadas por la red vial principal, complementaria, intermedia y local.

3. Jerarquización de las vías por movilidad: Para establecer un criterio de jerarquización que ordene en forma descendente los corredores viales que por sus características y contribución a la movilidad de la ciudad se mantengan en un estado aceptable con un programa de mantenimiento rutinario periódico se analizó la capacidad, demanda vehicular y uso del suelo.

Los tres criterios anteriormente mencionados permitieron definir las vías que se incluyeron en los contratos de Distritos de Mantenimiento Fase I, las cuales son:

Tabla 7
Distritos de Mantenimiento Fase I

| CORREDOR | ÁREA INTERVENCIÓN (m²) |
|---|--|
| Avenida Calle 26 de carrera 3 ^a a Avenida C. Cali | 301.230 |
| Avenida Boyacá de calle 90 sur a Avenida Dorado y de calle 127 a Avenida San José | 571.857 |
| Avenida carrera 68 de transversal 33 a calle 80 | 327.320 |
| Calle 100 de calle 80 a carrera 7 ^a | 128.459 |
| Avenida carrera 7 ^a de calle 26 a Límite Chía | 402.618 |
| Autopista Llano de calle 90 sur a Consesión | 69.438 |
| Avenida carrera 10 ^a de Avenida Villavicencio a calle 26 | 83.714 |
| TOTAL | 1.884.638 |

Fuente: Evaluación contratistas Fase I.

Elaboró: Dirección Técnica de Malla Vial-Subdirección Técnica de Mantenimiento.

Las vías jerarquizadas mediante los criterios anteriormente mencionados se priorizan con base en el estado de condición para la inversión de los recursos del programa de mantenimiento de las vías que están en mejor estado hacia las que se encuentran en condiciones regulares o malas.

5.5 Esquema general de los contratos de mantenimiento

El plazo para los contratos de mantenimiento es de dos (2) años, periodo que incluye el desarrollo de dos fases básicas, Fase de Diagnóstico y Fase de Intervención, con el alcance que se establece a continuación.

5.5.1 Fase I. Diagnostico

El plazo para la Fase de Diagnostico es de dos meses, durante esta fase se adelantaron las siguientes actividades:

- Realizar el diagnóstico de la vía, el cual consta de la identificación física de fallas de cada uno de los segmentos que componen los corredores de cada distrito, determinación del número estructural de acuerdo a la metodología de la clasificación de los segmentos, determinación del IRI de cada segmento, determinación de la clasificación de estado (verde, amarillo, naranja y rojo) de cada segmento y el tipo de intervención de acuerdo con la metodología de

clasificación diseñada por la consultoría contratada por el IDU, determinación del presupuesto de intervención para el corredor asignado (mantenimiento periódico y rutinario).

- Programación de las intervenciones de mantenimiento.
- Implementación de programas operativos a niveles de señalización y desvíos con el fin de disminuir los traumatismos en el tráfico y posible accidentalidad durante las labores de mantenimiento¹.
- Implementación de los programas de manejo ambiental para mitigar las posibles alteraciones que se generen por este tipo de obras.
- Implementación de la programación y logística necesaria para realizar el mantenimiento rutinario y periódico de las vías a su cargo, en los sitios identificados por el contratista y la interventoría, el Instituto de Desarrollo Urbano o la comunidad en un plazo determinado, a fin de evitar traumatismos en la movilidad y accidentes a los usuarios de las vías.
- Coordinación con las demás Empresas de Servicios Públicos de las obras que impliquen intervenciones en los corredores viales cedidos y estar atento de la calidad y tipo de solución aplicada, con el fin de reportar las posibles deficiencias.
- Informar a las entidades competentes sobre deficiencias en señalización y semaforización, con el fin de prevenir accidentes.
- Informar a las entidades competentes sobre deficiencias en el sistema de drenaje del Distrito.

¹ Esta actividad prevalece a lo largo del contrato.

- Realizar todas aquellas actividades que técnica, económica y operativamente sean necesarias para mantener las vías a su cargo en un índice de condición global igual o superior al resultante por el mantenimiento rutinario y periódico realizado.

Alcance:

Corresponde a la realización en campo del inventario físico y de fallas presentes en la estructura del pavimento, para cada uno de los segmentos que componen los corredores involucrados en los Distritos de Mantenimiento. Esta identificación y evaluación visual del pavimento, se adelantará conjuntamente con el Interventory deberá ser complementada con:

- Ensayos de deflección sobre la totalidad de los segmentos viales, utilizando equipo especializado de alto rendimiento como el Lacroix o el Folling Weight Deflectometer (FWD) entre otros.
- Medición de la rugosidad (IRI) de la totalidad de los segmentos.
- Determinación del espesor de las capas asfálticas o granulares por medio de georadar.

El anterior procedimiento permite al contratista junto con el interventor calcular el OPI (Índice de Condición Global de Pavimento) y el número estructural (SN) para cada segmento.

Una vez definidas estas variables y de acuerdo con la base de datos de tráfico suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano - IDU al contratista, este deberá determinar por medio de la matriz de clasificación del estado del pavimento la clasificación real de cada segmento (verde, amarillo, naranja o rojo).

Concluida esta actividad, el contratista elaborará un Programa de Obra y Recursos que incluya el presupuesto para las actividades de mantenimiento rutinario y periódico de cada segmento.

Las actividades de diagnóstico se realizaron en el contrato en tres (3) etapas:

Primera Etapa de Diagnóstico: Al iniciar el contrato, aplicando el procedimiento descrito anteriormente.

Segunda Etapa de Diagnóstico: Una vez transcurrido el 50% del plazo establecido con el fin de reclasificar los corredores viales. La segunda etapa de diagnóstico tiene por objetivo verificar el estado de condición de los pavimentos y determinar las medidas correctivas y/o preventivas que deberá implementar el contratista con el fin de entregar los corredores con el índice de condición solicitado en la matriz de clasificación del estado del pavimento.

En esta etapa no será necesario medir el espesor de las capas granulares de los pavimentos; sin embargo, si se deberá inventariar nuevamente las fallas de cada segmento y realizar la medición de la rugosidad y la deflección, con el fin de

determinar el OPI y en conjunto con la interventoría comparar los resultados con los inicialmente definidos.

Tercera Etapa de Diagnóstico: A la finalización del contrato. La tercera etapa de diagnóstico tiene por objetivo el de determinar el estado de condición final en el que el contratista entrega los corredores incluidos en el Distrito de Mantenimiento, el cual debe corresponder al mínimo establecido en la matriz de clasificación del estado del pavimento. En el evento de que por alguna circunstancia algún segmento o segmentos de(los) corredor(es) no cumpla(n) con lo mínimo establecido, el interventor deberá requerir al contratista para que intervenga tal(es) segmento(s) con el fin que cumpla con lo definido. Al igual que en la etapa dos (2) del diagnóstico no será necesario medir el espesor de las capas granulares de los pavimentos, sin embargo si se deberá inventariar nuevamente las fallas de cada segmento y realizar la medición de la rugosidad y de deflección, con el fin de determinar el OPI y en conjunto con la interventoría comparar los resultados con los inicialmente inventariados.

Las etapas de diagnóstico serán pagadas por parte del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU en forma global en cada una de las oportunidades en que se realicen.

5.5.2 Fase II - Intervención

Esta fase tiene un plazo de 22 meses y esta identificada como de mantenimiento rutinario y periódico de la totalidad de vías asignadas al Distrito de Mantenimiento.

El mantenimiento rutinario se realizará a las vías verdes, amarillas y anaranjadas de la totalidad de los corredores, para la cual se propone la asignación de una suma mensual fija con la cual deberán realizar inspecciones rutinarias a la totalidad de las vías asignadas, con el fin de detectar problemas puntuales en el pavimento (fisuras, grietas y saturación de alcantarillas y pozos) y solucionarlos en un tiempo determinado. En el evento que alguna de las vías amarillas, presente un índice de condición que indique la necesidad de realizarle un mantenimiento periódico, el contratista lo deberá realizar con el fin de aumentarle su índice de condición y posteriormente deberá aplicarle el mantenimiento rutinario general.

El pago de esta actividad se realizará como un global, que se medirá por metro cuadrado mantenido por mes.

En cuanto al mantenimiento periódico el contratista deberá intervenir todos los segmentos que presenten fallas tales como baches, pieles de cocodrilo, hundimientos, entre otras. El pago de estas actividades es por metro cúbico intervenido.

Al finalizar esta Fase y en conjunto con la Interventoría del contrato, se deberá realizar un acta en donde se establezca el índice de condición para todos los corredores entregados en administración y establecer una comparación con los valores de este índice establecidos en la Fase I. Si existieran corredores con un Índice de condición menor al establecido, el contratista deberá entrar a solucionar técnicamente los problemas estructurales de dichos pavimentos con el fin de aumentar el índice y así proceder a la terminación del contrato.

6. COSTOS DE MANTENIMIENTO

6.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO

Las acciones de mantenimiento rutinario para pavimento flexible se componen de: Limpieza de pozos de inspección, limpieza de sumideros, limpieza de cunetas o bermas, limpieza de tuberías, sello de fisuras y pintura asfáltica.

Con el fin de determinar el costo global – mensual del mantenimiento rutinario que se paga por cada metro cuadrado ejecutado, se analizó por parte de la consultoría contratada por el IDU el estimado mensual de cantidad de fisuras, pintura asfáltica, limpieza de sumideros, tuberías, pozos y sello de juntas que se presentarán en las vías. Como resultado de dicho análisis se obtuvieron los siguientes datos:

- **Sello de Fisuras**

Se determinó que en un tramo de 10 metros, con un ancho de calzada promedio de 7 metros, se presentarán 15.13 metros lineales de fisuras cada mes. Es decir que por cada metro cuadrado de dicho tramo se presentarán 0.22 metros lineales de fisura.

Si se multiplica esa cantidad de metros lineales por un ancho aferente de fisura de 10cm y a su vez se multiplica por el precio unitario del sello de fisuras (1,000 \$/M²) se obtiene que el presupuesto mensual por este concepto es de 22 \$/M².

- **Pintura Asfáltica**

Se estimó que en un tramo de 10 metros, con un ancho de calzada promedio de 7 metros, se presentarán 3.56 metros cuadrados de Pintura Asfáltica cada mes. Es decir que por cada metro cuadrado de dicho tramo se presentarán 0.05 metros cuadrados de pintura asfáltica.

Si se multiplica dicha cantidad por el valor unitario de esta actividad (1,150 \$/M²) se obtiene que el presupuesto mensual por este concepto es de 58.5 \$/M².

- **Sello de Juntas**

Se estimó que en una losa promedio de 3.50 metros x 3.80 metros se presentarán 9.2 metros lineales de juntas efectivas. Así mismo se estimó que al inicio del contrato, se deberán reemplazar el 80% de la totalidad de las juntas que se presenten en un corredor con pavimento rígido y que a la mitad y al finalizar el contrato se deberán reemplazar el 20% (en cada evento) de la totalidad de las juntas del corredor.

En tal sentido se determinó que por cada metro cuadrado de losa se deberán reemplazar durante la vigencia del contrato aproximadamente 0.83 metros lineales de juntas, lo cual representa que mensualmente se deberán reemplazar en promedio 0.0346 metros lineales de junta por cada metro cuadrado de losa.

Si se multiplica tal valor por el precio unitario de dicha actividad (4,090 \$/Ml) se obtiene un presupuesto mensual por este concepto de 141 \$/M².

- **Limpieza de pozos**

Se estimó que en un tramo de 10 metros, con un ancho de calzada promedio de 7 metros, se presentarán 0.2 pozos. Suponiendo que el máximo volumen de colmatación es el 30% del mismo y que se presentará una colmatación mensual del 5% mensualmente, se obtiene que se deberán limpiar 0.015 metros cúbicos por tramo cada mes.

Es decir que por cada metro cuadrado de dicho tramo se tendrán que limpiar 0.0002 metros cúbicos. Si se multiplica dicha cantidad por el valor proporcional de la limpieza de un pozo de inspección se obtiene que el presupuesto mensual por este concepto es de 15.84 \$/M².

- **Limpieza de sumideros**

Se estimó que en un tramo de 10 metros, con un ancho de calzada promedio de 7 metros, se presentarán 0.4 sumideros. Suponiendo que el máximo volumen de colmatación es el 30% del mismo y que se presentará una colmatación mensual del 5% mensualmente, se obtiene que se deberán limpiar 0.025 metros cúbicos por tramo cada mes.

Es decir que por cada metro cuadrado de dicho tramo se tendrán que limpiar 0.0004 metros cúbicos. Si se multiplica dicha cantidad por el valor proporcional de la limpieza de un sumidero de inspección se obtiene que el presupuesto mensual por este concepto es de 11.79 \$/M².

- **Limpieza de Tuberías**

Se estimó que en un tramo de 10 metros, con un ancho de calzada promedio de 7 metros, se presentarán 0.4 tuberías. Suponiendo que el volumen promedio de las tuberías es de 1 M³ y que se deberán limpiar mensualmente por tramo 0.17

tuberías, se obtiene que por cada metro cuadrado se deberán limpiar 0.0024 tuberías por cada mes.

Es decir, si se multiplica dicha cantidad por el valor proporcional de la limpieza de una tubería se obtiene que el presupuesto mensual por este concepto es de 80.76 \$/M2.

De las anteriores deducciones se obtiene los siguientes cuadros resúmenes para las actividades de mantenimiento rutinario de pavimentos flexibles.

Tabla 8.
Actividades mantenimiento rutinario

| | |
|---|--------------|
| SELLO DE FISURAS | |
| NUMERO MAXIMO DE FISURAS EN 70 M2 (ML/M2) | 15.13 |
| NUMERO MAXIMO DE FISURAS POR M2 (ML/M2) | 0.2200 |
| AREA DE FISURAS POR M2 (AREA AFERENTE 0.1 CM) | 0.02 |
| COSTO DE SELLO DE FISURAS POR M2 | 1000 |
| COSTO DE SELLO DE FISURAS POR MES/M2 | 22.00 |
| PINTURA ASFALTICA | |
| NUMERO MAXIMO DE FISURAS EN 70 M2 (M2/M2) | 3.56 |
| NUMERO MAXIMO DE FISURAS POR M2 (M2/M2) | 0.0509 |
| COSTO DE SELLO DE FISURAS POR M2 | 1,150.00 |
| COSTO DE SELLO DE FISURAS POR MES/M2 | 58.49 |
| LIMPIEZA DE POZOS | |
| SATURACION MENSUAL DE POZO EN 70M2 (M3/M2) | 0.015 |
| SATURACION MENSUAL DE POZO POR M2 (M3/M2) | 0.0002 |
| COSTO DE LIMPIEZA SATURACION MAXIMA DE POZO (1M3) | 73,897.00 |
| COSTO DE LIMPIEZA MENSUAL DE POZO | 15.84 |
| LIMPIEZA DE SUMIDEROS | |

| | |
|--|--------------|
| SATURACION MENSUAL DE SUMIDERO EN 70M2 (M3/M2) | 0.025 |
| SATURACION MENSUAL DE SUMIDERO POR M2 (M3/M2) | 0.0004 |
| COSTO DE LIMPIEZA SATURACION MAXIMA DE SUMIDERO (1M3) | 33,014.71 |
| COSTO DE LIMPIEZA MENSUAL DE SUMIDERO | 11.79 |
| LIMPIEZA DE TUBERIAS | |
| NUMERO DE TUBERIAS A LIMPIAR EN 70M2 | 0.17 |
| NUMERO DE TUBERIAS A LIMPIAR POR M2 | 0.0024 |
| VOLUMEN MAXIMO DE COLMATACION DE TUBERIA (M3) | 0.30 |
| VOLUMEN DE LIMPIEZA POR M2 | 0.0007 |
| COSTO DE LIMPIEZA POR TUBERIA (1M3) | 110,850.00 |
| COSTO DE LIMPIEZA MENSUAL POR TUBERIA (1M3) | 80.76 |
| COSTO GLOBAL MENSUAL DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PAVIMENTO FLEXIBLE (MES/M2) – SIN AIU | |
| 188.88 | |

Fuente: Consorcio Velnec S.A. – Capital Web

Los análisis de precios unitarios fueron realizados en el año 2002, por tal motivo se realizará la actualización de precios al realizar el flujo financiero.

