

**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS
CONVENCIONALES Y MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN LA MALLA VIAL
DEL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ**

JUAN DAVID HERNANDEZ HERNANDEZ

DARWIN DUVER ROSERO VEGA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Vías y Transporte**

**UNIVERSIDAD DE MEDELLIN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN VIAS Y TRANSPORTE
COHORTE 14
MEDELLIN
2014**

**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS
CONVENCIONALES Y MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN LA MALLA VIAL
DEL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ**

JUAN DAVID HERNANDEZ HERNANDEZ

DARWIN DUVER ROSERO VEGA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Vías y Transporte**

**Ing. JOHNNY ALEXANDER VEGA
Asesor Metodológico**

**Ing. SERGIO ALFREDO CIFUENTES MOSQUERA
Asesor Temático**

**UNIVERSIDAD DE MEDELLIN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN VIAS Y TRANSPORTE
COHORTE 14
MEDELLIN
2014**

Nota de aceptación:

Firma del Asesor Metodológico

Firma del Asesor Temático

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	9
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo General.	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. ENFOQUE DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	13
2.1 Metodología para el desarrollo de la investigación.	14
3. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA SOBRE PAVIMENTOS.....	16
3.1. Definición de pavimento.....	16
3.2. Mezclas asfálticas	16
3.2.1. Asfalto convencional	16
3.2.2. Asfalto modificado con polímero.	17
3.2.3 Mezcla asfáltica convencional.....	17
3.2.4. Mezcla asfáltica modificada con polímeros.....	18
3.3. Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos	19
3.4. Características reológicas del asfalto	19
3.5. Deterioro de los pavimentos asfálticos	20
3.5.1. Fallas de los pavimentos flexibles.....	20
3.5.2. Daños superficiales en los pavimentos flexibles	21
3.5.2.1. Desgaste superficial.....	21
3.5.2.2. Pérdida de agregado.....	22
3.5.2.3. Pulimento del agregado.	22
3.5.2.4. Cabezas duras.....	22
3.5.2.5. Surcos.....	23
3.5.3. Fisuras en los pavimentos flexibles.	23
3.5.3.1 Fisuras longitudinales y transversales.	23

3.5.3.2. Fisuras en bloque.	24
3.5.3.3. Piel de cocodrilo.....	24
3.5.3.4. Fisuración por deslizamiento de capas.....	25
3.5.4. Deformaciones en los pavimentos flexibles.	26
3.5.4.1. Ondulación.....	26
3.5.4.2. Abultamiento.	27
3.5.4.3. Hundimiento.....	27
3.5.4.4. Ahuellamiento.	28
4. RECOPIACION DE INFORMACION DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE ITAGUI.....	29
4.1 información general del Municipio de Itagüí.....	29
4.2 Estado de la Malla Vial de Itagüí.....	29
4.2.1 Información y diseño de intervención de pavimento elaborado por el Consorcio Itagüí 2012.....	30
4.2.2 Información y diseño de intervención de pavimento elaborado por la Empresa Consultora Suelos y Pavimentos Ltda.....	54
5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LABORATORIO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PROVEEDORA PARA EL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.....	57
5.1 Procedimientos	57
5.1.1 Granulometría del agregado mineral	57
5.1.2 Limite líquido e Índice de Plasticidad	57
5.1.3 Peso específico de agregado grueso.....	57
5.1.4 Peso específico de agregado fino.....	58
5.1.5 Peso unitario y % de vacíos de agregados compactados y sueltos.....	58
5.1.6 Equivalente de Arena.....	58
5.1.7 Determinación de la limpieza superficial del agregado grueso	58
5.1.8 Salinidad de los agregados pétreos frente a la acción de una solución de sulfato de sodio.....	59
5.1.9 Resistencia al desgaste en máquina de los Ángeles	59
5.1.10 Resistencia al desgaste por medio del Micro-Deval (Ensayo Externo).....	59

5.1.11 Resistencia por el método de 10% de finos	59
5.1.12 Partículas alargadas y aplanadas	59
5.1.13 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	60
5.1.14 Angularidad del agregado fino	60
5.1.15 Coeficiente de pulimento acelerado	60
5.1.16 Peso específico del llenante mineral.....	60
5.1.17 Concentración Crítica del Llenante Mineral	60
5.1.18 Peso unitario aparente de llenante en tolueno	61
5.1.19 Resistencia de mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall.....	61
5.1.20 Peso unitario de mezclas asfálticas compactadas	61
5.1.21 Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (GMM)	61
5.1.22 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas	61
5.1.23 Análisis Volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente	62
5.1.24 Deformación plástica en pista	62
5.2 Caracterización de materiales pétreos y llenante mineral.....	62
5.2.1 Ensayos de Clasificación	63
5.2.1.1 Granulometría de los materiales pétreos y del llenante mineral	63
5.2.1.2 Limite líquido e Índice de Plasticidad	63
5.3 Ensayos que definen las propiedades gravimétricas de los agregados pesos específicos de los agregados grueso y fino	63
5.4 Ensayos que evalúan la limpieza de los agregados	64
5.4.1 Equivalente de Arena.....	64
5.4.2 Contenido de impurezas	64
5.5 Ensayos que evalúan la resistencia de los agregados pétreos.....	65
5.5.1 Solidez en sulfato de Magnesio	65
5.5.2 Desgaste en máquina de los Ángeles.....	65
5.5.3 Evaluación de la resistencia al desgaste del agregado grueso utilizando el equipo Micro-Deval.	66
5.5.4 Evaluación de la resistencia mecánica del agregado grueso por el método de 10% de finos	66

5.5.5 Coeficiente de pulimento acelerado	66
5.6 Ensayos que evalúan la forma de los agregados pétreos	67
5.6.1 Porcentaje de caras fracturadas	67
5.6.2 Índices de alargamiento y Aplanamiento	68
5.6.3 Angularidad del Agregado Fino.....	69
5.7 Ensayos que evalúan las características del llenante mineral de aporte	69
5.7.1 Peso Unitario del Llenante en tolueno	69
5.7.2 Concentración crítica del llenante mineral.....	69
5.7.3 Vacíos en el llenante compactado en seco.....	70
5.8 Selección de la gradación de diseño para MDC-2	71
5.9 Caracterización del ligante bituminoso	73
5.9.1 Propiedades fisicoquímicas asfalto 60/70	73
5.9.2 Propiedades fisicoquímicas asfalto TIPO III.....	73
5.10 Características de la mezcla asfáltica	76
5.10.1 Criterios del Artículo 450-07 para mezclas asfálticas	76
5.10.2 Caracterización dinámica a mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III	77
5.10.2.1 Módulo Dinámico	77
5.10.2.2 Fatiga por Tracción Indirecta (Fatiga a esfuerzo controlado).....	80
5.10.2.3 Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas.	84
6. VISITAS DE CAMPO A LAS VÍAS PRINCIPALES PARA IDENTIFICAR LAS POSIBLES CAUSAS A QUE SE ATRIBUYEN LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS DEL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.....	88
7. PROCESAMIENTO DE INFORMACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	98
7.1 Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos en Itagüí.	98
7.1.1 Trafico.....	98
7.1.2 Clima.....	98
7.1.3 Capacidad de soporte de la subrasante	99
7.1.4 Calidad de los materiales de los pavimentos existentes.....	99
7.2 Análisis técnico de las mezclas evaluadas	99

7.3 Alternativas de diseño empleando mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III.	102
7.4 Análisis de beneficio / costo de las alternativas de diseño.	106
7.4.1 Análisis de costos de ciclo de vida.....	106
7.4.2 Periodo de análisis.....	106
7.4.2.1 Alternativa 1: costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 convencional y proyección de costos de mantenimiento a 20 años.....	107
7.4.2.2 Alternativa 2: Costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 modificada con polímero tipo III y proyección de costo de mantenimiento a 20 años.	112
7.4.2.3 Alternativa 3: Costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 modificada con polímero tipo III y proyección de costo de mantenimiento a 20 años, modificando el espesor de la carpeta de rodadura.	118
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFIA	131
ANEXOS	133
ANEXO 1. INVENTARIO DE LAS FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO	134

GLOSARIO

- **Filler:** Es la fracción mineral que pasa por el tamiz #200 de la ASTM.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials.
- **Stiffness:** Rigidez (para el cemento asfáltico).
- **Stripping:** Pérdida de adherencia (para el cemento asfáltico).
- **Mastic:** Pasta que combina el asfalto con un agregado.
- **Hidroplaneo:** Es un fenómeno físico, que ocurre cuando un vehículo ingresa a alta velocidad sobre una lamina de agua formada sobre el pavimento, disminuyendo la adherencia de las llantas con la superficie del pavimento.
- **TPD:** Transito Promedio Diario. Es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre 1 a 365 días.
- **C2P:** Camión rígido de dos ejes pequeño.
- **C2G:** Camión rígido de dos ejes grande.
- **C3:** Camión rígido de 3 ejes.
- **C4:** Camión rígido de 4 ejes, o tracto camión de 2 ejes con semirremolque de 2 ejes, o tracto camión de 3 ejes con semirremolque de 1 eje.
- **C5:** Tracto camión de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes.
- **LVDTs:** Sensores de desplazamiento del equipo de medición del ensayo de fatiga por tracción indirecta.
- **NESE:** Número de Ejes Sencillos Equivalentes.
- **ACCV:** Análisis de Costos durante el Ciclo de Vida.