6.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO PERIODICO

El Mantenimiento Periódico corresponde a todas y cada una de las actividades necesarias para solucionar por un lapso de tiempo los problemas de fallas superficiales en los pavimentos a mantener, los cuales inciden en el nivel de servicio, movilidad y seguridad de la vía.

Con el Mantenimiento Periódico se pretende detener el deterioro progresivo de la estructura de pavimento, aumentar el periodo de vida útil de la estructura de pavimento y mejorar el nivel de servibilidad, movilidad, seguridad y confort.

Adicionalmente, se hace necesario que la estructura de pavimento a mantener posea capacidad de soporte estructural, ya que desde el punto de vista económico no es aconsejable mantener periódicamente estructuras sin vida estructural por el nivel de intervención que se requiere, el cual se ve reflejado en los costos de estas intervenciones. La capacidad de soporte de la estructura de pavimento se mide a través del cálculo del Número Estructural (SN), explicado en el Anexo B.

Dependiendo del porcentaje de área de pavimento afectada y de la severidad de las fallas, se establecerá para cada segmento las actividades de Mantenimiento Periódico que se deben ejecutar sobre el mismo. Las actividades incluidas dentro del diagnóstico del corredor escogido se detallan a continuación: fresado, rodadura asfáltica MDC2 modificado con polímeros, microaglomerado, nivelación de pozos y parcheos.

Cada una de las actividades que corresponden al Mantenimiento Periódico se medirá de acuerdo a la clase de actividad. Esta unidad se medirá y pagará por volumen intervenido.

Los costos por unidad de volumen para cada una de las actividades propuestas, se obtuvieron mediante cálculos realizados por el consorcio contratado por el IDU,

de la base de datos de la Dirección Técnica de Planeación y del Programa Distritos de Mantenimiento del IDU y se presentan a continuación:

Tabla 9.
Costos de mantenimiento periódico

| DESCRIPCION | UNIDAD | PRECIO UNITARIO |
|--|--------|-----------------|
| Suministro, colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada con polímeros MDC-1 | M3 | 284,997.92 |
| Suministro, colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada con polímeros MDC-2 | M3 | 308,997.92 |
| Suministro, colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada con polímeros MDC-3 | M3 | 322,197.92 |
| Suministro, colocación y compactación de microaglomerado en caliente tipo F, mezcla discontinua (3 cm) | M2 | 16,551.00 |
| Nivelación de pozo existente hasta la rasante | UN | 65,548.00 |
| Fresado de calzada en pavimento asfáltico (incluye retiro de sobrantes) | M2 | 2,954.00 |
| Parcheo mecánico con fresadora (incluye retiro de sobrantes) (MDC-1) (15 cm) | M2 | 44,667.00 |

6.3 COSTOS DE RECONSTRUCCIÓN

Las actividades de reconstrucción para pavimentos flexibles se resumen a continuación, con sus respectivos precios, obtenidos de la pagina web del IDU:

Tabla 10
Costos de Reconstrucción

| ACTIVIDAD | UN | PRECIO UNITARIO |
|---|----|-----------------|
| Replanteo General | M2 | 279.00 |
| Excavación mecánica | M3 | 2,290.00 |
| Cargue y transporte de material sobrante | M3 | 11,270.00 |
| Demolición pavimento asfáltico espesor variable | M3 | 14,202.00 |

| | | |
|---|----|------------|
| Subbase granular sección 13 A IDU | M3 | 29,076.00 |
| Base granular sección 14 IDU | M3 | 35,048.00 |
| Base asfáltica MDC-1 modificado con polímeros | M3 | 266,570.00 |
| Sum. Coloc. Base asfáltico normalizada e=8 cm | M3 | 307,272.00 |
| Anden en loseta prefabricada | M2 | 40,137.00 |
| Sardinell prefabricado A-10 según cartilla de Espacio Público | ML | 38,429.00 |

Fuente: Página Web del IDU.

6.4 COSTOS DE LOS CONTRATOS DE DISTRITOS DE MANTENIMIENTOS DEL IDU

Los costos incluidos en los contratos del Programa Distritos de Mantenimiento de IDU, analizados por la consultoría contratada por el Instituto como Diagnósticos en la primera, segunda y tercera etapa, programa de manejo ambiental y programa de desvíos, se resumen a continuación:

Tabla 11
Costos de los contratos de mantenimiento del IDU

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | PRECIO UNITARIO |
|--|-------------|-----------------|
| Diagnóstico primera etapa – comienzo contrato (georadar, deflectómetro, perfilografo, levantamiento de inventario, alimentación base de datos, programación, clasificación vial) Incluye insumos, transporte, colocación y mano de obra | Km – Carril | 500,000.00 |
| Diagnóstico segunda etapa – mitad contrato (deflectómetro, perfilografo, levantamiento de inventario, alimentación base de datos, programación, clasificación vial) Incluye insumos transporte, colocación y mano de obra | Km – Carril | 350,000.00 |

| | | |
|--|-------------|-----------------------------------|
| Diagnóstico tercera etapa – final contrato (deflectómetro, perfilografo, levantamiento de inventario, alimentación base de datos, programación, clasificación vial) Incluye insumos transporte, colocación y mano de obra | Km – Carril | 350,000.00 |
| Programa de manejo ambiental | Gl | 2.5% del presupuesto del Distrito |
| Programa de desvíos de tráfico | Gl | 2.5% del presupuesto del Distrito |

Fuente: Consorcio Velnec S.A. – Capital Web

7. DESARROLLO DEL MODELO

Se escoge un corredor incluido en el programa distritos de mantenimiento del IDU, posteriormente analiza el informe de diagnóstico de la primera etapa del corredor escogido, el cual contiene la clasificación de los segmentos del corredor, obtenidos mediante la utilización de los flujos de procesos de mantenimiento, presentados en el Anexo C.

Los resultados de la clasificación por estado de condición para cada segmento contiene el segmento en secuencia de avance, su nomenclatura, nodo de inicio y nodo de finalización, longitud, ancho de calzada, área, número de carriles, índice de Rugosidad Internacional (IRI) en m/Km, índice de daños superficiales del pavimento (MDR), índice de condición global del pavimento (OPI), número estructural efectivo (SN), número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas a 4 años, color de clasificación según estado y Ficha de flujo de Mantenimiento.

Adicionalmente se presenta la información de los daños en porcentaje, y las intervenciones que se deben realizar según el Flujo de Mantenimiento.

En base a la anterior información se inicia el procedimiento para realizar la comparación financiera basada en dos escenarios, en el primero se permite que el corredor se deteriore durante su vida útil sin realizar ningún tipo de intervención, siendo necesario reconstruir la totalidad del corredor al finalizar el periodo de diseño. El segundo escenario mantiene el corredor en un estado verde, lo cual indica una condición buena del pavimento, para esto es necesario utilizar una curva de deterioro que indiquen en que momento el corredor pasaría de un estado verde a un estado amarillo por medio del calculo del OPI, en dicho momento en que cambie de clasificación se realiza la intervención sugerida para volver la totalidad del corredor a color verde, de esta forma se calculan los costos para que el corredor escogido este durante toda su vida útil en un estado bueno.

Teniendo los dos escenarios de inversiones es posible calcular cual de los dos casos es menos costoso y en que porcentaje, sin tener en cuenta los beneficios sociales, ni los costos del parque automotor que conlleva el segundo caso.

Adicionalmente, se realiza un tercer escenario donde el corredor inicialmente se encuentra en un estado verde, permitiendo que se deteriore hasta una clasificación amarilla, lo cual indica una condición aceptable del pavimento, realizando intervenciones cada vez que el pavimento se deteriore hasta un estado

naranja para volverlo a subir a un estado amarillo, manteniéndolo durante toda su vida útil en un estado de condición aceptable. Este tercer escenario se plantea como una alternativa viable para mantener las vías de Bogotá en un estado de condición aceptable, ya que es una opción más económica que el segundo escenario planteado, debido a la limitación de recursos con que cuenta la ciudad.

Para realizar la comparación financiera entre corredores con y sin mantenimiento, es necesario llevar el corredor a analizar a un estado de condición verde, mediante las acciones determinadas en el informe de diagnóstico, para esto se utilizan los precios investigados para cada una de las intervenciones.

7.1 MODELO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO

El tiempo de vida útil para el corredor escogido se especifico de diez años, durante este lapso de tiempo se realizaron diferentes inversiones detallada a continuación:

En el año 0 se realiza la inversión para volver el corredor a un estado de clasificación verde según lo explicado anteriormente, para realizar dichas intervenciones es necesario considerar los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y el AUI. Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico son el 2,5% del costo del presupuesto invertido, como se detalla en el capítulo 6.4 del presente documento. El AUI generalmente es del 25% en los contratos desarrollados en el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá.

7.1.1 Mantenimiento Rutinario

El mantenimiento rutinario se realiza durante toda la vida útil del pavimento, cuyo valor se calcula multiplicando el número total de m² del corredor por el costo de mantenimiento rutinario, dicha actividad incluye sello de fisuras, pintura asfáltica, limpieza de pozos, limpieza de sumideros y limpieza de tuberías.

7.1.2 Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico se realiza con base en una curva de deterioro realizada mediante una ecuación extraída de la Propuesta Técnica para la Consultoría para el Desarrollo de la Fase II de la Calibración de Curvas de Deterioro de los Pavimentos de Bogotá, la cual se detalla a continuación:

$$OPI = OPI_{PAV} \times \left[1 - \left(\frac{A}{A_F} \right)^{1,25} \right]$$

Formula. 1 Curva de calibración

OPI: Índice de condición global del pavimento según la edad del pavimento.

OPI_{PAV}: OPI calculado correspondiente al corredor.

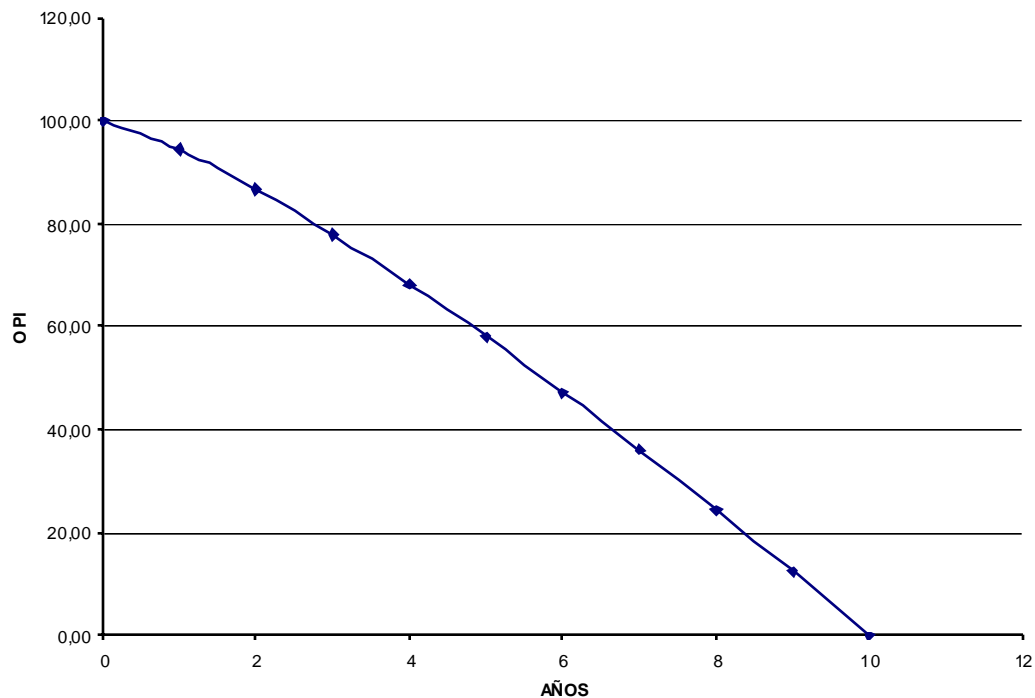
A: Edad del pavimento correspondiente al OPI.

A_F : Edad del pavimento cuando se alcanza un OPI igual a 0.

Con la anterior ecuación se obtiene la siguiente curva de deterioro:

Figura 1.

CURVA DE DETERIORO PAVIMENTO FLEXIBLE



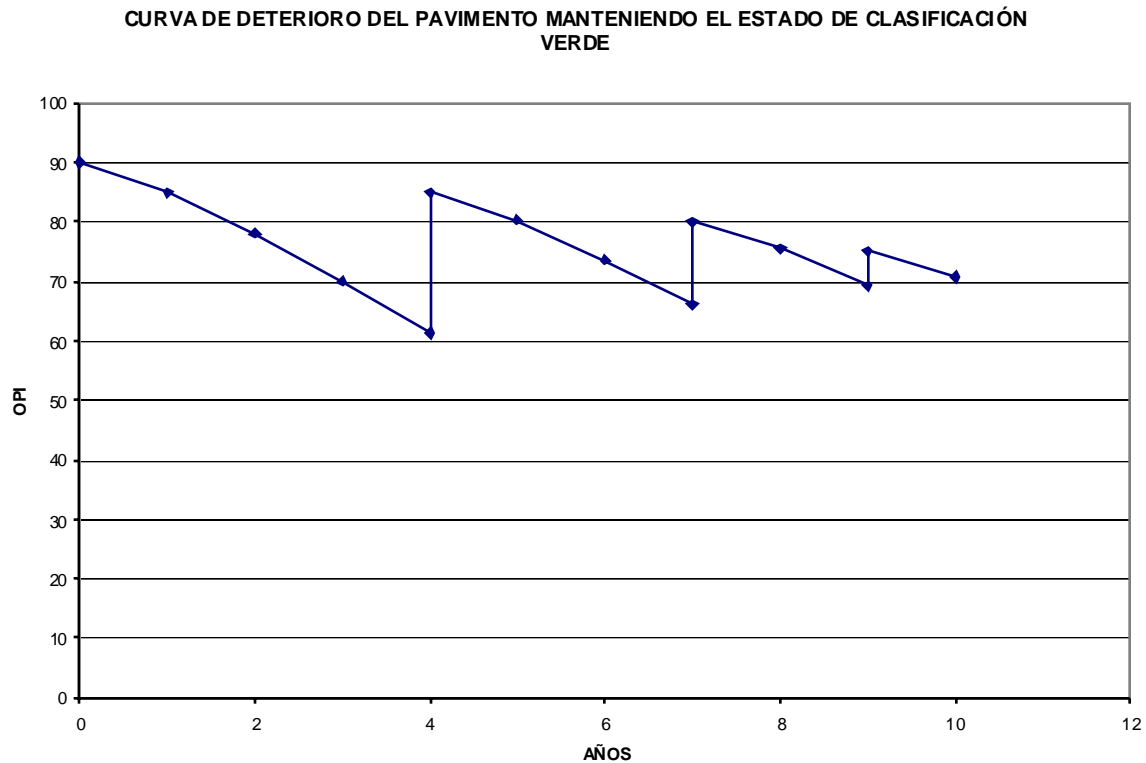
En base a la curva de deterioro obtenida se determina en que momento el pavimento pasa a un estado de condición amarillo, indicando un estado de condición aceptable, en ese momento se realiza la intervención necesaria para pasar el corredor a un estado de verde.