- **SN:** Número estructural, parámetro que determina por el método de diseño de la AASHTO la capacidad estructural requerida para una estructura de pavimento.
- **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials.
- **FDW:** Deflectómetro de impacto, es un aparato de medición para la auscultación y evaluación estructural de firmes en carreteras.
- **MDC-2:** Mezcla densa en caliente tipo 2. Concreto asfáltico.
- **Derrapaje:** Deslizamiento un vehículo desviándose lateralmente de la dirección que llevaba.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Municipio de Itagüí – Departamento de Antioquia ha tenido un crecimiento comercial e industrial y en vivienda, que demanda sobre las vías de Itagüí una gran circulación de vehículos de transporte particular, público y de carga, lo que ha conllevado a que se haya acelerado el deterioro de la malla vial existente de dicho Municipio.

Debido a eso la administración municipal se ha preocupado por llevar a cabo programas de rehabilitación y mantenimiento de la malla vial, por lo cual se ha realizado una gran inversión contratando el *Mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de la malla vial urbana del Municipio de Itagüí*, con el propósito de brindar a los usuarios de las vías confort, mejorar la movilidad y generar un cambio de imagen positivo del Municipio.

Teniendo en cuenta la ambiciosa intervención que se realizará sobre las vías del Municipio de Itagüí, el presente trabajo busca evaluar las condiciones actuales de tránsito y superficie de rodadura apoyados en estudios de consultoría sobre las vías del Municipio de Itagüí, y proponer alternativas de rehabilitación con mezclas asfálticas modificadas con polímeros sobre algunas vías de alta circulación vehicular del Municipio de Itagüí, evaluando el beneficio/costo que puede implicar la utilización de las mencionadas mezclas en comparación con la utilización de mezclas asfálticas en caliente tipo MDC-2 (convencionales).

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General.

- Evaluar la mezcla asfáltica más conveniente a utilizar en la construcción o rehabilitación en las vías principales del Municipio de Itagüí en función de las características técnicas, económicas y de transitabilidad que ofrecen las mezclas asfálticas en caliente convencionales y las mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros.

1.2 Objetivos Específicos.

- Analizar las propiedades y desempeño de las mezclas asfálticas convencionales, con el propósito de conocer sus potencialidades y/o desventajas que puedan llegar a tener en su aplicación.
- Analizar las propiedades y desempeño de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, con el propósito de conocer sus potencialidades y/o desventajas que puedan llegar a tener en su aplicación.
- Identificar las fallas más comunes y las causas principales a las que se debe el deterioro de las vías principales del Municipio de Itagüí seleccionadas en la investigación.
- Conocer y comparar las condiciones técnicas que brindan las mezclas asfálticas en caliente convencionales y las mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros.

2. ENFOQUE DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Las mezclas asfálticas en caliente son las más empleadas en muchas partes del mundo, debido a su flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga y economía entre otras características, generando por ende investigaciones y desarrollos para mejorar sus propiedades mecánicas y dinámicas. Muchos de los adelantos se han enfocado en el proceso constructivo de la conformación de las carpetas de rodadura, prueba de ello es la utilización de equipos costosos que mantienen la temperatura constante en el proceso de extendido y compactación.

De otra parte, el acelerado desarrollo automotriz y el intercambio de bienes y servicios han conducido a construir vías que soportan mayor número de ejes equivalentes y cargas con el empleo de materiales modificados y estricto control de obra. Una de las variables principales en el diseño de la estructuras de pavimento son las propiedades dinámicas y mecánicas de las mezclas, resaltándose el modulo dinámico, el ahuellamiento y la ley de fatiga; por lo cual este trabajo se fundamenta en determinar el efecto en el módulo dinámico, ley de fatiga, estabilidad, densidad y flujo al cambiar la calidad y la composición de los asfaltos.

Se presentan casos en que las características de las mezclas asfálticas obtenidas con cementos asfálticos convencionales no son capaces de resistir la acción conjunta del tránsito y clima, por lo que resulta necesaria la utilización de ligantes modificados que presenten mejores propiedades reológicas, un mayor grado de adherencia, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad térmica. (Reyes Lizcano, 2009)

En el caso específico del Municipio de Itagüí, la malla vial actualmente se encuentra en regulares condiciones, debido a que muchas de estas vías han cumplido con su vida útil, el crecimiento del parque automotor en el Municipio ha crecido significativamente, las industrias, empresas y comercio atraen a miles de personas que se desplazan a diario por las vías del Municipio y por ser un Municipio altamente industrial el tránsito de vehículos de carga tiene un crecimiento constante, por lo cual es necesario contar con vías que estén en capacidad de brindar condiciones de resistencia a la deformación y a la fatiga por el tránsito de vehículos de carga por el Municipio.

Para mejorar las condiciones de movilidad, seguridad y confort, se establecen procedimientos para realizar labores de mantenimiento o rehabilitación de vías, empleando por lo general mezclas asfálticas en caliente Tipo MDC-2, material que es funcional para este tipo de trabajos, pero en busca de prolongar la vida útil de los pavimentos que se van a rehabilitar se busca proponer la utilización de mezclas asfálticas adicionadas con polímeros que dependiendo de las condiciones de uso de las vías pueden mejorar la relación beneficio / costo en las inversiones que se pretenden realizar para rehabilitar algunas de las vías principales del

Municipio de Itagüí, debido a que factores como el tráfico, el clima, las condiciones de soporte de la subrasante y la calidad de los materiales con los que están construidas las vías actualmente en el Municipio de Itagüí, inciden en el desempeño de las vías de dicho Municipio.

2.1 Metodología para el desarrollo de la investigación.

Para el desarrollo de la investigación, es importante conocer sobre los antecedentes de las vías del municipio, por lo cual se investigó esta información en los estudios de caracterización que se han realizado sobre la malla vial del municipio de Itagüí, como también se realizó una investigación teórica de las mezclas asfálticas más empleadas para trabajos de rehabilitación de vías en este caso por lo general se utilizan las mezclas asfálticas en caliente tipo MDC-2, además se investigó sobre las características y propiedades de las mezclas asfálticas adicionadas con polímeros. Complementario a esto se obtuvieron los resultados de laboratorio en los que se determinan las características de estos dos tipos de mezclas, ensayos que fueron suministrados por la planta proveedora de mezclas asfálticas para el Municipio de Itagüí, la empresa CONASFALTOS S.A.

También fue necesario realizar recorridos de campo para corroborar la información de los estudios de consultoría y visualizar de primera mano las fallas más comunes que se están presentando en las vías más transitadas del municipio de Itagüí.

Con toda la información de campo, de laboratorio, y de consulta, se tienen los datos de las condiciones de rehabilitación y reconstrucción con mezclas asfálticas convencionales para los segmentos de vías que fueron escogidas para el presente estudio, concretamente que conforman la carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María costado oriental del Municipio de Itagüí, vía arteria del Municipio que conecta directamente el centro de Itagüí con el Municipio de Medellín, con esta información se realizó una evaluación de los mismos segmentos de vías proponiendo una mezcla asfáltica adicionada con polímeros, analizando la relación beneficio/costo de la vía seleccionada.

Con los resultados obtenidos se obtuvieron unas conclusiones del estudio y se realizó las recomendaciones que se consideraron pertinentes, para que sean documento de consulta para el Municipio de Itagüí y para los usuarios de la biblioteca de la Universidad de Medellín.

A continuación en la figura 1 se presenta de forma gráfica la metodología desarrollada en el trabajo de grado:

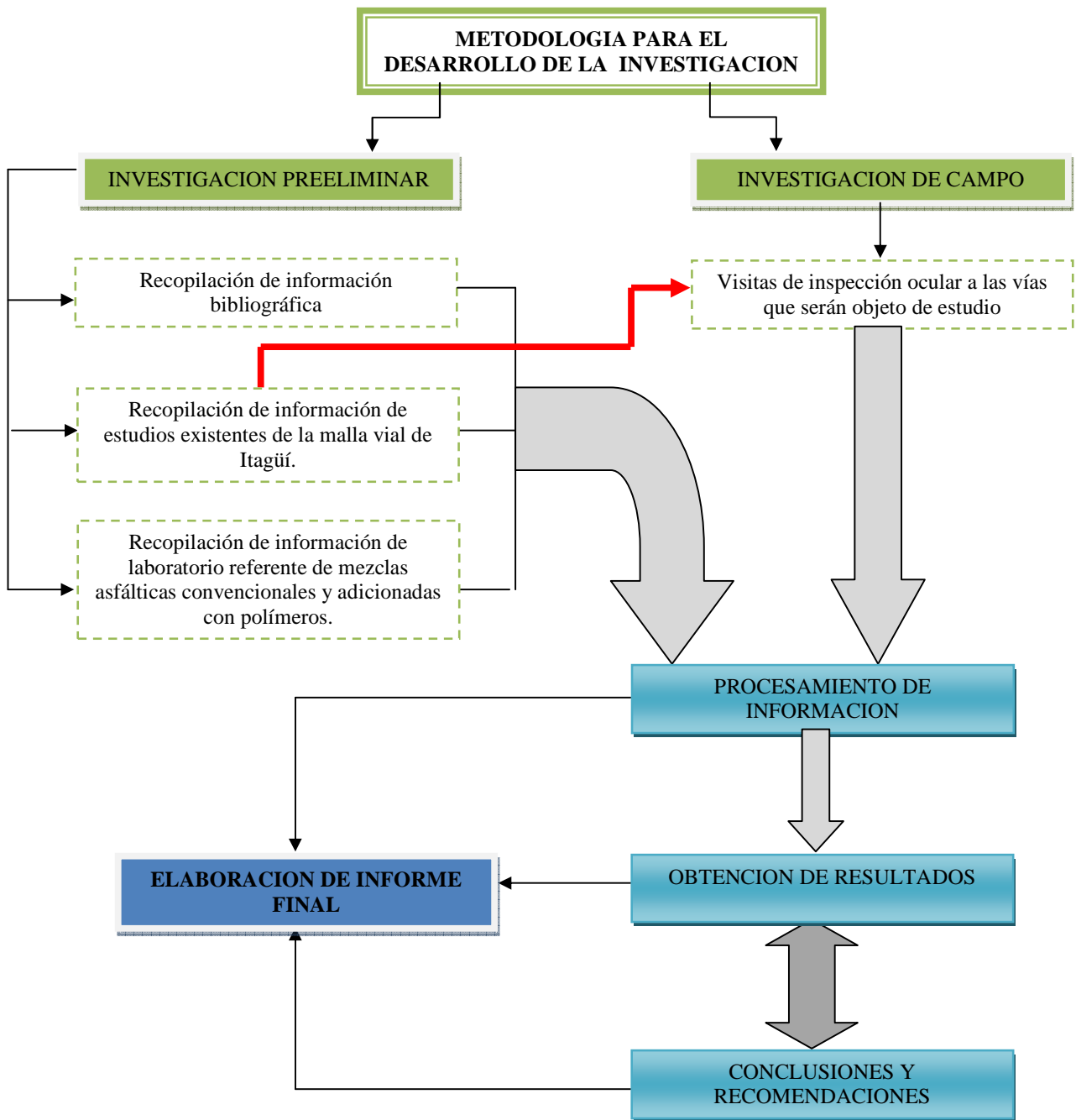


Figura 1. Metodología para el desarrollo del trabajo de grado.
Fuente: Elaboración propia

3. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA SOBRE PAVIMENTOS

La historia y el desarrollo de los pavimentos van asociados con la evolución y necesidades de la humanidad. Las vías de comunicación condicionan el progreso de una nación en la medida en que facilitan la comercialización de su producción agrícola e industrial y permiten el desarrollo de sistemas de transportes rápidos y eficaces.

3.1. Definición de pavimento.

Un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por éste.

Desde el punto de vista estructural un pavimento transmite en forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación; es decir, sin rotura de los materiales o deformaciones permanentes exageradas para la estructura. Proporciona una superficie de rodadura uniforme que permite la circulación libre de los vehículos.

Controla la infiltración de las aguas superficiales que pueden alterar las propiedades de los materiales constitutivos del subsuelo. (Garces Cardenas & Garro Cossio, 1992)

3.2. Mezclas asfálticas

3.2.1. Asfalto convencional

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción, cuyas cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas lo hacen óptimos para un gran número de aplicaciones.

Muchos de los asfaltos usados en trabajos de pavimentación provienen de la destilación del petróleo. La gran versatilidad de los materiales bituminosos hace que estos sean los más utilizados para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles. Los principales tipos de ligantes bituminosos que se emplean actualmente para la elaboración de mezclas asfálticas son los asfaltos naturales, los cementos asfálticos o asfaltos de penetración, los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados, las emulsiones asfálticas y los crudos del petróleo. (Instituto Colombiano del Petróleo. Red Nacional de Datos, 2013)

3.2.2. Asfalto modificado con polímero.

Los asfaltos modificados son la consecuencia de la interacción físico-químico de los polímeros con un cemento asfáltico, con la finalidad de mejorar su reología.

El efecto principal de añadir polímeros al cemento asfáltico, es el cambio obtenido en la relación viscosidad-temperatura, sobre todo el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas, permitiendo mejorar de esta manera y simultáneamente, el comportamiento tanto a altas como a bajas temperaturas del ligante. La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura. (Chavéz Roldán, 2013)

La Figura2, ilustra este efecto para un tipo de asfalto modificado.

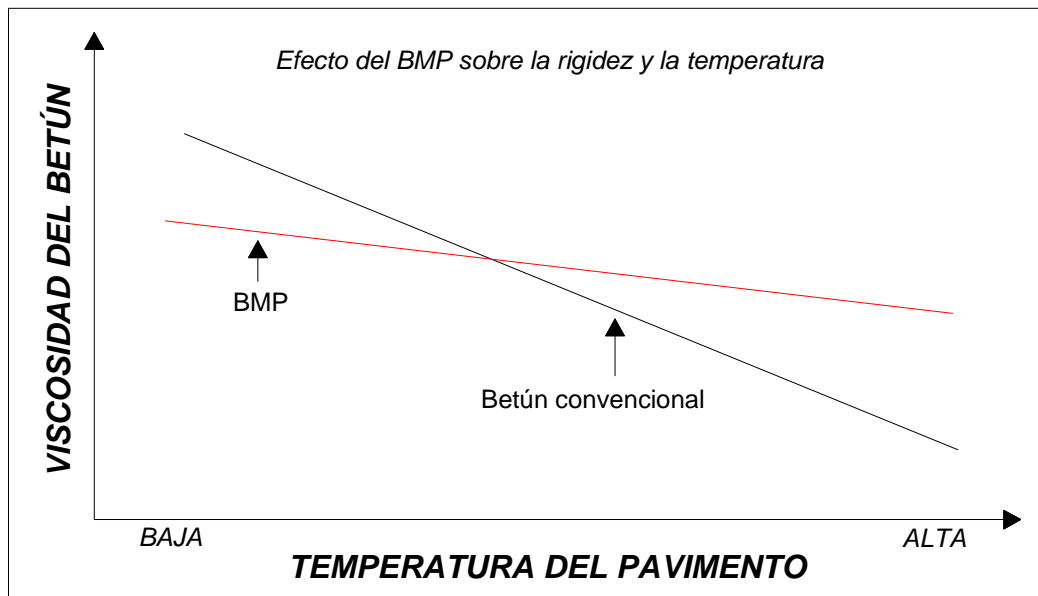


Figura 2. Efecto del BMP (Betón modificado con polímero) sobre la rigidez y temperatura. Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Mezcla asfáltica convencional.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. (Montejo Fonseca, 1997)

3.2.4. Mezcla asfáltica modificada con polímeros

Las mezclas asfálticas con la adición de los polímeros parten de una mezcla convencional con la diferencia que al asfalto se le adiciona polímeros.

Los polímeros son la unión de varias moléculas enlazadas entre sí, pueden tener variedad en el número de moléculas y pueden tener miles de ramificaciones según sea la complejidad del material, y se pueden clasificar según su origen como polímeros naturales (no necesitan tratamiento como las proteínas, los hules, el caucho) y polímeros sintéticos (necesitan un proceso y son realizados industrialmente como el nylon, el polietileno). (Rodríguez, 2013)

Con la adición de los polímeros se pueden lograr resistencias mayores del pavimento en cuanto al ahuellamiento, susceptibilidad térmica, fatiga, deformación a altas temperaturas, fracturamiento a bajas temperaturas, etc., reduciendo además los costos de mantenimiento.

Los polímeros más utilizados para modificar los cementos asfálticos son el caucho natural (NR), los copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA) y elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS).