Después de realizar la intervención a la totalidad del corredor, se estima que el OPI resultante para la vía baja un 5% con respecto a su estado anterior debido a que el OPI esta afectado por el IRI el cual se deteriora, aumentando su valor a medida que transcurre el tiempo.

Posteriormente se realiza el mismo procedimiento, obteniendo en que momento pasa el pavimento a un estado amarillo, en el cual se realiza mantenimiento periódico para volver a subir su estado de condición a verde. El procedimiento anteriormente descrito se aplica hasta completar la vida útil del pavimento en el cual se realiza una intervención para volver el pavimento a un OPI: 100, esto con el fin de poder realizar la comparación con el caso de reconstrucción.

La curva de deterioro obtenida después de realizar las intervenciones necesarias en el corredor escogido se ilustra a continuación.

Figura. 2.



7.1.3 Etapa de Diagnóstico

La ejecución de los contratos de mantenimiento involucran costos de diagnósticos, detallados en el capítulo 6.4 del presente documento, estos costos se dividen en tres etapas, cuyos valores se distribuyen en el flujo desde el primer año de vida útil durando cada etapa un año. En el momento en que termine la tercera etapa de diagnóstico en el tercer año se vuelven a iniciar las tres etapas y así sucesivamente hasta cubrir la vida útil especificada para el corredor.

7.1.4 Etapa de manejo ambiental, desvíos de tráfico y AIU

Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico se estiman como el 2,5% de los costos directos del contrato y ocurre en los años cuando se realiza mantenimiento periódico en los corredores. El AIU corresponde a un 25 % del valor total del contrato, valor asumido por el IDU para los contratos.

Para todos los anteriores costos se tiene en cuenta una inflación promedio para cada año, indexando los precios durante los diez años de la vida útil del pavimento.

Con todas las anteriores inversiones durante la vida útil del pavimento se forma el flujo de inversiones, obteniendo los costos totales en cada año, con estos datos es

posible obtener el valor presente neto de la inversión a una tasa de interés estimada.

7.2 MODELO DE RECONSTRUCCIÓN

En el modelo de reconstrucción al finalizar la vida útil del pavimento sin realizar ningún tipo de intervención, se realizan dos grandes inversiones:

En el año 0 se realiza la inversión para volver el corredor a un estado de clasificación verde, para realizar estas intervenciones es necesario considerar los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y el AIU. Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico son el 2,5% del costo del presupuesto invertido, como se detalla en el capítulo 10 del presente documento. El AIU generalmente es del 25% en los contratos desarrollados en el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá.

En el año 10 al finalizar la vida útil del pavimento, realizando reconstrucción de la totalidad del corredor, tomando en cuenta los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y AIU. Adicionalmente se indexan las inversiones con la inflación promedio asumida.

Con estas dos grandes inversiones se forma el flujo de inversiones para el modelo de reconstrucción del corredor sin realizar mantenimientos durante su vida útil. A partir de este flujo se calcula el valor presente neto de la inversión.

Con los dos anteriores modelos se obtiene que tipo de intervención es menos costosa, solo en términos financieros.

7.3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Debido a la limitación de recursos con que cuenta la ciudad de Bogotá para realizar mantenimiento a las vías, se plantea un modelo para mantener el corredor en un estado de clasificación amarillo, de tal forma que el corredor inicialmente en verde se deja deteriorar hasta naranja para posteriormente realizarle una intervención que suba su estado a amarillo y de acuerdo a la curva de deterioro se determinan los periodos en que se ejecuten las intervenciones.

Las inversiones realizadas en este modelo son las mismas que en el caso anterior a diferencia del tipo de mantenimiento periódico.

8. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CORREDOR A ANALIZAR

El corredor a analizar en la presente Tesis es de la Avenida Fernando Mazuera Villegas (Carrera 10), desde la intersección con la Avenida Jorge Eliécer Gaitán (Calle 26) hasta la intersección con la avenida Ciudad de Villavicencio. En la Figura 1 se presenta la localización del proyecto.

Figura No. 3. Localización del corredor a analizar



El corredor está conformado por 81 segmentos viales en su totalidad, 72 de los cuales tienen doble calzada y 9 tienen una sola calzada, los cuales generan en total 153 segmentos - calzada. El Corredor inicia en el centro de la ciudad en la Intersección con la Avenida Jorge Eliécer Gaitán (Calle 26) en el segmento 3000377 donde el corredor presenta doble calzada y avanza hacia el Sur hasta la intersección con la Avenida Ciudad de Villavicencio.

En los últimos 791 metros, el corredor tiene una sola calzada, a excepción de 142 m donde nuevamente presenta doble calzada.

Las calzadas tienen las longitudes que se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 12.
Longitud de cada una de las calzadas

| Calzada | Longitud – calzada (Km) |
|--|-------------------------|
| Oriental | 7.04 |
| Occidental | 6.39 |
| Longitud Total Av. Fernando Mazuera | 13.43 |

La numeración de cada una de las calzadas, se adoptó según la configuración indicada en el Documento Maestro del Inventario Vial de Bogotá (números pares de izquierda a derecha en el sentido que aumenta la nomenclatura) y la base de datos suministrada por el IDU, por esto, se tienen los siguientes números de calzada:

Tabla 13.
Numeración de las calzadas en los segmentos viales

| Segmento Inicial | Segmento Final | Calzada Oriental | Calzada Occidental |
|------------------|----------------|------------------|--------------------|
| 3000377 | 3001099 | 4 | 2 |
| 4000004 | 4001333 | 2 | 4 |
| 4001367 | 18006840 | 2 | |
| 18003445 | 18003564 | 2 | 4 |
| 18006841 | 18006841 | 2 | |

Es importante anotar que el corredor presenta en su gran mayoría pavimento flexible, a excepción del último segmento (18006841) en el cual el pavimento es rígido.

9. MODELO COMPARATIVO CORREDOR AVENIDA FERNANDO MAZUERA

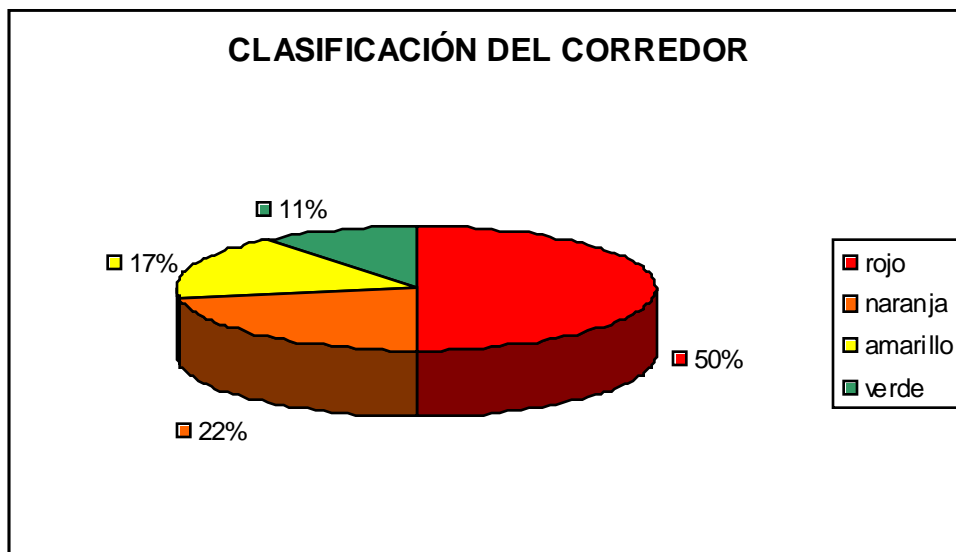
El informe de diagnóstico primera etapa del corredor Avenida Fernando Mazuera (Carrera 10) de Intersección con Avenida Jorge Eliécer Gaitan (Calle 26) a Intersección con Avenida Ciudad de Villavicencio contiene la clasificación de los segmentos del corredor, la cual se obtuvo mediante la utilización de los flujos de procesos de mantenimiento, presentados en el Anexo C.

Los resultados de la clasificación por estado de condición por cada segmento y la información detallada de intervención se presentan en el Anexo No. D. En esta tabla se puede apreciar, para cada una de las calzadas, el segmento en secuencia de avance, su nomenclatura, nodo de inicio y nodo de finalización, longitud, ancho de calzada, área, número de carriles, índice de Rugosidad Internacional (IRI) en m/Km, índice de daños superficiales del pavimento (MDR), índice de condición global del pavimento (OPI), número estructural efectivo (SN), número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas a 4 años, color de clasificación según estado y Ficha de flujo de Mantenimiento.

Adicionalmente se presenta la información de los daños en porcentaje, y las intervenciones que se deben realizar según el Flujo de Mantenimiento.

La clasificación del corredor según su estado es la siguiente.

Figura 4.
Clasificación del estado del corredor



A partir de la clasificación anterior del corredor y las acciones sugeridas en el informe para realizar mantenimiento, se realiza el procedimiento descrito en el capítulo 7 del presente documento.

Inicialmente para realizar la comparación financiera entre corredores con y sin mantenimiento, es necesario llevar el corredor a analizar a un estado de condición verde, mediante las acciones determinadas en el informe de diagnóstico, para esto se utilizan los precios investigados para cada una de las intervenciones, detallados en el capítulo 6 del presente documento.

Para el corredor escogido el estado predominante de la vía es rojo como se muestra en la figura No. 4, indicando que se encuentra en muy mal estado, en

este caso se realiza reconstrucción a la totalidad de los metros cuadrados clasificados de dicho color.

Para los segmentos clasificados como naranja se realiza un fresado de 5 cm y la colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada con polímeros MDC-2, en la totalidad del área.

Para los segmentos clasificados como amarillos se realiza mantenimiento rutinario, parcheo en un porcentaje específico de metros cuadrados de la totalidad del área según las fallas encontradas en el diagnóstico; colocación y compactación de microaglomerado en caliente tipo F, mezcla discontinua (3 cm) en toda el área determinada como amarilla, nivelación de los pozos existentes, tomando un pozo por cada segmento del corredor, adicionalmente, según el estado del segmento se realiza colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada con polímeros MDC-2, en la totalidad del área afectada.

Para los segmentos clasificados como verdes se efectúa mantenimiento rutinario y algunas veces se realizan parcheos en un pequeño porcentaje de área, según el diagnóstico de la vía.

9.1 MODELO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO

El tiempo de vida útil para el corredor se especifico de diez años, durante este lapso de tiempo se realizaron diferentes inversiones detallada a continuación:

Como se explico anteriormente, en el año 0 se realiza la inversión para volver el corredor a un estado de clasificación verde según lo explicado anteriormente, para realizar dichas intervenciones es necesario considerar los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y el AUI. Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico son el 2,5% del costo del presupuesto invertido, como se detalla en el capítulo 6.4 del presente documento. El AUI generalmente es del 25% en los contratos desarrollados en el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá. Involucrando los costos enunciados anteriormente, se calculó el costo para volver el corredor escogido a un estado verde con un OPI: 100, obteniendo un valor de \$ 9.311.228.811,00 en el año 0, como se ilustra en el Anexo E.

9.1.1 Costo de Mantenimiento Rutinario

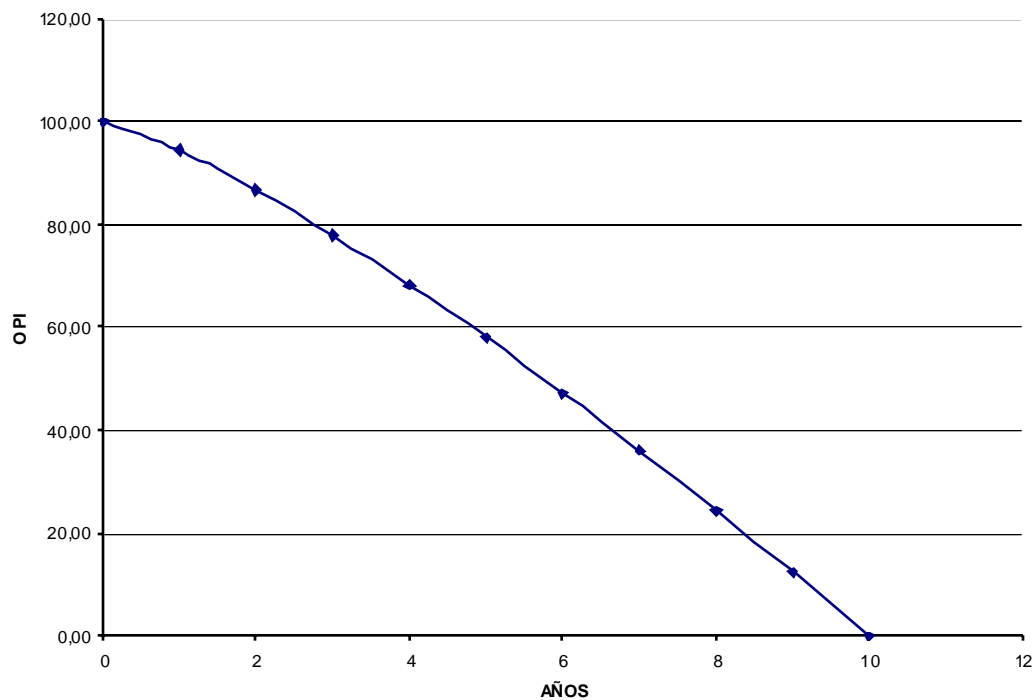
El mantenimiento rutinario se realiza durante toda la vida útil del pavimento, cuyo valor se calcula multiplicando el número total de m² del corredor por el costo de mantenimiento rutinario, dicha actividad incluye sello de fisuras, pintura asfáltica, limpieza de pozos, limpieza de sumideros y limpieza de tuberías.

9.1.2 Costos Mantenimiento Periódico

Utilizando la formula descrita en el capítulo 7.1.2, se halla la curva de deterioro, tomando como OPI_{PAV} :100. La variable A_F :10 años, la cual indica la vida útil del pavimento. La curva obtenida es la siguiente:

Figura 5.

CURVA DE DETERIORO PAVIMENTO FLEXIBLE



Los resultados de la anterior figura y su clasificación por estado del pavimento se resumen en la siguiente tabla:

Tabla .14 Curva deterioro

| A | OPI VIA | OPI |
|---|---------|--------|
| 0 | 100 | 100,00 |
| 1 | 100 | 94,38 |
| 2 | 100 | 86,63 |
| 3 | 100 | 77,80 |

| | | |
|----|-----|-------|
| 4 | 100 | 68,19 |
| 5 | 100 | 57,96 |
| 6 | 100 | 47,19 |
| 7 | 100 | 35,97 |
| 8 | 100 | 24,34 |
| 9 | 100 | 12,34 |
| 10 | 100 | 0,00 |

En base a la anterior tabla se determina el momento en que es necesario realizar intervenciones es el año 4, que es cuando pasa a una clasificación amarilla, indicando un estado de condición aceptable.

La intervención que es necesario realizar es Parcheo en un porcentaje del 15% del área del corredor, microaglomerado a toda el área del corredor y renivelación de pozos, el costo en el año 4 utilizando una inflación del 6% anual es de \$4.884.723.346. Después de realizar la intervención a la totalidad del corredor, el OPI resultante para la vía es de 95, considerando que cada vez que se realice intervenciones para pasar de amarillo a verde la vía pierde un 5% del valor del OPI.

Posteriormente se aplica la formula 1 para volver a determinar en que momento el corredor vuelve a pasar a un estado de condición aceptable, obteniendo los siguientes datos:

Tabla. 15

| A | OPI VIA | OPI |
|---|---------|-------|
| 0 | 95 | 95,00 |
| 1 | 95 | 89,66 |
| 2 | 95 | 82,29 |
| 3 | 95 | 73,91 |
| 4 | 95 | 64,78 |
| 5 | 95 | 55,06 |

| | | |
|----|----|-------|
| 6 | 95 | 44,83 |
| 7 | 95 | 34,17 |
| 8 | 95 | 23,12 |
| 9 | 95 | 11,72 |
| 10 | 95 | 0,00 |

De acuerdo a la Tabla 15 en el cuarto año después que se hace la primera intervención es necesario volver a realizar mantenimiento periódico, realizando parcheo en un 15% del área del corredor, microaglomerado y renivelación de pozos, obteniendo una inversión de \$ 6.166.850.681, con un OPI de la vía de 90.