Con la utilización de los modificadores, se puede lograr:(Reyes Lizcano, 2009)

- Mejorar el stiffness del cemento asfáltico a temperaturas altas de servicio, minimizando el riesgo de ahuellamiento.
- Obtener mezclas más flexibles a temperaturas bajas de servicio para minimizar la aparición de fisuras asociadas a los cambios térmicos.
- Mejorar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- Mejorar la afinidad Ligante-agregado pétreo, con el fin de reducir el riesgo de stripping o pérdida de adherencia.
- Mejorar la resistencia a la abrasión de las mezclas asfálticas.
- Rejuvenecer el cemento asfáltico.
- Minimizar los problemas durante el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica.
- Mejorar las características elásticas del cemento asfáltico.
- Permitir un mayor espesor de película de Ligante alrededor de las partículas de agregado, con el propósito de aumentar la durabilidad de la mezcla.
- Reducir la probabilidad de exudación del cemento asfáltico.
- Disminuir los espesores de la estructura del pavimento.
- Mejorar el comportamiento general de toda la estructura del pavimento.

3.3. Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir grandes esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades: Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua, proveniente de la precipitación.

Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente, mejora la capacidad portante de la estructura y, por ende, permite disminuir el espesor.

Ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de estas dos funciones, al tiempo que proporciona una estructura de pavimento con características flexibles.

Una mezcla asfáltica ideal debe tener las siguientes características: (Reyes Lizcano, 2009)

- Baja rigidez o viscosidad a las temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Alta rigidez a temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.
- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambios de temperatura.
- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir el stripping o pérdida de adherencia.

3.4. Características reológicas del asfalto

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad.

La viscosidad del asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material sólido con propiedades elásticas. Con el propósito de conocer las características del flujo del asfalto a

distintas temperaturas, se utilizan actualmente monogramas y curvas que relacionan las principales propiedades del asfalto. (Reyes Lizcano, 2005)

3.5. Deterioro de los pavimentos asfálticos

La incidencia de factores de diverso origen determina alteraciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro. La finalidad fundamental de todo proceso de mantenimiento o refuerzo de los pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

Las causas de los defectos mencionados son de destino origen y naturaleza, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original.
- Deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales, en los espesores o en las operaciones de construcción.
- Diseños deficientes.
- Factores climáticos regionales desfavorables.
- Deficiente mantenimiento por escasos recursos económicos disponibles.
- Problemas de aprovisionamiento en algunas zonas del país por agotamiento de materiales adecuados. (Montejo Fonseca, 1997)

3.5.1. Fallas de los pavimentos flexibles.

Los diversos tipos de fallas suelen estar relacionados con determinados mecanismos de deterioro. Aquellos que básicamente están asociados a la acción de las cargas del tránsito exigen trabajos de rehabilitación con fortalecimiento estructural, en tanto que los relacionados a los materiales y el clima deben enfrentarse, ante todo, buscando remediar las causas de dichas deficiencias o minimizando su impacto sobre el comportamiento del pavimento. Es evidente, sin embargo, que algunos problemas muy severos motivados en los materiales o aspectos ambientales, pueden exigir la reconstrucción de los pavimentos.

Las fallas en los pavimentos flexibles se dividen en tres grupos fundamentales:

Fallas por insuficiencia estructural: esta falla se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus

respectivos espesores no son suficientes para establecer un mecanismo de resistencia adecuado que soporte las cargas a las que serán sometidos.

Fallas por defectos constructivos: se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que llevan al fallo del pavimento.

Fallas por fatiga: se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Estos fallos están grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, pero resultan claramente influidas por el tiempo de servicio y el envejecimiento del ligante. (Rico & Del Castillo, 1989)

A continuación se describirán algunas de las fallas más comunes que presentan los pavimentos asfálticos, poniendo especial cuidado en aquellos que requieren de una actuación de rehabilitación estructural, ya que son los tipos de fallos en los que se suele realizar un fresado de las capas del pavimento con lo que se obtiene un material de buena calidad que puede ser reciclado.

3.5.2. Daños superficiales en los pavimentos flexibles

3.5.2.1. Desgaste superficial.

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

Causas:

El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.

Puede generarse también por las siguientes causas:

- Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.
- Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito

3.5.2.2. Pérdida de agregado.

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Causas:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

3.5.2.3. Pulimento del agregado.

El daño se evidencia por la presencia agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Causas: La causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento (un ejemplo de esto son las calizas).

3.5.2.4. Cabezas duras.

Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mastic arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor.

Causas:

- Uso de agregados gruesos con tamaño inadecuado.
- Distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.
- Segregación de los agregados durante su manejo en obra.

- Heterogeneidad en la dureza de los agregados.

3.6.2.5. Surcos.

Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica.

Causas:

En tratamientos superficiales se da por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual genera el desprendimiento de los agregados; en concreto asfáltico está relacionado con la erosión producida por agua en zonas de alta pendiente. (Invias, Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Convenio interadministrativo 587 – 03)

3.5.3. Fisuras en los pavimentos flexibles.

Son agrietamientos que se presentan en la superficie de la capa de rodadura por varias causas, y se pueden reflejar de diversas formas, las cuales se describen a continuación:

3.5.3.1 Fisuras longitudinales y transversales.

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Causas:

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°C).
- Reflexión de grietas en las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:

- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura

3.5.3.2. Fisuras en bloque.

Cuando se presenta este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular. Los bloques tienen lado promedio mayor que 0,30 m. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito.

Por otra parte, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.

Causas:

- La fisuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo - deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado para las condiciones climáticas de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración

3.5.3.3. Piel de cocodrilo.

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración

tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm.

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y subrasantes expansivas, entre otras.

Causas:

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos estos factores pueden reducir la capacidad estructural o inducir esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

3.5.3.4. Fisuración por deslizamiento de capas.

Corresponden a fisuras en forma de semicírculo o medialuna, con curvaturas definidas de acuerdo con la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar). Este tipo de fisuras se genera por acción del

arranque o frenado de los vehículos lo que conlleva a que la superficie del pavimento se deslice y se deforme. Usualmente aparecen en zonas montañosas, en curvas o en intersecciones.

Causas:

Estas fisuras se presentan usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento. Se pueden generar ante el paso de tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos.

Otras causas pueden ser:

- Espesores de carpeta muy bajos.
- Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica.
- Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga.
- Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares. (Invias, Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Convenio interadministrativo 587 – 03)

3.5.4. Deformaciones en los pavimentos flexibles.

3.5.4.1. Ondulación.

También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1,0 m.

Causas:

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Insuficiencia de triturados angulares (caras fracturadas).
- Falta de curado de las mezclas en la vía.
- Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.

3.5.4.2. Abultamiento.

Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras.

Causas:

Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo).

3.5.4.3. Hundimiento.

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante. Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidropneumático. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna, en cualquier caso, el reporte del daño debe incluir en las aclaraciones, la orientación o la forma del hundimiento, si es fácilmente identificable en campo.

Causas:

Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento:

- Asentamientos de la subrasante.

- Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- Diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante en los sectores de transición entre corte y terraplén.
- Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.
- Inestabilidad de la banca.
- Circulación de tránsito muy pesado.

3.5.4.4. Ahuellamiento.

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.

Causas:

El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

Además, la falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy alto. (Invias, Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Convenio interadministrativo 587 – 03)

4. RECOPIACION DE INFORMACION DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE ITAGUI.

4.1 información general del Municipio de Itagüí

El municipio de Itagüí se encuentra ubicado al Sur occidente del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual por sus características industriales, empresariales y comerciales, lo convierten en uno de los Municipios más importantes del Departamento de Antioquia, y que es conocido a nivel nacional como la Ciudad Industrial de Colombia. Debido a esto Itagüí ha estado en constante crecimiento, es foco de empleo para los miles de habitantes del área metropolitana, lo que conlleva a que a diario cientos de vehículos de servicio particular, de transporte público y de transporte de carga se desplacen por las vías del Municipio de Itagüí, ocasionando un deterioro acelerado de las vías existentes del mencionado municipio, es por eso que la Administración Municipal del Municipio de Itagüí se ha preocupado por dar solución al problema del estado actual de las vías de Municipio, siendo una de las metas del Plan de Desarrollo 2012-2015 realizar el mantenimiento, rehabilitación de las vías del Municipio, para hacer de Itagüí, un municipio más competitivo, que este a la altura en infraestructura vial para generar condiciones de seguridad y confort a las diferentes personas que se desplazan por diversos modos de transporte por las vías de Itagüí.

Para dar cumplimiento a las metas establecidas en el Plan de Desarrollo propuesto por la Administración Municipal, la Secretaría de Infraestructura contrata unos estudios de consultoría para conocer las condiciones actuales de la malla vial, y contrata también las obras requeridas para realizar el mantenimiento y rehabilitación de la malla vial del Municipio de Itagüí por un periodo de 32 meses a partir del 27 de febrero de 2013.

Por la significativa inversión que se tiene establecida para las vías de Itagüí, y la expectativa que esto genera para los habitantes del Municipio de Itagüí, se plantea como trabajo de investigación, evaluar cuál es la mezcla asfáltica más conveniente a utilizar según las características técnicas y de transitabilidad de las vías del Municipio de Itagüí, partiendo del estudio de caracterización de las vías que se ejecutó en los años 2012 y 2013.

4.2 Estado de la Malla Vial de Itagüí

El Municipio de Itagüí en el año 2012 realizo la contratación del INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE ITAGUI, el cual se ha venido ejecutando por el Consorcio Itagüí 2012.

A través de este contrato se ha permitido conocer la longitud total de la malla vial de Itagüí, la cual es de 240 km, de los cuales solamente 8 km se encuentran en óptimo estado, el resto de la malla vial presentan falencias que van en detrimento de su vida útil, según el diagnóstico realizado por el contratista de consultoría.

El objetivo central de este trabajo es conocer el estado de la vía escogida para desarrollar la investigación, se presenta la información más relevante que se ha obtenido de la Carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María Costado Oriental, la cual está conformada por 34 segmentos de vías, y las cuales son ruta directa de comunicación con la Avenida Guayabal del Municipio de Medellín, vía con alto flujo vehicular.

4.2.1 Información y diseño de intervención de pavimento elaborado por el Consorcio Itagüí 2012

La información presentada a continuación se ha recopilado por los informes presentados del contrato de consultoría SI-380-2012 cuyo objeto es el INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE ITAGUI:

En la tabla 1 se puede observar la clasificación de los segmentos de vía por dirección y jerarquía, lo cual le asigna un CODIGO ID_OP, por ejemplo para el segmento de vía con nomenclatura carrera 52 con calle 84A tiene un nivel jerárquico de vía arteria por lo cual se le asigna el código 200, y por el orden de estudio de la vía se le asigna el código de cuatro números 0102, por lo cual el código ID_OP asignado para esta vía es el 2000102. El tramo en estudio tiene una longitud de 1.798,13 metros, lo cual permite evaluar la condición del tramo de vía en una longitud considerable.

Tabla 1. Segmentos de la malla vial para el tramo en estudio Municipio de Itagüí.

CODIGO ID_OP	NOMENCLATURA	JERARQUIA	LONGITUD (m)
2000102	Carrera 52 84a	200	55,78
2000103	Carrera 52 84	200	45,55
2000104	Carrera 52 83a	200	46,18
2000105	Carrera 52 83	200	45,90
2000106	Carrera 52 82	200	45,89
2000107	Carrera 52 81a	200	46,43
2000108	Carrera 52 81	200	46,56
2000109	Carrera 52 80	200	45,58
2000110	Carrera 52 78	200	139,29
2000111	Carrera 52 77b	200	116,68

CODIGO ID_OP	NOMENCLATURA	JERARQUIA	LONGITUD (m)
2000112	Carrera 52 77a	200	36,29
2000113	Carrera 52 77	200	47,60
2000114	Carrera 52 76	200	50,29
2000115	Carrera 52 75a	200	47,69
2000116	Carrera 52 75	200	20,42
2000117	Carrera 52 75	200	28,88
2000118	Carrera 52 73b	200	76,66
2000119	Carrera 52 73a	200	50,93
2000120	Carrera 52 73	200	43,85
2000121	Carrera 52 72a	200	49,94
2000122	Carrera 52 72	200	50,33
2000123	Carrera 52 71	200	50,10
2000124	Carrera 52 70	200	50,21
2000125	Carrera 52 68	200	67,24
2000126	Carrera 52 67	200	112,64
2000127	Carrera 52 66	200	43,53
2000128	Carrera 52 65	200	51,83
2000129	Carrera 52 64b	200	54,49
2000130	Carrera 52 64a	200	53,05
2000131	Carrera 52 64	200	52,55
2000132	Carrera 52 63a	200	47,06
2000133	Carrera 52 63	200	26,82
2000134	Carrera 52 60	200	51,87

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí

Mediante el contrato de consultoría SI-380-2012 se implementó una estación maestra que realizó el conteo de tránsito continuo durante 7 días en la carrera 52 con calle 78 con el cual se determina el Transito promedio Diario Semanal, y con estos datos se realizó la estimación del Transito promedio diario y la proyección del tránsito mediante el crecimiento de cada tipo de vehículo mediante los ejes equivalentes proyectados a 10 y a 20 años para el tramo de vía en análisis. Lo anteriormente descrito se puede observar en las Tablas 2, 3 y 4, y en la figura 3.

Tabla 2. Estimativo del TPD y proyección del tránsito en ejes equivalentes.

FECHA AFORO	ESTACION				TPD								
	DIRECCION	TIPO DE VIA	SENTIDO	No. CARRILES	TOTAL EQUIVALENTE	MOTOS	LIVIANOS	BUSES	C2P	C2G	C3 Y C4	C5	> C5
29/10/2012 al 4/11/2012	CRA 52 CON CALLE 78	ARTERIA	SUR-NORTE	4	29.373	12.515	16.940	2.886	601	354	41	7	14

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Tabla 3. Estimativo del TPD y proyección del tránsito en ejes equivalentes.

CRECIMIENTO BUSES	CRECIMIENTO CAMIONES	FACTOR DIRECCIONAL	FACTOR CARRIL	No. de Ejes Equivalentes (10 años)	No. de Ejes Equivalentes (20 años)
1,0%	2,5%	1	0,6	11.894.575	25.960.440

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Tabla 4: Distribución de los volúmenes de tráfico por día según el aforo realizado.

ESTACION MAESTRA PARA TIPO DE VIA ARTERIA SANTA MARIA CRA 52 CON CL 78 SENTIDO SUR - NORTE		
DIA	VOLUMEN DIARIO	PORCENTAJE DIA/SEMANA
LUNES	28.852	13,62
MARTES	28.853	13,62
MIERCOLES	30.394	14,35
JUEVES	31.499	14,87
VIERNES	35.124	16,58
SABADO	36.977	17,45
DOMINGO	20.172	9,52
TOTAL SEMANA	211.871	100

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

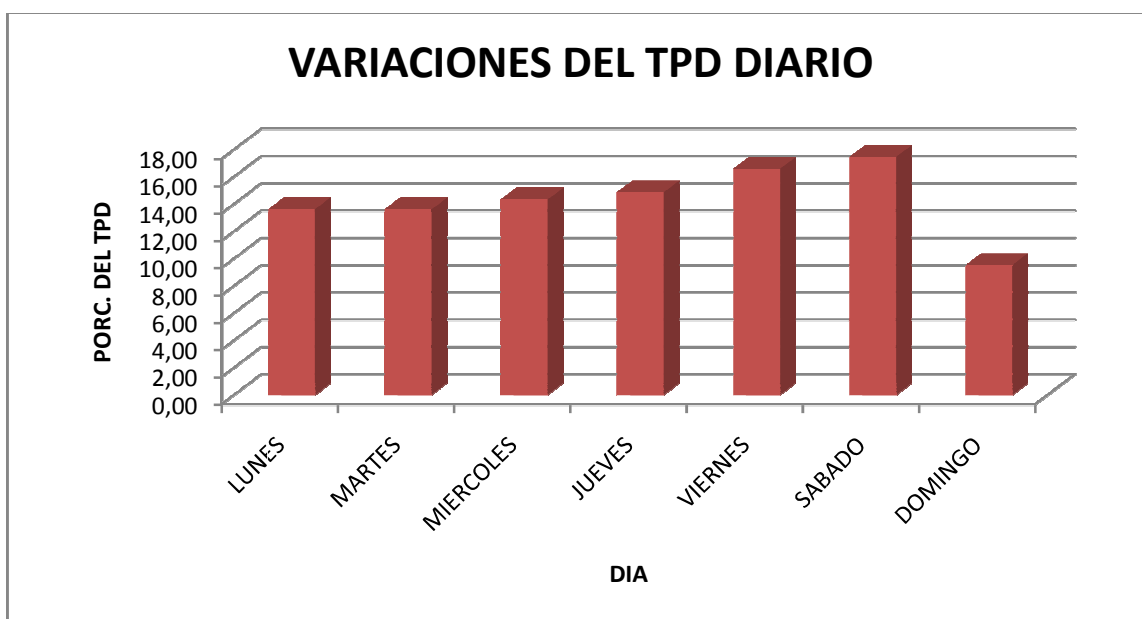


Figura 3. Distribución de los volúmenes de tráfico por día según el aforo realizado.
Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

También se realizaron mediante el contrato de consultoría una auscultación de espesores de la estructura del pavimento existentes en el tramo de estudio, datos que se presentan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Auscultación de espesores de la estructura de pavimento.