De la misma forma se vuelve a aplicar la formula 1 para determinar en que momento vuelve a cambiar de clasificación el pavimento:

Tabla. 16
Curva deterioro OPI:90

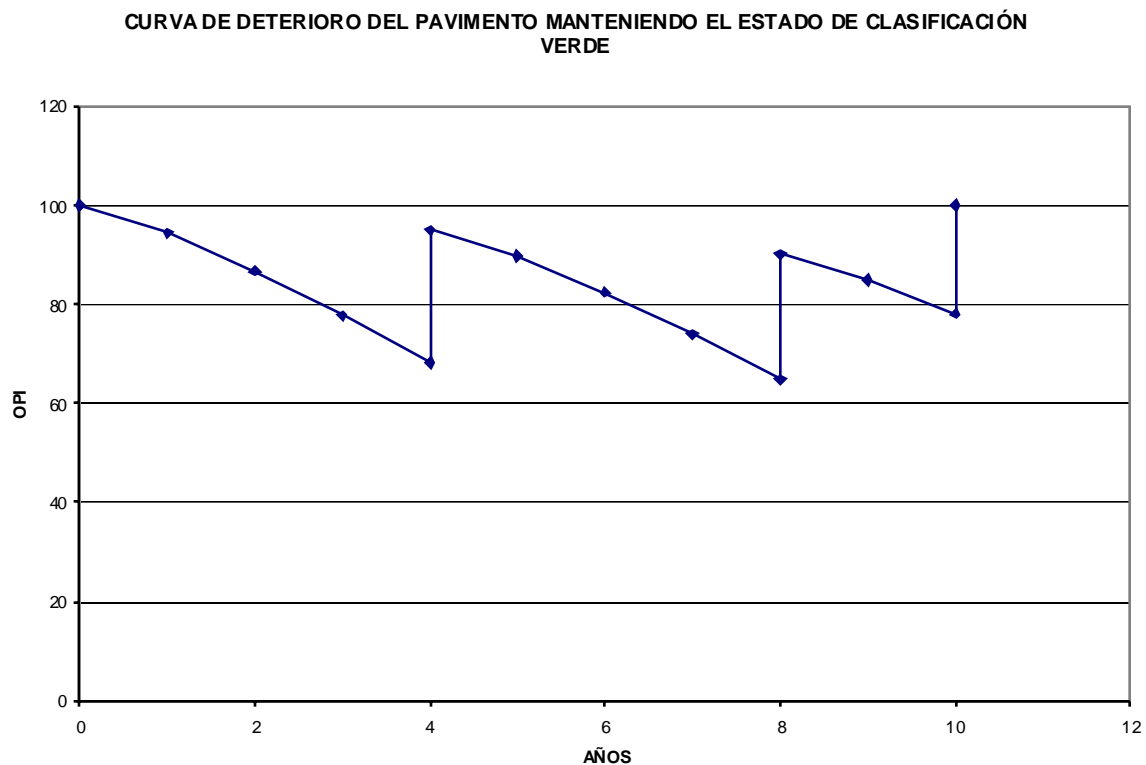
| A | OPI VIA | OPI |
|----|---------|-------|
| 0 | 90 | 90,00 |
| 1 | 90 | 84,94 |
| 2 | 90 | 77,96 |
| 3 | 90 | 70,02 |
| 4 | 90 | 61,37 |
| 5 | 90 | 52,16 |
| 6 | 90 | 42,47 |
| 7 | 90 | 32,37 |
| 8 | 90 | 21,91 |
| 9 | 90 | 11,11 |
| 10 | 90 | 0,00 |

Como se observa en la anterior tabla en el segundo año después que se realiza la segunda intervención de mantenimiento periódico es necesario volver a subir el estado de condición del pavimento a bueno, en este caso ya se cumplido la vida útil del pavimento y es necesario realizar un tipo de intervención que permita llevar

al pavimento a un OPI: 100, para efectos de comparación con el modelo de reconstrucción del corredor. Para este caso se realiza una aplicación de mezcla densa en caliente de 10 cm y un fresado de 10 cm, así como la renivelación de pozos requerida. El anterior procedimiento tiene un costo de \$ 9.697.886.552.

El resumen de la curva de deterioro con las intervenciones realizadas es la siguiente:

Figura. 6



De acuerdo a la anterior curva de deterioro se determina que los años en que se realiza inversión en mantenimiento periódico son los años 4, 8 y 10. Las actividades a realizar en el mantenimiento periódico para llevar los segmentos de estado amarillo a verde son:

- Parcheos en un 15% del área total del corredor para el cuarto y octavo año, este porcentaje es sugerido por el Departamento de Planeación del IDU.
- Colocación y compactación de microaglomerado en caliente todo los segmentos del corredor.
- Renivelación de pozos, asumiendo uno por cada segmento.

9.1.3 Costos de Diagnóstico

La ejecución de los contratos de mantenimiento involucran costos de diagnósticos, detallados en el capítulo 6.4 del presente documento, estos costos se dividen en tres etapas, cuyos valores se distribuyen en el flujo desde el primer año de vida útil durando cada etapa un año. En el momento en que termine la tercera etapa de diagnóstico en el tercer año se vuelven a iniciar las tres etapas y así sucesivamente hasta cubrir la vida útil especificada para el corredor.

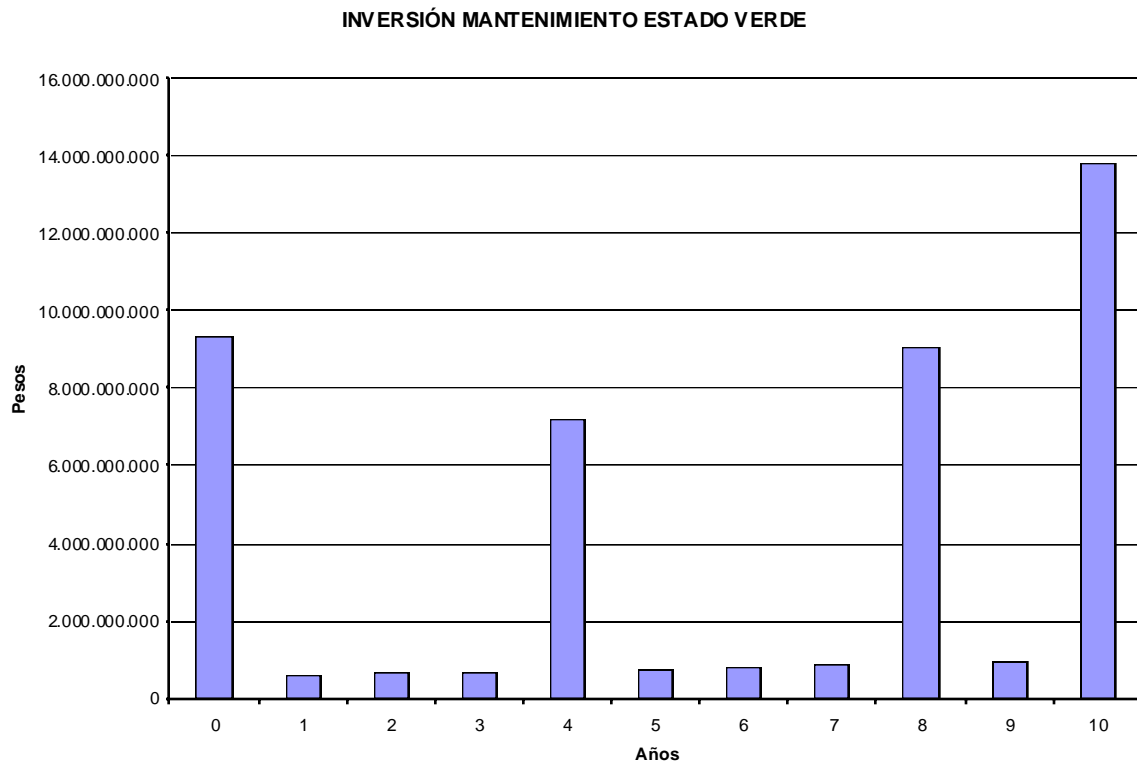
9.1.4 Costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y AIU

Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico como se explicó anteriormente son de 2,5 % de los costos directos del contrato y el AIU corresponde a un 25 % del valor total del contrato.

Para todos los anteriores costos se tiene en cuenta una inflación promedio del 6% para cada año, indexando los precios con el anterior porcentaje durante los diez años.

Con las anteriores inversiones durante la vida útil del pavimento se forma el flujo de inversiones detallado en el Anexo E, obteniendo los costos totales en cada año, mostrados a continuación:

Figura 7



Con los anteriores datos es posible obtener el valor presente neto de la inversión a una tasa de interés del 11% efectivo anual, obteniendo un valor de VPN:\$23.476.102.916 para un OPI:100.

9.2 MODELO DE RECONSTRUCCIÓN

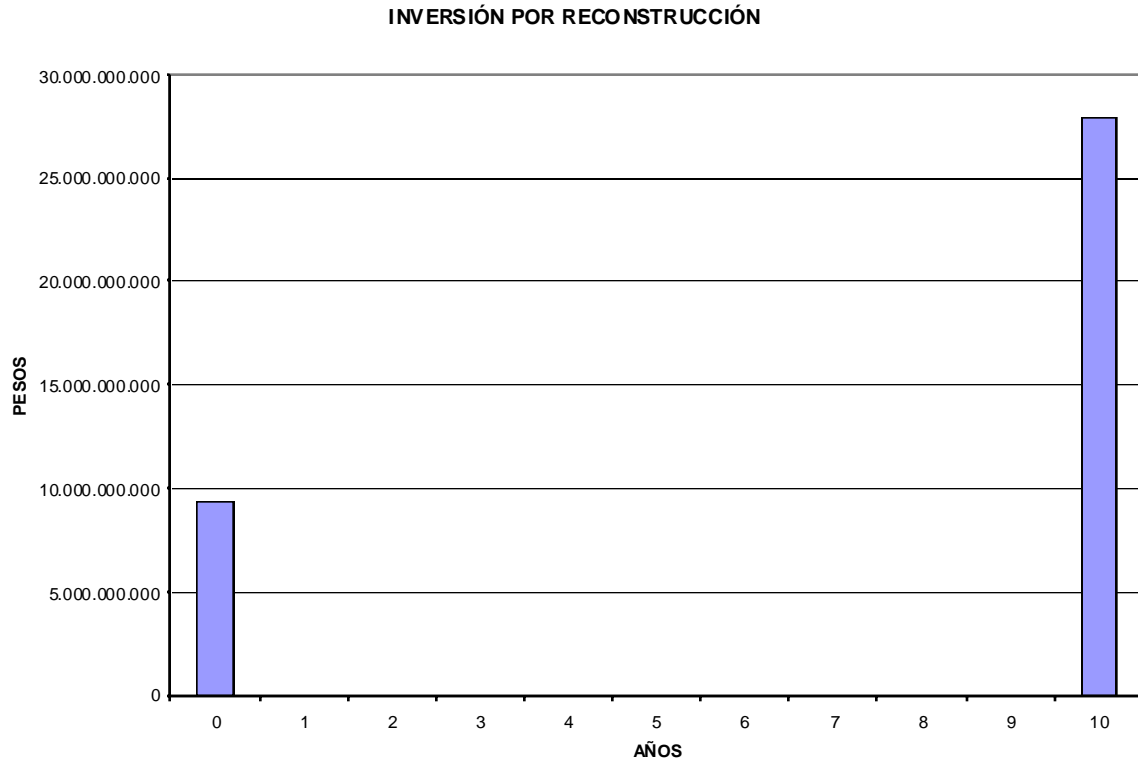
En el modelo de reconstrucción al finalizar la vida útil del pavimento sin realizar ningún tipo de intervención, se realizan dos grandes inversiones:

En el año 0 se realiza la inversión para volver el corredor a un estado de clasificación verde, para realizar estas intervenciones es necesario considerar los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico y el AIU. Los costos de manejo ambiental y desvíos de tráfico son el 2,5% del costo del presupuesto invertido, como se detalla en el capítulo 10 del presente documento. El AIU generalmente es del 25% en los contratos desarrollados en el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá. Aplicando los costos anteriormente descritos, la inversión a realizar en el año 0 es de \$ 9.311.228.881.

En el año 10 al finalizar la vida útil del pavimento, se realiza reconstrucción de la totalidad del corredor, tomando en cuenta los costos de manejo ambiental, desvíos de tráfico, AIU e indexando las inversiones con la inflación promedio tomada del 6%, la inversión de reconstrucción realizada en el año 10 es de \$ 23.476.102.916.

El flujo de inversión se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 8.



Con el anterior flujo es posible calcular el VPN de la inversión obteniendo un valor de VPN: \$ 31.025.698.281 para un OPI:100.

Comparando los valores presentes netos de los dos flujos descritos, los cuales son para el modelo de mantenimiento \$ 23.476.102.916 y para el modelo de reconstrucción \$ 31.025.698.281, los dos con un OPI para la vía de 100; se deduce que es 32% más económico realizar mantenimiento periódico durante la vida útil del pavimento.

9.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

En este modelo se plantea permitir que el pavimento llegue a un estado de condición amarillo y se mantenga en ese estado de condición aceptable durante toda su vida útil.

Las inversiones realizadas en este modelo son las mismas que en el caso anterior a diferencia del mantenimiento periódico.

La formula 1 se utiliza para hallar la curva de deterioro, obteniendo al iniciar los mismos valores que en el análisis realizado anteriormente donde el corredor se mantiene en un estado verde.