CODIGO ID_OP	VÍA QUE GENERA	INICIA	TERMINA	ESPEJOR CARPETA (m)	ESPEJOR MATERIAL GRANULAR (m)
2000102	CARRERA52	CALLE84A	CALLE85	0,17	0,38
2000105	CARRERA52	CALLE83	CALLE84	0,14	0,44
2000107	CARRERA52	CALLE81A	CALLE82	0,1	0,33
2000109	CARRERA52	CALLE80	CALLE81	0,170	0,370
2000110	CARRERA52	CALLE78	CALLE79	0,150	0,330
2000112	CARRERA52	CALLE77A	CALLE78	0,170	0,300
2000114	CARRERA52	CALLE76	CALLE77	0,210	0,470
2000117	CARRERA52	CALLE75	CALLE76	0,180	0,390
2000120	CARRERA52	CALLE73	CALLE74	0,210	0,410
2000122	CARRERA52	CALLE72	CALLE73	0,200	0,400
2000124	CARRERA52	CALLE70	CALLE71	0,060	0,290
2000126	CARRERA52	CALLE67	CALLE68	0,095	0,200
2000130	CARRERA52	CALLE64A	CALLE64B	0,100	0,260
2000132	CARRERA52	CALLE63A	CALLE64	0,085	0,225

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Además se realizó el inventario de las fallas superficiales del pavimento del tramo en estudio, el cual se puede consultar en el Anexo 1.

Dentro del alcance del contrato de consultoría SI 485-2012 también se realizaron mediciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI), parámetro que permite determinar la regularidad y comodidad de una vía al conducirla, este parámetro se mide por carril y por cada segmento de vía del tramo en estudio. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Ensayo de Índice de Regularidad superficial IRI.

CODIGO ID_OP	Nombre de la vía	Orden de Elemento	IRI PROMEDIO (m/km)			
			Huella Izquierda	Huella Central	Huella Derecha	Ambas Huellas
2000102	Carrera 52 84a	2000102-2	5,7	4,5	5,7	5,3
2000102	Carrera 52 84a	2000102-4	11,1	9,7	11,9	10,9
2000103	Carrera 52 84	2000103-2	3,6	2,8	4,5	3,6
2000103	Carrera 52 84	2000103-4	8,6	8,4	8,0	8,4
2000104	Carrera 52 83a	2000104-2	2,1	1,9	2,7	2,2
2000104	Carrera 52 83a	2000104-4	8,1	10,6	9,9	9,5
2000105	Carrera 52 83	2000105-2	2,5	3,5	4,4	3,5
2000105	Carrera 52 83	2000105-4	8,4	9,2	9,9	9,1
2000106	Carrera 52 82	2000106-2	2,9	3,7	3,7	3,4
2000106	Carrera 52 82	2000106-4	6,2	7,6	8,4	7,4
2000107	Carrera 52 81a	2000107-2	1,5	1,6	2,1	1,7
2000107	Carrera 52 81a	2000107-4	9,4	7,1	11,5	9,3
2000108	Carrera 52 81	2000108-2	1,9	2,7	2,5	2,4
2000108	Carrera 52 81	2000108-4	12,3	7,6	8,6	9,5
2000109	Carrera 52 80	2000109-2	1,5	2,6	3,9	2,7
2000109	Carrera 52 80	2000109-4	8,5	8,8	11,8	9,7
2000110	Carrera 52 78	2000110-2	4,3	4,4	4,9	4,5
2000110	Carrera 52 78	2000110-4	10,0	9,2	10,3	9,8
2000111	Carrera 52 77b	2000111-2	3,5	3,7	4,6	3,9
2000111	Carrera 52 77b	2000111-4	10,7	8,7	9,7	9,7
2000112	Carrera 52 77a	2000112-2	2,4	2,1	2,1	2,2
2000112	Carrera 52 77a	2000112-4	11,7	9,4	8,6	9,9
2000113	Carrera 52 77	2000113-2	4,1	5,5	4,6	4,7
2000113	Carrera 52 77	2000113-4	6,9	7,4	8,3	7,5
2000114	Carrera 52 76	2000114-2	4,4	5,3	3,1	4,3
2000114	Carrera 52 76	2000114-4	5,4	4,3	4,8	4,9
2000115	Carrera 52 75a	2000115-2	3,4	4,1	6,4	4,6
2000115	Carrera 52 75a	2000115-4	3,7	4,8	4,3	4,3
2000116	Carrera 52 75	2000116-2	2,1	1,9	1,7	1,9
2000116	Carrera 52 75	2000116-4	3,1	4,0	3,1	3,4
2000117	Carrera 52 75	2000117-2	1,5	1,7	1,4	1,5
2000117	Carrera 52 75	2000117-4	3,5	2,8	5,6	4,0
2000118	Carrera 52 73b	2000118-2	2,7	2,0	1,9	2,2
2000118	Carrera 52 73b	2000118-4	4,6	4,2	4,8	4,5
2000119	Carrera 52 73a	2000119-4	6,7	5,9	5,9	6,2
2000119	Carrera 52 73a	2000119-2	2,1	1,4	1,1	1,5
2000120	Carrera 52 73	2000120-2	2,3	1,5	1,0	1,6

CODIGO ID_OP	Nombre de la vía	Orden de Elemento	IRI PROMEDIO (m/km)			
			Huella Izquierda	Huella Central	Huella Derecha	Ambas Huellas
2000120	Carrera 52 73	2000120-4	4,9	5,9	5,8	5,6
2000121	Carrera 52 72a	2000121-2	2,0	2,0	2,0	2,0
2000121	Carrera 52 72a	2000121-4	4,6	4,6	5,9	5,0
2000122	Carrera 52 72	2000122-2	2,5	2,8	2,9	2,7
2000122	Carrera 52 72	2000122-4	6,5	5,8	6,9	6,4
2000123	Carrera 52 71	2000123-2	1,8	2,5	2,2	2,2
2000123	Carrera 52 71	2000123-4	5,7	6,4	7,7	6,6
2000124	Carrera 52 70	2000124-2	2,3	1,8	3,5	2,5
2000124	Carrera 52 70	2000124-4	4,1	4,1	7,0	5,0
2000125	Carrera 52 68	2000125-2	3,4	3,7	3,9	3,6
2000125	Carrera 52 68	2000125-4	4,4	4,2	5,6	4,7
2000126	Carrera 52 67	2000126-2	2,8	2,7	3,6	3,0
2000126	Carrera 52 67	2000126-4	7,8	7,0	9,5	8,1
2000127	Carrera 52 66	2000127-2	4,6	4,8	5,3	4,9
2000127	Carrera 52 66	2000127-4	5,3	4,8	5,9	5,3
2000128	Carrera 52 65	2000128-2	4,8	4,1	4,6	4,5
2000128	Carrera 52 65	2000128-4	8,4	10,8	11,7	10,3
2000129	Carrera 52 64b	2000129-4	11,2	6,7	9,4	9,1
2000129	Carrera 52 64b	2000129-2	3,2	2,3	2,9	2,8
2000130	Carrera 52 64a	2000130-2	1,8	1,3	1,2	1,4
2000130	Carrera 52 64a	2000130-4	8,1	7,7	10,7	8,9
2000131	Carrera 52 64	2000131-2	1,8	1,6	1,8	1,7
2000131	Carrera 52 64	2000131-4	7,3	9,2	11,7	9,4
2000132	Carrera 52 63a	2000132-2	1,9	1,8	1,4	1,7
2000132	Carrera 52 63a	2000132-4	8,7	10,2	10,6	9,8
2000133	Carrera 52 63	2000133-2	2,2	1,9	1,5	1,9
2000133	Carrera 52 63	2000133-4	11,9	11,1	8,5	10,5
2000134	Carrera 52 60	2000134-2	1,8	1,6	1,4	1,6
2000134	Carrera 52 60	2000134-4	17,1	12,0	14,2	14,4

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

También se realiza el ensayo de medición de la Fricción y Textura de la superficie de pavimento existente de los segmentos de vía del tramo en estudio, datos que permite determinar la macro textura y micro textura del pavimento, y así conocer que condiciones de seguridad brinda el pavimento al momento en que un vehículo tenga que realizar una maniobra de frenado. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Ensayo de Fricción y Textura.

SEGMENTO	COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (C.R.D.)	PROFUNDIDAD DE LA TEXTURA (mm)
2000102	96	0,20
2000103	85	0,22
2000104	102	0,22
2000105	90	0,25
2000106	110	0,21
2000107	105	0,25
2000108	72	0,26
2000109	87	0,28
2000110	100	0,28
2000111	90	0,25
2000112	93	0,28
2000113	84	0,25
2000114	88	0,26
2000115	87	0,23
2000117	70	0,28
2000118	105	0,25
2000119	77	0,29
2000120	92	0,28
2000121	75	0,25
2000122	60	0,23
2000123	75	0,35
2000124	80	0,29
2000125	75	0,28
2000126	65	0,23
2000127	90	0,27
2000128	78	0,26
2000129	95	0,26
2000130	89	0,23
2000131	70	0,26
2000132	78	0,25
2000133	76	0,26
2000134	82	0,25

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

En las tablas 8 Y 9 se presentan los datos y resultados obtenidos del ensayo de deflectometría, el cual permite determinar las condiciones actuales de la estructura de la vía (Número estructural SN), el cual consiste en tomar tres medidas de deflexión en cada una de las calzadas que conforman el segmento vial, de manera alterna en uno y otro carril.

Se determinan los valores correspondientes a la curva de deflexión completa, la cual se mide en centésimas de milímetro, con espaciamientos definidos a lo largo de todo su cuenco de deflexión. Esta medición se hace sobre el pavimento con deflectómetro de impacto (FWD).

Para el cálculo del número estructural para cada una de las calzadas que conforman el segmento vial a inventariar, se realiza por interpretación de la curva media de deflexión, según metodología AASHTO y mediante una correlación entre los resultados de deflexiones obtenidas con el FWD y la medición con la viga Benkelman doble en esos mismos sitios, con el fin de establecer el modelo matemático más adecuado para correlacionar los datos del coeficiente de capas granulares con la deflexión medida con viga Benkelman. (Contrato de Consultoría SI-380-2012 Estudios previos, 2012)

Tabla 8. Ensayo de deflectometría en campo para determinar el número estructural (SN) de los segmentos de vía.

Calzada / Sentido	Carril	CIV	Abscisa	Carga (KN)	Temperatura (°C)			Deflexiones de Campo (µm)						
					Aire	Superficie	Pavimento	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Derecha	Externo	2000134	K0+010	40	29,0	26,0	25,8	356	336	241	175	135	103	81
Derecha	Externo	2000134	K0+026	40	29,0	27,0	26,5	497	447	318	200	136	98	77
Derecha	Externo	2000133	K0+002	40	29,0	28,0	27,4	215	190	133	95	68	50	39
Derecha	Externo	2000133	K0+016	40	29,0	29,0	28,0	757	487	222	114	74	51	40
Derecha	Externo	2000132	K0+000	40	29,0	29,0	27,9	591	437	249	141	88	57	42
Derecha	Externo	2000132	K0+016	41	29,0	25,0	25,2	799	539	261	138	86	61	45
Derecha	Externo	2000132	K0+039	41	29,0	27,0	26,5	756	602	344	215	146	97	72
Derecha	Externo	2000131	K0+010	41	29,0	25,0	25,6	587	340	158	88	58	39	30
Derecha	Externo	2000131	K0+032	41	29,0	24,0	24,9	482	353	188	99	60	38	30
Derecha	Externo	2000130	K0+011	41	28,0	25,0	25,7	557	452	267	149	88	53	39
Derecha	Externo	2000130	K0+032	41	28,0	25,0	25,7	879	591	302	174	116	80	60
Derecha	Externo	2000129	K0+011	41	28,0	27,0	27,0	647	391	214	118	71	43	32
Derecha	Externo	2000129	K0+035	41	28,0	26,0	26,4	467	286	140	79	50	33	25
Derecha	Externo	2000128	K0+012	41	28,0	29,0	29,0	540	334	179	110	74	49	37
Derecha	Externo	2000128	K0+042	41	29,0	29,0	29,0	700	385	167	89	59	40	32
Derecha	Externo	2000127	K0+007	41	28,0	30,0	28,9	471	278	130	82	60	46	38
Derecha	Externo	2000127	K0+038	41	28,0	30,0	28,9	545	356	163	89	61	48	42
Derecha	Externo	2000126	K0+007	41	29,0	26,0	26,2	332	272	161	88	58	46	38
Derecha	Externo	2000126	K0+025	41	29,0	27,0	26,9	331	262	171	119	86	64	53
Derecha	Externo	2000126	K0+050	41	29,0	22,0	23,6	195	173	135	103	77	57	43
Derecha	Externo	2000126	K0+099	41	28,0	31,0	29,6	430	284	154	94	64	44	36
Derecha	Externo	2000125	K0+011	41	28,0	28,0	29,0	464	333	204	124	83	60	48
Derecha	Externo	2000125	K0+030	41	29,0	28,0	29,0	862	589	347	214	139	92	70
Derecha	Externo	2000125	K0+052	41	29,0	28,0	29,0	904	634	378	234	152	99	72

Calzada / Sentido	Carril	CIV	Abscisa	Carga (KN)	Temperatura (°C)			Deflexiones de Campo (µm)						
					Aire	Superficie	Pavimento	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Derecha	Externo	2000124	K0+008	41	29,0	27,0	25,6	864	556	292	172	116	85	66
Derecha	Externo	2000124	K0+024	41	29,0	24,0	23,3	410	268	157	97	66	51	42
Derecha	Externo	2000123	K0+010	41	28,0	27,0	25,6	457	305	190	129	92	67	53
Derecha	Externo	2000123	K0+034	41	28,0	29,0	27,1	730	473	274	171	116	84	68
Derecha	Externo	2000122	K0+014	41	29,0	31,0	31,2	606	472	299	184	118	76	59
Derecha	Externo	2000122	K0+033	41	29,0	31,0	31,2	371	316	225	152	105	70	56
Derecha	Externo	2000121	K0+010	40	29,0	26,0	28,6	212	179	137	105	79	59	46
Derecha	Externo	2000121	K0+030	40	29,0	31,0	31,2	343	277	193	135	94	68	52
Derecha	Externo	2000120	K0+009	40	29,0	32,0	31,9	442	343	235	164	116	82	64
Derecha	Externo	2000120	K0+032	40	29,0	31,0	31,4	521	396	268	182	128	91	71
Derecha	Externo	2000119	K0+012	40	29,0	32,0	31,5	387	241	127	84	64	51	43
Derecha	Externo	2000119	K0+033	40	29,0	31,0	31,0	382	302	205	139	97	65	50
Derecha	Externo	2000118	K0+010	40	30,0	27,0	28,9	383	298	199	135	94	69	54
Derecha	Externo	2000118	K0+033	40	29,0	33,0	32,1	351	277	183	121	79	50	36
Derecha	Externo	2000118	K0+058	40	29,0	33,0	32,1	349	222	122	75	50	33	23
Derecha	Externo	2000117	K0+012	40	30,0	33,0	32,1	298	243	165	112	78	55	42
Derecha	Externo	2000117	K0+023	40	30,0	31,0	31,1	388	289	173	110	72	45	33
Derecha	Externo	2000116	K0+002	40	30,0	30,0	30,5	289	214	137	88	60	41	32
Derecha	Externo	2000116	K0+011	40	30,0	29,0	30,0	307	230	147	94	62	41	31
Derecha	Externo	2000115	K0+009	40	30,0	30,0	30,5	254	186	115	72	47	31	22
Derecha	Externo	2000115	K0+032	40	30,0	32,0	31,6	352	251	142	82	52	36	28
Derecha	Externo	2000114	K0+009	40	30,0	32,0	31,9	246	197	140	98	69	48	36
Derecha	Externo	2000114	K0+029	40	31,0	33,0	32,4	344	238	143	90	60	41	31
Derecha	Externo	2000113	K0+009	40	31,0	32,0	31,5	725	496	264	151	92	56	39
Derecha	Externo	2000113	K0+035	40	31,0	33,0	32,1	510	456	191	99	68	50	41
Derecha	Externo	2000112	K0+007	40	31,0	32,0	31,5	877	589	347	204	118	56	31