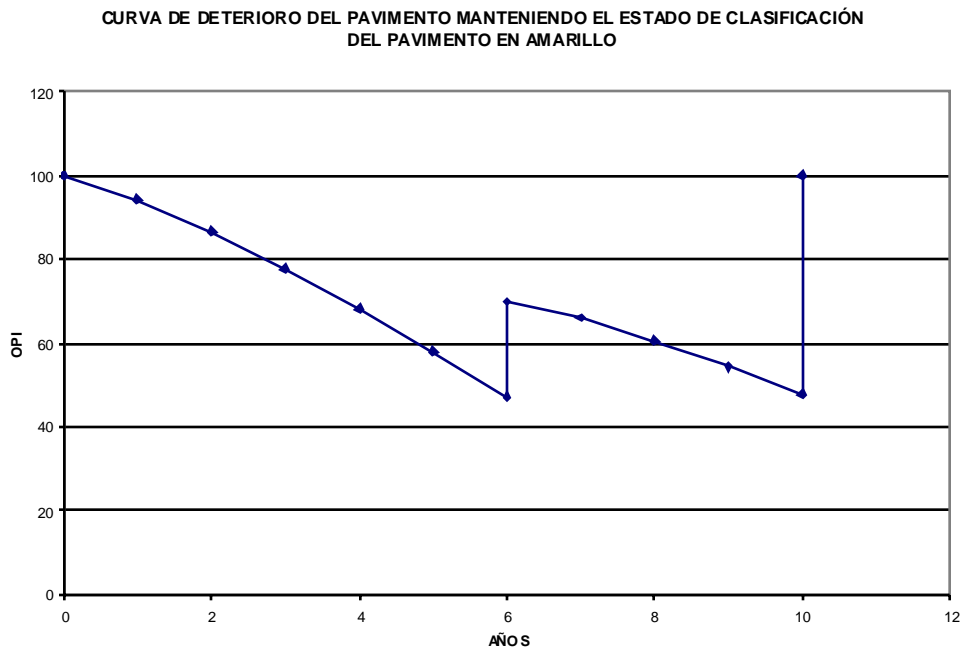
La curva de deterioro ilustrada anteriormente en la grafica 5 , muestra que es necesario realizar intervención en el año sexto ya que el OPI del pavimento es de 47,19 y alcanza un estado de condición naranja, posteriormente para pasar el corredor a un estado amarillo se realiza parcheo a un 25% del área total del corredor, el anterior porcentaje es sugerido por la Dirección Técnica de Planeación del IDU. Después de realizar esta intervención, el OPI del pavimento se asume como 70, a partir del cual se calcula la curva de deterioro del pavimento, cuyos datos se resumen a continuación:

Tabla 17.
Curva de deterioro OPI:70

| A | OPI VIA | OPI |
|----|---------|-------|
| 0 | 70 | 70,00 |
| 1 | 70 | 66,06 |
| 2 | 70 | 60,64 |
| 3 | 70 | 54,46 |
| 4 | 70 | 47,73 |
| 5 | 70 | 40,57 |
| 6 | 70 | 33,04 |
| 7 | 70 | 25,18 |
| 8 | 70 | 17,04 |
| 9 | 70 | 8,64 |
| 10 | 70 | 0,00 |

En la anterior tabla se observa que en el año cuarto después de realizar la primera intervención, el corredor baja a un estado de clasificación amarillo, terminando en el mismo año el periodo de vida útil del pavimento. Posteriormente El resumen de la curva de deterioro para mantener el corredor en un estado amarillo es la siguiente:

Figura. 9

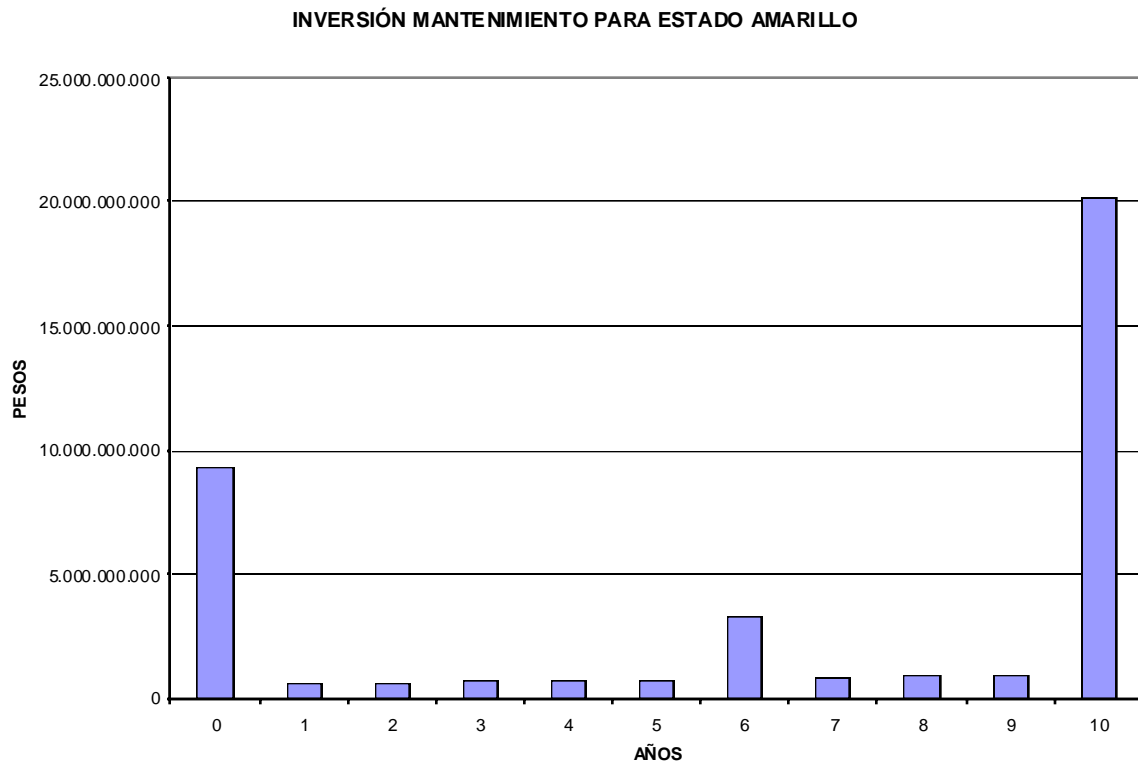


La intervención realizada para pasar de un estado naranja a amarillo se realiza en el año seis y tiene un costo de \$ 1.853.449.476.

Los costos de mantenimiento rutinario, diagnóstico, manejo ambiental, desvíos de tráfico y AUI son iguales que en el modelo manteniendo un estado de clasificación verde.

A partir de la anterior información se realiza el flujo de inversiones, mostrado a continuación:

Figura 10.



Posteriormente, se calcula el valor presente neto para la inversión, el cual es de \$19.674.606.970 para un OPI: 100, comparándolo con el valor presente neto del modelo de reconstrucción el cual es de \$31.025.698.281, obteniendo que es aproximadamente 58% más costoso realizar el modelo de reconstrucción.

10. CONCLUSIONES

El modelo planteado en el presente documento se puede utilizar para hallar diferentes opciones de intervenciones según los estados de mantenimiento, obteniendo los costos para cada caso; esto es de gran utilidad para destinar el presupuesto de mantenimiento de las vías de la ciudad de Bogotá conociendo los efectos que se tendrá y el momento en que se debe invertir.

Para los casos analizados es fácilmente deducible que es aproximadamente 32% más económico realizar mantenimiento periódico y rutinario a las vías que dejar que el corredor se deteriore y realizar la reconstrucción al finalizar la vida útil. Esta deducción se realiza sin tomar en cuenta los costos del parque automotor y el beneficio social que implica mantener las vías en un buen estado.

Con el resultado obtenido se verifica que es acertada la posición actual del IDU de realizar mantenimientos programados y destinar recursos específicos para estos programas que promueven mantener los principales corredores viales en un buen estado.

El propósito de realizar el modelo de mantenimiento para un estado de condición amarillo del corredor es obtener una alternativa más económica y viable de mantener las vías de la ciudad de Bogotá, al ser más realistas y suponer que no se cuentan con los recursos suficientes para que todos los corredores se encuentren en un estado de condición verde. Deduciendo de los VPN del flujo, es 58% más económico realizar mantenimiento para un estado amarillo que realizar reconstrucción; así mismo se deduce que es 19% más económico mantener la vía en estado amarillo que verde.

11. RECOMENDACIONES

El tema de mantenimientos en los corredores de Bogotá se empezó aplicar a partir del año 2003, lo que nos indica que se encuentra en un proceso de retroalimentación para mejorar posibles errores, deficiencias y limitaciones.

Una característica importante del Programa Distritos de Mantenimiento del IDU es que no consideran los segmentos rojos que como se puede apreciar en el corredor escogido para analizar en el presente documento representa el 50% de la totalidad de los segmentos, esto limita el alcance del programa, dejando estos segmentos para otros programas que maneja el Instituto como Tapa tu hueco. En la presente tesis se toman en cuenta los segmentos rojos donde es necesario realizar actividades de reconstrucción, hallando un buen estimativo de los costos necesarios para mantener el corredor.

El IDU está ejecutando el contrato 072 – 2004 fase II y III, en el cual se hallaran curvas de deterioro para pavimentos más exactas, optimizando la ecuación que se aplica para hallar las curvas de deterioro en función del OPI, en este documento.

Es necesario realizar la simplificación de asumir que el corredor se deteriora homogéneamente según la curva de deterioro de la Figura 5, debido a que el Instituto hasta ahora esta ejecutando contratos para obtener datos más específicos del tema.

Los porcentajes asumidos para el OPI al realizar las intervenciones son sugeridos por el Departamento de Planeación del IDU soportados en experiencias de intervenciones y consultorías preliminares. Así como los porcentajes asumidos de metros cuadrados a intervenir en la actividad de parcheo para el mantenimiento periódico.

BIBLIOGRAFÍA

- Informe Contrato No. 044 del 2002 – Consorcio VELNEC S.A – CAPITAL WEB
- Plan de Ordenamiento Territorial – POT 2000
- Plan Maestro de Sostenibilidad de la Infraestructura Urbana de Bogotá D.C.
- Informe de Diagnóstico Primera Etapa. Contrato IDU – 15- 2003.
- Página web www.idu.gov.co

ANEXO A

EVALUACIÓN DEL DETERIORO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las fallas superficiales influyen tanto en la vida útil del pavimento, como en el servicio que prestan al público, por esto resulta importante poder conocer varios aspectos relacionados con las diferentes fallas, como clasificación, posibles causas y consecuencias, y método para medirlas.

El método utilizado en desarrollo de los inventarios para levantar datos de deterioro superficial es la metodología desarrollada por el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos (PAVER 2).

- **Determinación del Índice de Condición Global del Pavimento (OPI, Overall Pavement Index):** Para definir la condición superficial del pavimento se determinará el Índice de Condición Global (OPI). Este índice representa una interrelación del estado superficial – MDR (Modified Distress Rating) y la condición del pavimento, medido en términos de rugosidad – IRI (desempeño funcional). Por lo tanto, el OPI es un parámetro representativo del estado global del pavimento.

El cálculo del OPI está definido por la siguiente ecuación:¹

$$\text{OPI} = \text{MDR} * (5 * e^{0.198 - 0.000261 * \text{IRI}} / 5)^{0.12}$$

Donde,

OPI = Overall Pavement Index, Índice de Condición Global del Pavimento

MDR = Modified Distress Rating, referido a las fallas superficiales

IRI = International Roughness Index o Índice de Rugosidad Internacional, en mm/Km

Se tiene una valoración de OPI=0, para pavimentos en pésimo estado y 100 para pavimentos en excelente estado. De acuerdo a los límites establecidos por el distrito, sobre niveles aceptables de servicio, se establecen los rangos entre los cuales es necesaria una rehabilitación y otros en los que se requiere solamente un mantenimiento.

Rangos de OPI

| Estado | Rango OPI |
|------------------------------------|-----------|
| Mantenimiento Rutinario | 100 – 70 |
| Mantenimiento Periódico/ Rutinario | 70 – 30 |
| Reconstrucción | 0 – 30 |

¹ La ecuación mostrada se encuentra consignada en el documento maestro del contrato de inventario y diagnóstico 834 de 1999 desarrollado por T.N.M. Limited. En este documento, el consultor informa que la expresión fue calibrada para las condiciones locales, ya que la ecuación original presenta un exponente igual a 0.22, dando un menor peso al IRI con un exponente de 0.12, teniendo en cuenta que debido a las bajas velocidades de operación en la ciudad, el confort de la vía no es prioritario.

- **Determinación del Índice de Fallas Superficiales del Pavimento (MDR, Modified Distress Rating):** Los daños superficiales en los pavimentos son un indicativo del estado y comportamiento de las vías y a través de estos se puede establecer su condición según el índice de fallas superficiales.

El índice de fallas superficiales de las vías pavimentadas, MDR varía de 0 a 100, donde 0 simboliza una vía completamente destruida y 100 una vía en perfecto estado superficial.

El valor de MDR se calcula bajo la siguiente expresión basada en la Metodología Washington:

$$MDR = 100 - \sqrt{\sum pn_i^2}$$

Donde “**pn**” es el peso de ponderación del daño según su severidad y extensión. Este cálculo, inicialmente, se basa en los valores deducibles obtenidos de las respectivas curvas o pesos en función del grado de severidad y de la extensión del daño de acuerdo con el Sistema PAVER desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Estos valores deducibles varían de 0 a 100 indicando el impacto que cada daño tiene sobre

la condición del pavimento; así un valor de 0 indica que el daño no tiene efecto en el comportamiento del pavimento, mientras un valor 100 indica un daño de gran influencia.

La determinación de los valores deducibles se realiza mediante el uso de las curvas para cada tipo de falla, conociendo el porcentaje de extensión de la superficie dañada en el pavimento (eje X) se intercepta con la curva que representa la respectiva severidad (alta, media o baja) y se establece el valor deducible (eje Y).

Estos valores deducibles se introducen en la fórmula antes mencionada, obteniéndose el valor del MDR. En el caso de vías con alto grado de deterioro, la raíz cuadrada de la sumatoria de los pesos al cuadrado puede resultar mayor que 100, por lo cual arrojaría un valor negativo al hacer los cálculos. Por definición, el MDR es un índice positivo, en estos casos, se asigna un valor $MDR=0$.

- **Medida de la Regularidad Superficial de un Pavimento – IRI:** La irregularidad de la superficie, conocida en nuestro medio con la denominación de “Rugosidad”, refleja el grado de comodidad que la vía le

proporciona al usuario. Para la medida de ésta irregularidad o rugosidad se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como "Índice de Rugosidad Internacional" (IRI) el cual fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino o carretera por el Banco Mundial en 1986.

El IRI es un indicador estadístico de la regularidad superficial del pavimento y representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI igual a cero) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El perfil real de una vía recién construida tiene un estado cero, definido por su $IRI_{inicial} = 0$, debido a condicionantes constructivos. Una vez puesta en servicio, la geometría del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito, evolucionando a valores más elevados del IRI (mayores irregularidades).

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal.

- **Evaluación Estructural**

La auscultación estructural es una técnica que proporciona un conocimiento detallado del estado de los pavimentos, lo que permite efectuar el monitoreo de su comportamiento a través del tiempo y programar el mantenimiento de un modo racional y más económico.²

La metodología de auscultación estructural depende de la propia capacidad resistente (materiales y espesores), así como del estado de envejecimiento del pavimento, por lo cual la auscultación debe incluir mediciones de deflexión y una inspección visual.

² Gestión de Infraestructura Vial. Hernán de Solminihaç T. Ediciones Universidad Católica de Chile

ANEXO B

NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN)

El Número Estructural Efectivo (SN) es un índice derivado a partir de un análisis de tráfico, condiciones de suelo de subrasante y ambiente, el cual puede ser convertido a espesores de capa de pavimento flexible por medio de coeficientes de capa relacionado con el tipo de material que esta siendo usado en cada capa de la estructura de pavimento. El Número Estructural (SN) efectivo se estima por retrocálculo a partir de las deflexiones.

El cálculo del Número Estructural efectivo se realiza mediante la metodología Rohde. Gustav Rohde es un investigador que presentó la ponencia titulada "Dertermining a pavement`s structural number from FWD testing", expuesta en la 73rd reunión anual de la Transportation Research Board. Rohde, para investigar la hipótesis y desarrollar una relación entre las medidas de deflexión a nivel de superficie con Falling Weight Deflectometer y el Número Estructural, realizó análisis en un gran número de estructuras de pavimentos utilizando la teoría elástica multicapa.

El concepto que se maneja es el siguiente: El valor máximo de deflexión d_o (medido a partir de FWD) es una combinación de la deflexión en la subrasante y la compresión elástica de la estructura del pavimento. Para explicar esto, el investigador Irwin explica la distribución de esfuerzos y el origen de las deflexiones bajo la carga de un FWD, así: *“Aproximadamente el 95% de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento son originadas debajo de un ángulo de desviación de 34° con la horizontal”*.

Basados en esta simplificación, se puede asumir que la deflexión medida en la superficie del pavimento a una distancia imaginaria de 1.5 veces el espesor total (ht) de la estructura de pavimento (desde el centro del plato de carga), se origina totalmente en la subrasante.

Al relacionar el valor de la deflexión producida a 1.5 veces el espesor total (ht) de la estructura de pavimento, con el valor de la deflexión central (bajo el plato de carga), se encuentra un “índice” asociado con la magnitud de la deformación que ocurre dentro de la estructura de pavimento y se define así¹:

$$SIP = D_o - D_{1.5*Ht}$$

¹ “Determining a pavement’s structural number from FWD testing”. Gustav T. Rohde

Donde:

SIP = Índice estructural del pavimento,

D_0 = Deflexión central, bajo el plato de carga bajo una carga de 40 kN
(9000lb)

$D_{1.5*Ht}$ = Deflexión medida en la superficie del pavimento bajo una carga de
40 kN (9000lb) a una línea imaginaria de 1.5 veces el espesor
total (Ht) de la estructura de pavimento.

Ht = Espesor total del pavimento en pulgadas.

Es válido anotar que en el caso de encontrarse materiales cementados como apoyo del concreto asfáltico, el ángulo estimado de 34° con la horizontal no es razonable por la rigidez de esta capa que influye en que el bulbo de tensiones sea más horizontal. Por tal razón los valores de número estructural, se piensa, no serían tan reales.

Hipotéticamente, el índice SIP debe estar relacionado directamente con la rigidez de la estructura de pavimento y subsecuentemente a su Número Estructural (SN). Se investigó esta hipótesis y se desarrolló una relación entre las medidas de deflexión en la superficie a partir de FWD y el Número

Estructural (SN) del pavimento luego de analizar un gran número de estructuras utilizando la teoría elástica. Los cálculos del número estructural de las diferentes estructuras se realizaron mediante la ecuación de la AASHTO:

$$SN = \sum_{i=1}^N h_i * a * \left(\frac{E_i}{E_g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

h_i = Espesores de las capas de la estructura de pavimento, en pulgadas

a_i = Valores de coeficientes de capa de los materiales utilizados en el ensayo de AASHTO

E_i = Módulo resiliente de los materiales de la estructura de pavimento

E_g = Módulo resiliente de los materiales utilizados en el ensayo AASHTO

Luego del análisis de las diferentes estructuras de pavimento, la mejor relación encontrada fue incluyendo el espesor total del pavimento en el análisis.

La relación tiene el siguiente formato:

$$SN = k_1 * SIP^{k_2} * H_p^{k_3}$$

Donde:

SN = Número Estructural

SIP = Índice del pavimento, calculado con la expresión relacionada anteriormente

H_p = Espesor total del pavimento en mm.

k_1 , k_2 y k_3 = Coeficientes que se muestran en el cuadro siguiente,

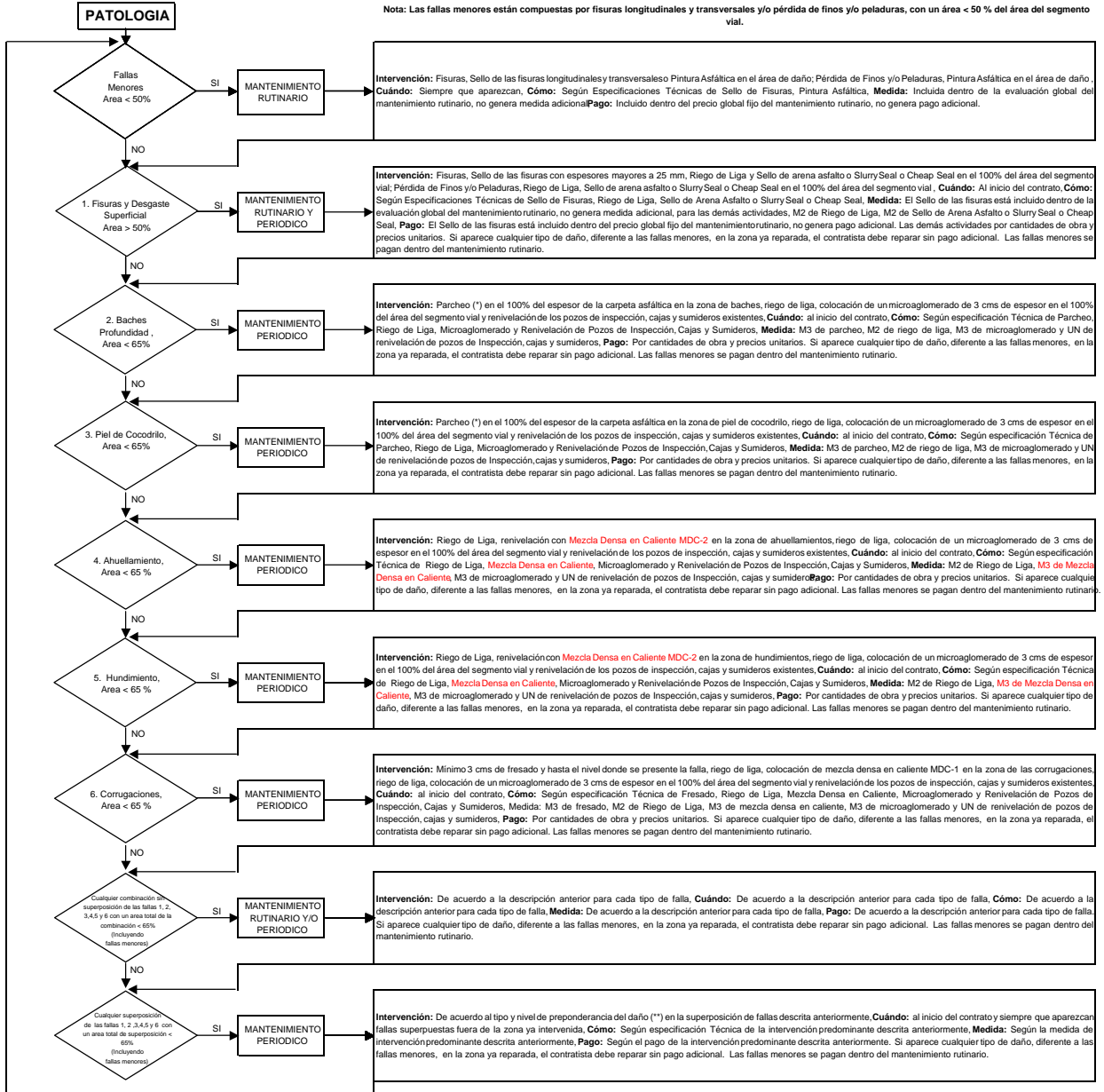
Coeficientes de la ecuación de Rohde para diferentes tipo de superficies

| Tipo de superficie | K1 | K2 | K3 | r2 |
|---------------------|--------|---------|--------|-------|
| Sello de asfalto | 0.1165 | -0.3248 | 0.8241 | 0.984 |
| Concreto asfáltico | 0.4728 | -0.4810 | 0.7581 | 0.957 |

Fuente Documento Maestro. Contrato 834 de 1999
Elaboró: T.N.M. Limited.

**PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE**

**OPI:31-50
SN > 2
N < 4 X 10 ^ 6
CLASIFICACION: NARANJA**



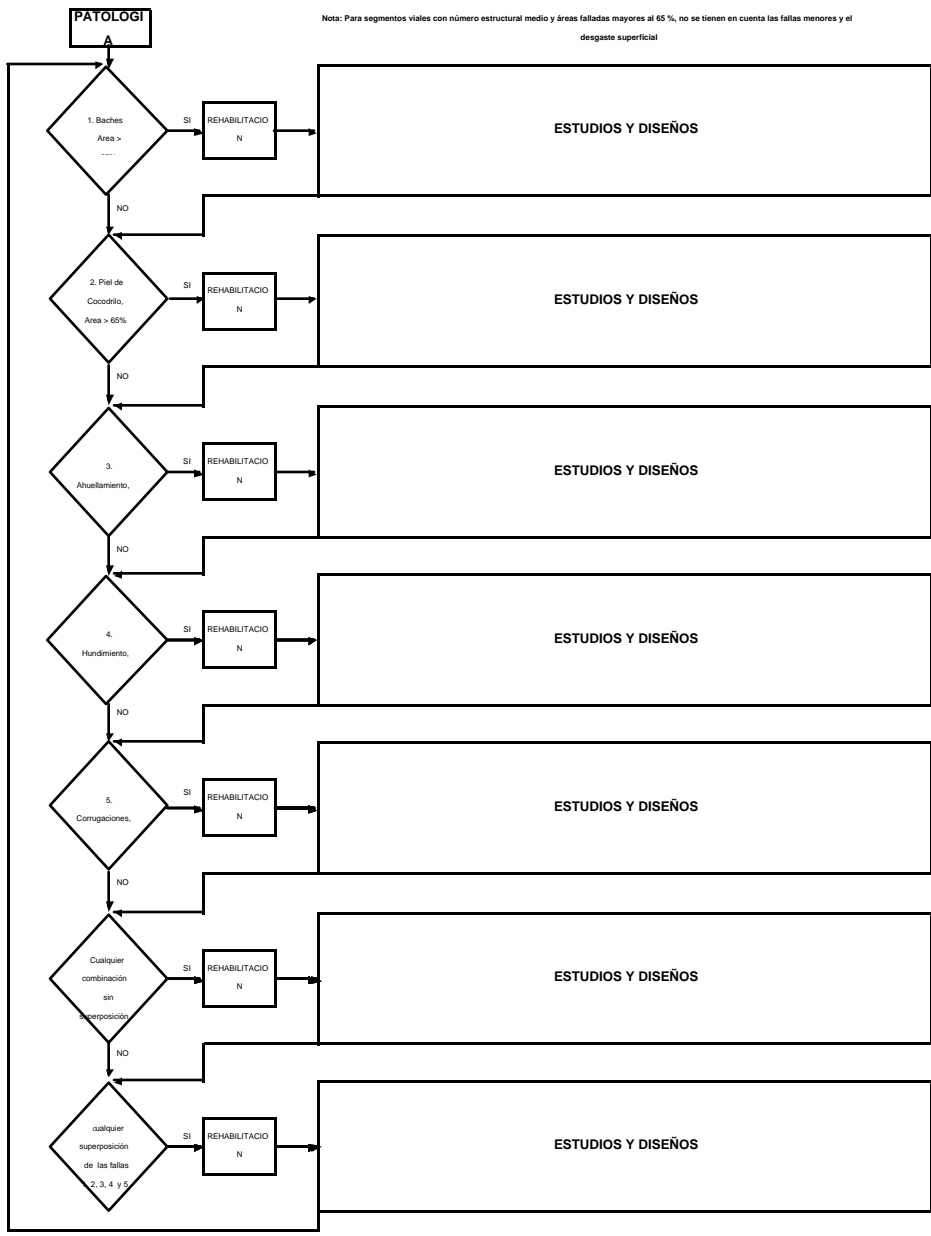
(*) Si en la zona de parcheo y a criterio de la interventoría se hace necesario reemplazar parte de la base granular existente, este trabajo se hará de acuerdo a la especificación técnica de Base Granular incluyendo la imprimación de la Base Granular reparada, se medirá por M2 de Imprimación y M3 de Base Granular y se pagará por cantidades de obra y precios unitarios

(**) Nivel de preponderancia de los daños:

1. Baches
2. Piel de Cocodrilo
3. Ahuellamiento y/o Hundimiento y/o Corrugaciones
4. Fisuras y Desgaste Superficial
5. Fallas Menores

PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE

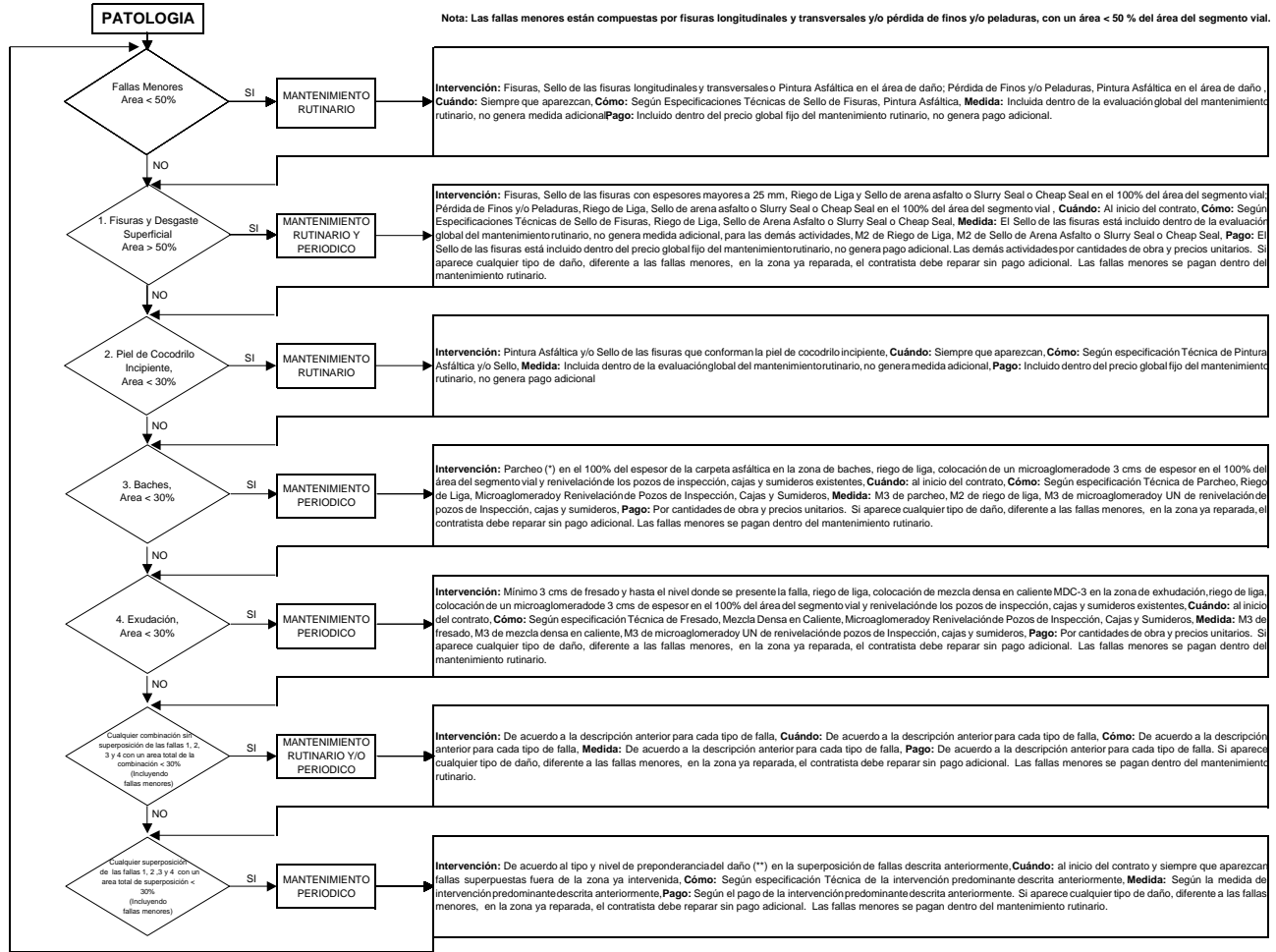
OPI: 0-30
SN > 2
N < 4 X 10 ^ 6
CLASIFICACION: ROJA (POCO PROBABLE)



(*) Nivel de Preponderancia de los daños: 1. Baches
2. Piel de Cocodrilo
3. Ahueamiento y/o Hundimiento y/o Corrugaciones

**PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE**

**OPI: 71-100
SN > 0 - 2
N < 4 X 10 ^ 6
CLASIFICACION: AMARILLA**

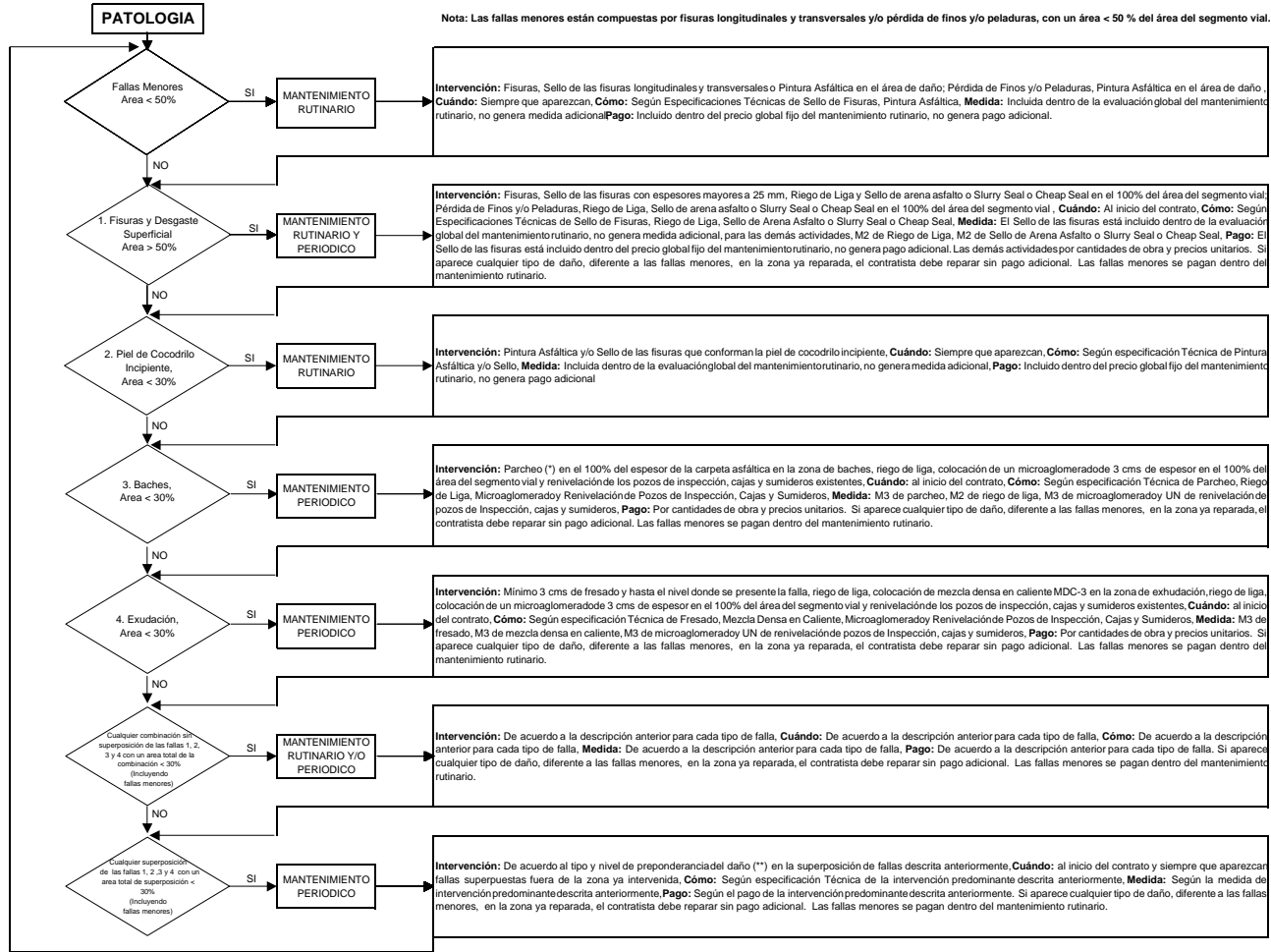


(*) Si en la zona de parcheo y a criterio de la Interventoría se hace necesario reemplazar parte de la base granular existente, este trabajo se hará de acuerdo a la especificación técnica de Base Granular incluyendo la imprimación de la Base Granular reparada, se medirá por M2 de Imprimación y M3 de Base Granular y se pagará por cantidades de obra y precios unitarios

(**) Nivel de preponderancia de los daños:
1. Baches
2. Exudación
3. Fisuras y Desgaste Superficial
4. Piel de Cocodrilo Incipiente
5. Fallas Menores

**PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE**

**OPI: 71-100
SN > 0 - 2
N < 4 X 10 ^ 6
CLASIFICACION: AMARILLA**

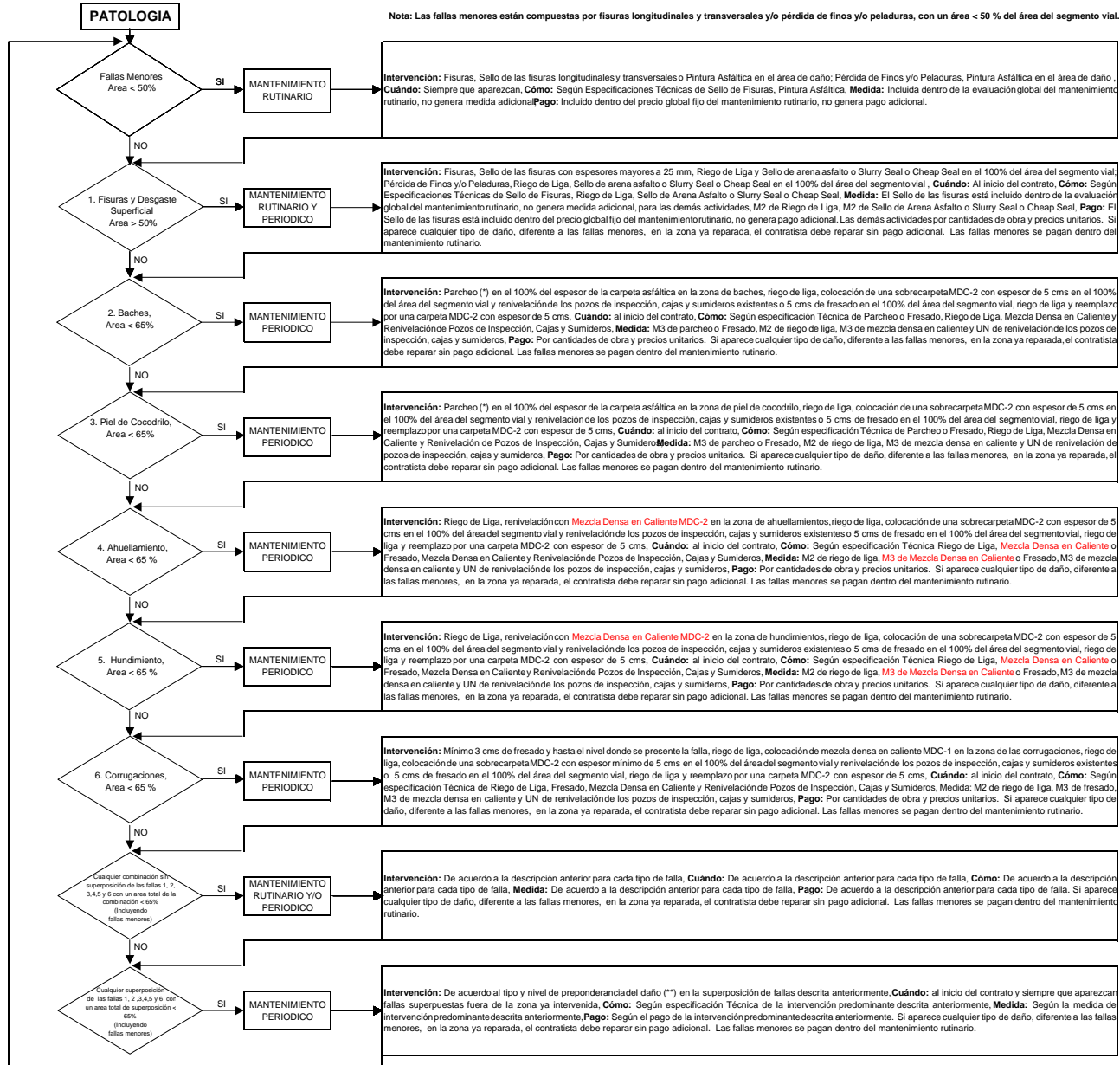


(*) Si en la zona de parcheo y a criterio de la Interventoría se hace necesario reemplazar parte de la base granular existente, este trabajo se hará de acuerdo a la especificación técnica de Base Granular incluyendo la imprimación de la Base Granular reparada, se medirá por M2 de Imprimación y M3 de Base Granular y se pagará por cantidades de obra y precios unitarios

(**) Nivel de preponderancia de los daños:
 1. Baches
 2. Exudación
 3. Fisuras y Desgaste Superficial
 4. Piel de Cocodrilo Incipiente
 5. Fallas Menores

**PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE**

**OPI: 31-70
SN 0 - 2
N < 4 X 10 ^ 6
CLASIFICACION: NARANJA**

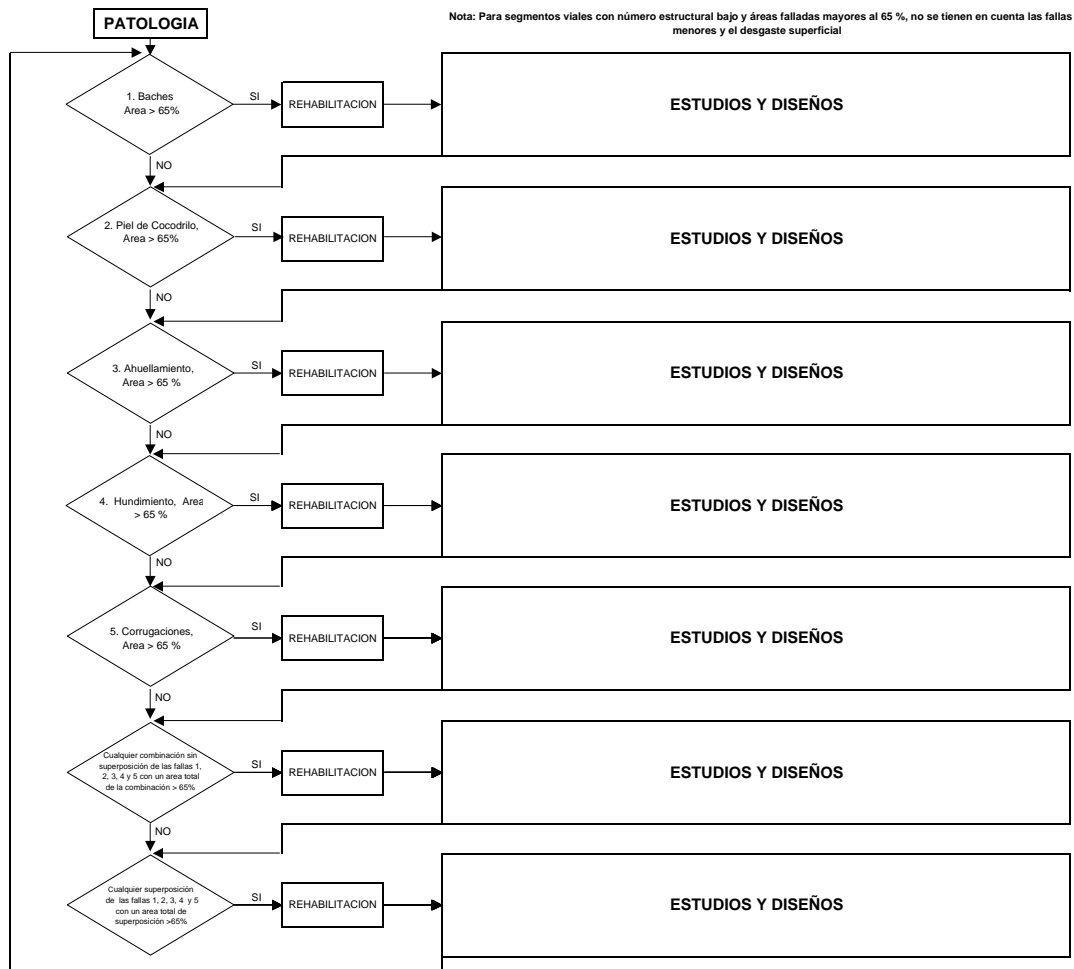


(*) Si en la zona de parcheo y a criterio de la Interventoría se hace necesario reemplazar parte de la base granular existente, este trabajo se hará de acuerdo a la especificación técnica de Base Granular incluyendo la imprimación de la Base Granular reparada, se medirá por M2 de Imprimación y M3 de Base Granular y se pagará por cantidades de obra y precios unitarios

(**) Nivel de preponderancia de los daños:
1. Baches
2. Piel de Cocodrilo
3. Ahuellamiento y/o Hundimiento y/o Corrugaciones
4. Fisuras y Desgaste Superficial
5. Fallas Menores

PROYECTO DISTRITOS DE MANTENIMIENTO
 FLUJO PROCESO DE MANTENIMIENTO POR CALZADA DE UN SEGMENTO VIAL
 MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL, ARTERIAL COMPLEMENTARIA E INTERMEDIA
 TIPO DE SUPERFICIE: PAVIMENTO FLEXIBLE

OPI: 0-30
 SN 0 - 2
 $N < 4 \times 10^6$
 CLASIFICACION: ROJA



(*) Nivel de Preponderancia de los daños: 1. Baches
 2. Piel de Cocodrilo
 3. Ahuellamiento y/o Hundimiento y/o Corrugaciones

MODELO AMARILLO

DATOS INICIALES

De amarillo hacia verde

| COSTOS DE PARCHEOS | | % |
|---------------------------------------|--|------|
| Primera intervención de mantenimiento | | 0,15 |
| Segunda intervención de mantenimiento | | 0,25 |
| Tercera intervención de mantenimiento | | 0,35 |

| OTROS COSTOS DE CONTRATOS | | % |
|------------------------------|--|-------|
| Manejo ambiental (del ppto) | | 0,025 |
| Desvío de tráfico (del ppto) | | 0,025 |

| | | |
|---------------|--|------|
| AIU contratos | | 0,25 |
|---------------|--|------|

| | | |
|-----------|--|------|
| Inflación | | 0,06 |
| Interes | | 0,11 |

| Costo de intervención pasar naranja a amarillo | | |
|--|----|--------|
| Parcheo | M2 | 44.667 |

| | | |
|---|--|------|
| Porcentaje parcheo para la intervención año 6 | | 0,25 |
|---|--|------|

MODELO DE MANTENIMIENTOS - ESTADO AMARILLO

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Costo reparación inicial | 7.094.269.623 | | | | | | | | | | |
| Costo manejo ambiental | 177.356.741 | | | | | | | | | | |
| Costo desvío de tráfico | 177.356.741 | | | | | | | | | | |
| Costo AIU (25%) | 1.862.245.776 | | | | | | | | | | |
| Costo Total - 1 | 9.311.228.881 | | | | | | | | | | |

| | AÑOS | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Costo mant. Rutinario | 462.365.559 | 490.107.492 | 519.513.942 | 550.684.778 | 583.725.865 | 618.749.417 | 655.874.382 | 695.226.845 | 736.940.455 | 781.156.883 |
| Costo mant. Periódico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.853.449.476 | 0 | 0 | 0 | 14.537.908.411 |
| Costo diagnóstico 1,2,3 | 26.221.478 | 19.456.337 | 20.623.717 | 31.230.200 | 23.172.808 | 24.563.177 | 37.195.668 | 27.599.185 | 29.255.137 | 44.300.635 |
| Costo manejo ambiental | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62.419.052 | 0 | 0 | 0 | 384.084.148 |
| Costo desvío de tráfico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62.419.052 | 0 | 0 | 0 | 384.084.148 |
| Costo AIU (25%) | 122.146.759 | 127.390.957 | 135.034.415 | 145.478.745 | 151.724.668 | 655.400.043 | 173.267.512 | 180.706.508 | 191.548.898 | 4.032.883.556 |
| Costo Total - 2 | 610.733.796 | 636.954.786 | 675.172.073 | 727.393.723 | 758.623.342 | 3.277.000.216 | 866.337.562 | 903.532.538 | 957.744.490 | 20.164.417.782 |

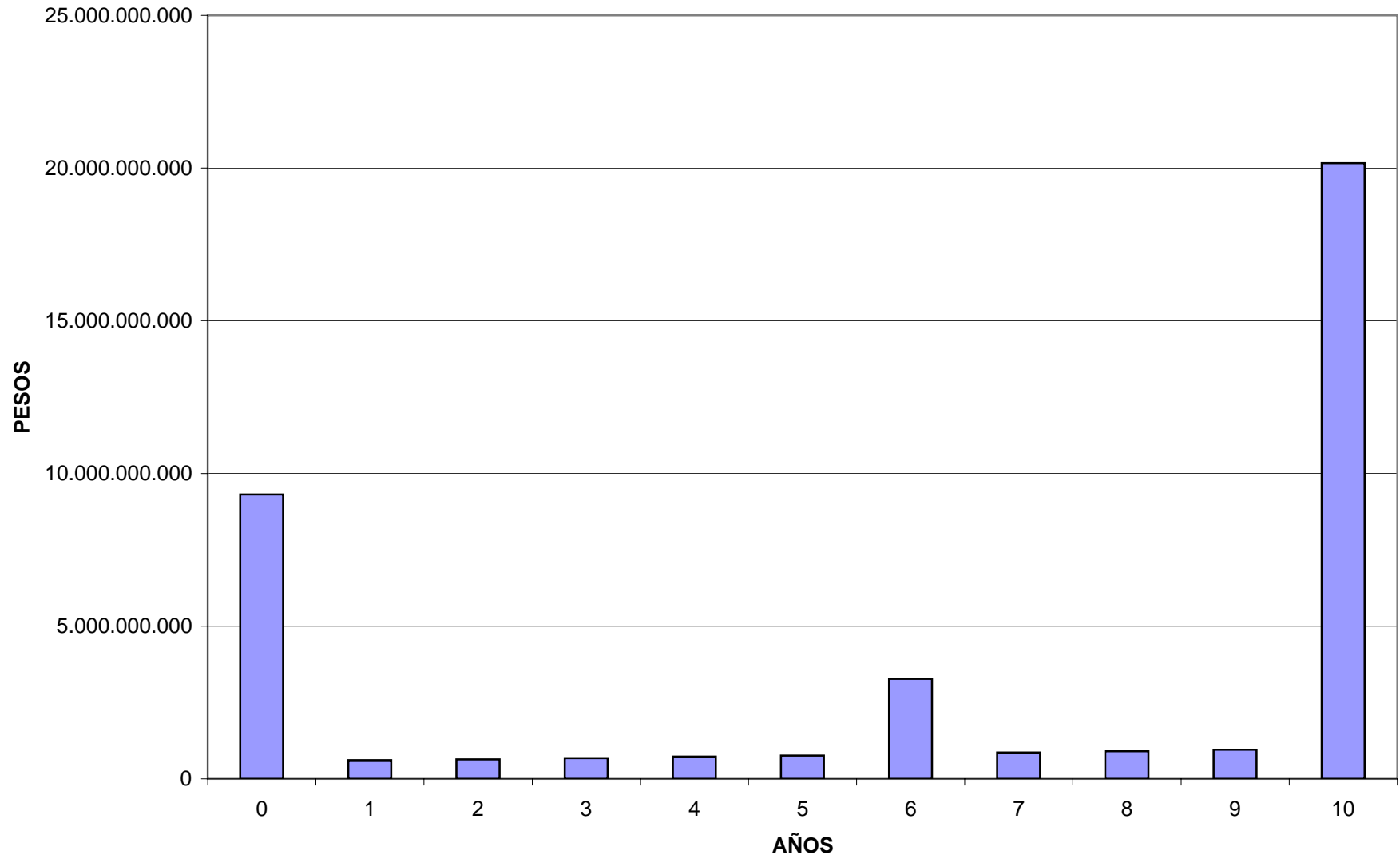
| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Costo Total 1 + 2 | 9.311.228.881 | 610.733.796 | 636.954.786 | 675.172.073 | 727.393.723 | 758.623.342 | 3.277.000.216 | 866.337.562 | 903.532.538 | 957.744.490 | 20.164.417.782 |
|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|

| | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Valor Presente Neto | 19.674.606.970 | OPI: 100 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|

MODELO DE RECONSTRUCCIÓN

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Costo reparación inicial | 7.094.269.623 | | | | | | | | | | 21.250.513.367 |
| Costo manejo ambiental | 177.356.741 | | | | | | | | | | 531.262.834 |
| Costo desvío de tráfico | 177.356.741 | | | | | | | | | | 531.262.834 |
| Costo AIU (25%) | 1.862.245.776 | | | | | | | | | | 5.578.259.759 |
| Costo Total - 1 | 9.311.228.881 | | | | | | | | | | 27.891.298.795 |

| | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Valor Presente Neto | 31.025.698.281 | OPI: 100 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|

INVERSIÓN MANTENIMIENTO PARA ESTADO AMARILLO

Calibración de curvas de deterioro - Estado Verde 2

OPI: $(\text{OPI})_{\text{actual}} * (1 - (A/A_t)^{1,25})$

A: Edad del pavimento correspondiente al OPI

Af: Edad del pavimento cuando se aplica un OPI igual a 0, depende del tipo de superficie, siendo igual a 25 pavimento rígido y 20 para pavimento flexible.

Af: 10 años

| A | OPI VIA | OPI |
|----|---------|---------|
| 1 | 95,00 | 89,66 |
| 2 | 95,00 | 82,29 |
| 3 | 95,00 | 73,91 |
| 4 | 95,00 | 64,78 |
| 5 | 95,00 | 55,06 |
| 6 | 95,00 | 44,83 |
| 7 | 95,00 | 34,17 |
| 8 | 95,00 | 23,12 |
| 9 | 95,00 | 11,72 |
| 10 | 95,00 | 0,00 |
| 11 | 95,00 | -12,02 |
| 12 | 95,00 | -24,32 |
| 13 | 95,00 | -36,87 |
| 14 | 95,00 | -49,67 |
| 15 | 95,00 | -62,70 |
| 16 | 95,00 | -75,95 |
| 17 | 95,00 | -89,41 |
| 18 | 95,00 | -103,07 |
| 19 | 95,00 | -116,92 |
| 20 | 95,00 | -130,95 |

Af: 10 años

| A | OPI VIA | OPI |
|----|---------|---------|
| 1 | 90,00 | 84,94 |
| 2 | 90,00 | 77,96 |
| 3 | 90,00 | 70,02 |
| 4 | 90,00 | 61,37 |
| 5 | 90,00 | 52,16 |
| 6 | 90,00 | 42,47 |
| 7 | 90,00 | 32,37 |
| 8 | 90,00 | 21,91 |
| 9 | 90,00 | 11,11 |
| 10 | 90,00 | 0,00 |
| 11 | 90,00 | -11,39 |
| 12 | 90,00 | -23,04 |
| 13 | 90,00 | -34,93 |
| 14 | 90,00 | -47,06 |
| 15 | 90,00 | -59,40 |
| 16 | 90,00 | -71,95 |
| 17 | 90,00 | -84,70 |
| 18 | 90,00 | -97,64 |
| 19 | 90,00 | -110,76 |
| 20 | 90,00 | -124,06 |

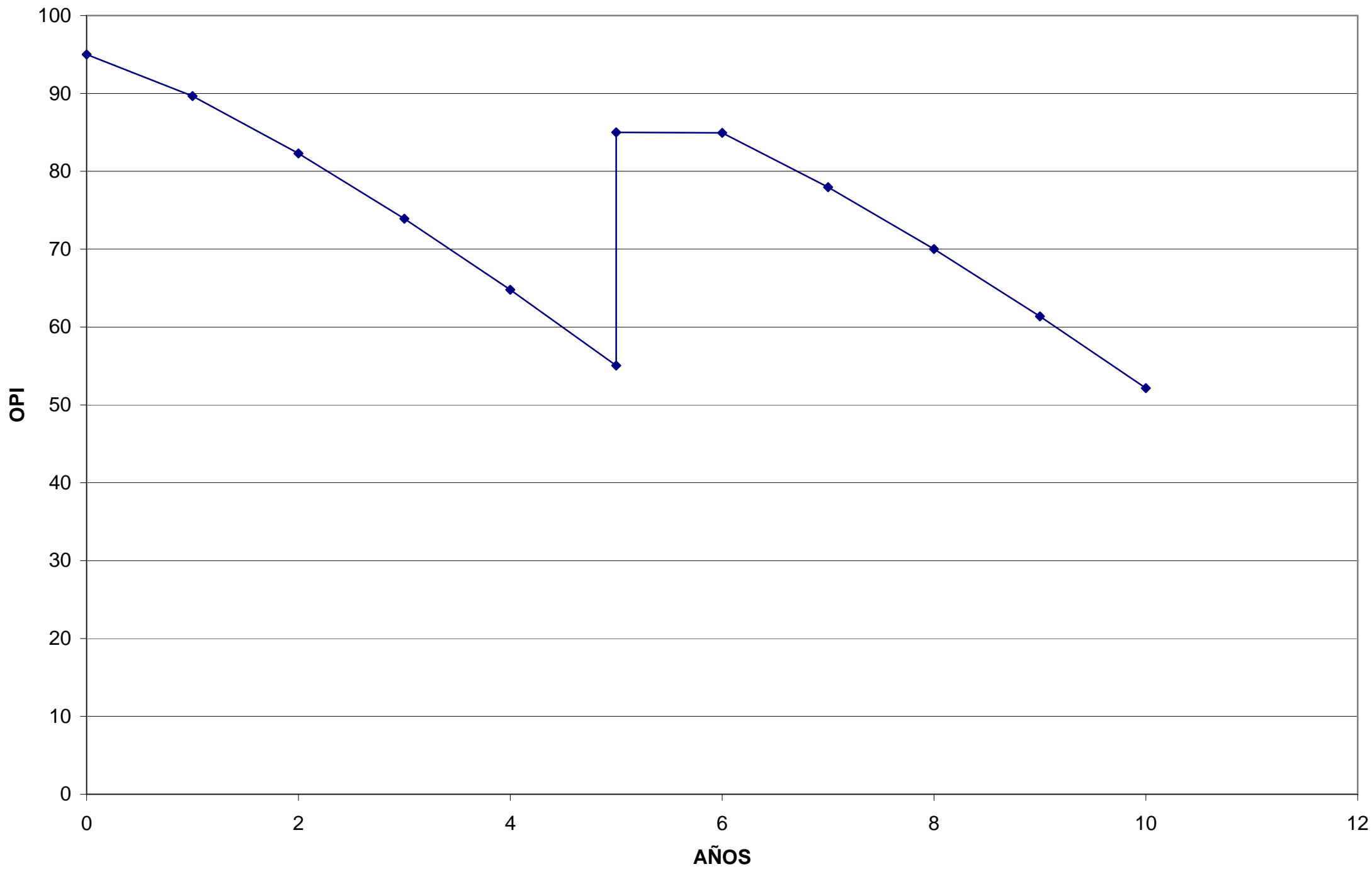
CLASIFICACIÓN DE LA VÍA POR OPI

| OPI | Clasificación |
|--------|---------------|
| 71-100 | Verde |
| 51-70 | Amarillo |
| 31-50 | Naranja |
| 0-30 | Rojo |

CURVA COMBINADA DE OPI

| AÑOS | | OPI |
|------|-------|-------|
| 0 | | 95 |
| 1 | 95,00 | 89,66 |
| 2 | 95,00 | 82,29 |
| 3 | 95,00 | 73,91 |
| 4 | 95,00 | 64,78 |
| 5 | 95,00 | 55,06 |
| 5 | | 85,00 |
| 6 | 90,00 | 84,94 |
| 7 | 90,00 | 77,96 |
| 8 | 90,00 | 70,02 |
| 9 | 90,00 | 61,37 |
| 10 | 90,00 | 52,16 |

CURVA DETERIORO VERDE 2



DATOS INICIALES

De amarillo hacia verde

| COSTOS DE PARCHEOS | | % |
|---------------------------------------|--|------|
| Primera intervención de mantenimiento | | 0,25 |

| OTROS COSTOS DE CONTRATOS | | % |
|------------------------------|--|-------|
| Manejo ambiental (del ppto) | | 0,025 |
| Desvío de tráfico (del ppto) | | 0,025 |

| | | |
|---------------|--|------|
| AIU contratos | | 0,25 |
|---------------|--|------|

| | | |
|-----------|--|------|
| Inflación | | 0,06 |
| Interes | | 0,06 |

| Costo de intervención pasar amarillo a verde | | |
|--|-----|--------|
| Parcheo | M2 | 44.667 |
| Microaglomerado | M2 | 16.551 |
| Reniv. Pozos | UND | 65.548 |

MODELO DE MANTENIMIENTOS - ESTADO VERDE 2

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Costo reparación inicial | 7.094.269.623 | | | | | | | | | | |
| Costo manejo ambiental | 177.356.741 | | | | | | | | | | |
| Costo desvío de tráfico | 177.356.741 | | | | | | | | | | |
| Costo AIU (25%) | 1.862.245.776 | | | | | | | | | | |
| Costo Total - 1 | 9.311.228.881 | | | | | | | | | | |

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Costo mant. Rutinario | | 462.365.559 | 490.107.492 | 519.513.942 | 550.684.778 | 583.725.865 | 618.749.417 | 655.874.382 | 695.226.845 | 736.940.455 | 781.156.883 |
| Costo mant. Periódico | | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.610.538.199 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Costo diagnóstico 1,2,3 | | 26.221.478 | 19.456.337 | 20.623.717 | 31.230.200 | 23.172.808 | 24.563.177 | 37.195.668 | 27.599.185 | 29.255.137 | 44.300.635 |
| Costo manejo ambiental | | 12.214.676 | 12.739.096 | 13.503.441 | 14.547.874 | 130.435.922 | 16.082.815 | 17.326.751 | 18.070.651 | 19.154.890 | 20.636.438 |
| Costo desvío de tráfico | | 12.214.676 | 12.739.096 | 13.503.441 | 14.547.874 | 130.435.922 | 16.082.815 | 17.326.751 | 18.070.651 | 19.154.890 | 20.636.438 |
| Costo AIU (25%) | | 128.254.097 | 133.760.505 | 141.786.135 | 152.752.682 | 1.369.577.179 | 168.869.556 | 181.930.888 | 189.741.833 | 201.126.343 | 216.682.599 |
| Costo Total - 2 | | 641.270.486 | 668.802.525 | 708.930.677 | 763.763.409 | 6.847.885.895 | 844.347.779 | 909.654.440 | 948.709.165 | 1.005.631.715 | 1.083.412.993 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Costo Total 1 + 2 | 9.311.228.881 | 641.270.486 | 668.802.525 | 708.930.677 | 763.763.409 | 6.847.885.895 | 844.347.779 | 909.654.440 | 948.709.165 | 1.005.631.715 | 1.083.412.993 |
|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|

| | | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| Valor Presente Neto | 18.702.278.813 | OPI: 70,78 |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|

MODELO DE RECONSTRUCCIÓN

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Costo reparación inicial | 7.094.269.623 | | | | | | | | | | 21.250.513.367 |
| Costo manejo ambiental | 177.356.741 | | | | | | | | | | 531.262.834 |
| Costo desvío de tráfico | 177.356.741 | | | | | | | | | | 531.262.834 |
| Costo AIU (25%) | 1.862.245.776 | | | | | | | | | | 5.578.259.759 |
| Costo Total - 1 | 9.311.228.881 | | | | | | | | | | 27.891.298.795 |

| | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Valor Presente Neto | 33.607.334.824 | OPI: 100 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|

-14.905.056.011 DIFERENCIA DE INTERVENCIONES