Calzada / Sentido	Carril	CIV	Abscisa	Carga (KN)	Temperatura (°C)			Deflexiones de Campo (µm)						
					Aire	Superficie	Pavimento	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Derecha	Externo	2000112	K0+024	40	31,0	34,0	32,6	970	686	393	224	137	79	56
Derecha	Externo	2000111	K0+004	40	31,0	36,0	33,4	724	497	250	156	102	65	47
Derecha	Externo	2000111	K0+025	40	31,0	34,0	32,2	310	248	167	110	74	50	37
Derecha	Externo	2000111	K0+050	40	31,0	35,0	32,8	511	394	252	156	100	61	44
Derecha	Externo	2000111	K0+075	40	31,0	33,0	31,6	501	427	311	220	149	97	69
Derecha	Externo	2000111	K0+099	40	31,0	31,0	30,4	404	343	242	170	122	85	65
Derecha	Externo	2000110	K0+003	40	31,0	32,0	31,3	378	302	185	108	64	42	32
Derecha	Externo	2000110	K0+026	40	31,0	33,0	31,9	406	309	199	128	89	63	51
Derecha	Externo	2000110	K0+050	40	31,0	36,0	33,6	635	479	283	173	113	76	62
Derecha	Externo	2000110	K0+075	40	31,0	35,0	33,1	631	463	274	163	105	71	57
Derecha	Externo	2000110	K0+101	40	31,0	28,0	29,0	836	590	310	173	108	76	62
Derecha	Externo	2000110	K0+125	40	31,0	33,0	31,9	635	423	177	83	56	43	37
Derecha	Externo	2000109	K0+009	40	31,0	35,0	33,3	663	533	327	197	125	81	63
Derecha	Externo	2000109	K0+022	40	31,0	33,0	32,2	495	375	227	150	107	77	62
Derecha	Externo	2000108	K0+002	40	32,0	36,0	33,6	925	611	318	179	117	78	61
Derecha	Externo	2000108	K0+026	40	32,0	36,0	33,6	410	328	212	143	101	74	60
Derecha	Externo	2000107	K0+006	40	32,0	35,0	32,6	741	613	363	200	126	82	65
Derecha	Externo	2000107	K0+029	40	32,0	28,0	27,9	481	387	253	170	117	78	62
Derecha	Externo	2000106	K0+005	40	32,0	35,0	33,4	652	460	252	154	106	74	61
Derecha	Externo	2000106	K0+026	40	32,0	37,0	34,5	416	321	202	133	93	65	52
Derecha	Externo	2000105	K0+008	40	32,0	35,0	33,1	501	407	270	166	103	70	55
Derecha	Externo	2000105	K0+028	40	32,0	39,0	35,5	561	435	259	158	103	68	54
Derecha	Externo	2000104	K0+008	40	32,0	38,0	34,9	441	358	238	158	106	70	55
Derecha	Externo	2000104	K0+030	40	32,0	37,0	34,3	349	285	197	132	91	61	48
Derecha	Externo	2000103	K0+010	40	33,0	37,0	34,4	448	344	214	132	83	51	40
Derecha	Externo	2000103	K0+031	40	33,0	37,0	34,4	733	526	304	180	112	80	66

Calzada / Sentido	Carril	CIV	Abscisa	Carga (KN)	Temperatura (°C)			Deflexiones de Campo (µm)						
					Aire	Superficie	Pavimento	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Derecha	Externo	2000102	K0+006	40	32,0	38,0	35,1	360	279	174	114	78	47	40
Derecha	Externo	2000102	K0+032	40	33,0	35,0	33,5	284	176	109	73	51	36	28

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Tabla 9. Ensayo de deflectometría en campo para determinar el número estructural (SN) de los segmentos de vía.

CIV	Deflexiones Corregidas								Espesores de Capa (cm)		Variables Estructurales			
	D0 corr x carga (µm)	D0 corr x temp (µm)	D1 corr x carga (µm)	D2 corr x carga (µm)	D3 corr x carga (µm)	D4 corr x carga (µm)	D5 corr x carga (µm)	D6 corr x carga (µm)	Carpeta Asfáltica	Material Granular	Mr AASHTO (Kg/cm²)	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm²)	Ep AASHTO (Kg/cm²)	SN AASHTO
2000134	352	328	309	222	173	133	101	80	8,5	22,5	626,5	206,7	23.176,3	3,8
2000134	491	454	409	291	197	134	97	76	8,5	22,5	550,2	181,6	12.502,6	3,1
2000133	213	194	172	120	94	67	49	39	9,0	47,0	1.213,3	400,4	13.981,7	5,8
2000133	748	678	436	198	113	73	50	40	9,0	47,0	959,2	316,5	2.314,2	3,2
2000132	583	530	392	223	139	87	56	41	8,5	22,5	663,6	219,0	6.824,7	2,5
2000132	788	741	500	242	136	85	60	44	8,5	22,5	632,6	208,8	3.563,3	2,0
2000132	746	689	548	313	212	144	96	71	8,5	22,5	479,6	158,3	5.664,4	2,4
2000131	578	541	313	146	87	57	38	30	9,5	47,0	1.042,2	343,9	3.053,4	3,5
2000131	475	448	328	174	97	59	37	29	9,5	47,0	1.117,4	368,7	3.873,2	3,8
2000130	548	512	415	245	147	86	52	38	10,0	26,0	618,2	204,0	6.528,6	2,9
2000130	865	807	543	278	171	114	78	59	10,0	26,0	547,4	180,6	3.008,8	2,2

CIV	Deflexiones Corregidas								Espesores de Capa (cm)		Variables Estructurales			
	D0 corr x carga (µm)	D0 corr x temp (µm)	D1 corr x carga (µm)	D2 corr x carga (µm)	D3 corr x carga (µm)	D4 corr x carga (µm)	D5 corr x carga (µm)	D6 corr x carga (µm)	Carpeta Asfáltica	Material Granular	Mr AASHTO (Kg/cm²)	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm²)	Ep AASHTO (Kg/cm²)	SN AASHTO
2000129	636	584	353	193	116	70	42	31	10,0	40,0	774,2	255,5	3.290,8	3,2
2000129	459	425	260	127	77	49	32	24	10,0	40,0	1.186,7	391,6	4.270,4	3,5
2000128	531	475	294	157	108	72	48	36	13,0	60,0	1.003,6	331,2	3.649,4	4,0
2000128	688	616	339	147	87	58	39	31	13,0	60,0	1.245,8	411,1	2.381,7	3,4
2000127	462	414	245	114	80	58	45	37	9,7	60,0	1.354,8	447,1	3.928,6	4,1
2000127	535	479	313	143	87	60	47	41	9,7	60,0	1.245,8	411,1	3.320,5	3,8
2000126	325	302	247	147	86	57	45	37	9,5	20,0	1.029,0	339,6	15.131,1	3,1
2000126	325	299	236	154	116	84	63	52	9,5	20,0	973,5	321,3	16.722,3	3,2
2000126	191	183	163	127	101	75	56	42	9,5	20,0	1.073,1	354,1	49.768,1	4,7
2000126	421	374	247	134	92	62	43	35	9,5	20,0	1.076,7	355,3	8.808,4	2,6
2000125	454	383	275	169	121	81	59	47	16,0	40,0	895,8	295,6	5.502,1	4,2
2000125	844	712	487	287	210	136	90	68	16,0	40,0	516,1	170,3	2.846,8	3,4
2000125	884	746	523	312	229	148	96	70	16,0	40,0	473,3	156,2	2.778,5	3,4
2000124	845	812	522	274	168	113	83	65	6,0	29,0	570,5	188,3	2.941,1	2,2
2000124	401	391	256	150	95	65	50	41	6,0	29,0	1.062,6	350,7	6.727,8	2,8
2000123	447	429	286	178	126	89	65	52	6,0	29,0	878,8	290,0	6.728,0	2,8
2000123	712	677	439	254	167	113	82	66	6,0	29,0	606,6	200,2	3.927,6	2,4
2000122	592	477	371	235	180	115	74	58	20,0	40,0	602,1	198,7	4.696,3	4,3
2000122	366	295	251	179	150	104	69	55	20,0	40,0	781,6	257,9	8.779,6	5,3
2000121	211	180	151	116	104	78	58	46	20,0	40,0	1.042,2	343,9	16.875,0	6,6
2000121	342	275	222	155	135	94	67	52	20,0	40,0	864,8	285,4	9.214,5	5,4
2000120	441	351	272	186	164	116	82	64	21,0	41,0	700,8	231,3	7.053,1	4,9

CIV	Deflexiones Corregidas								Espesores de Capa (cm)		Variables Estructurales			
	D0 corr x carga (µm)	D0 corr x temp (µm)	D1 corr x carga (µm)	D2 corr x carga (µm)	D3 corr x carga (µm)	D4 corr x carga (µm)	D5 corr x carga (µm)	D6 corr x carga (µm)	Carpeta Asfáltica	Material Granular	Mr AASHTO (Kg/cm²)	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm²)	Ep AASHTO (Kg/cm²)	SN AASHTO
2000120	519	417	317	215	181	128	90	71	21,0	41,0	635,1	209,6	5.652,6	4,6
2000119	386	309	192	101	83	63	51	42	17,5	26,0	1.280,2	422,5	7.369,9	3,6
2000119	381	309	244	165	139	96	65	49	17,5	26,0	779,8	257,3	11.319,5	4,2
2000118	382	323	252	168	135	94	68	53	18,0	33,0	802,9	264,9	8.496,3	4,5
2000118	349	276	218	144	121	79	49	36	18,0	33,0	895,8	295,6	10.338,4	4,8
2000118	348	275	175	96	74	49	33	23	18,0	33,0	1.464,7	483,3	7.378,6	4,3
2000117	297	235	192	130	112	77	54	41	18,0	39,0	1.055,7	348,4	10.925,7	5,4
2000117	387	313	233	140	109	72	45	33	18,0	39,0	994,4	328,1	7.054,6	4,7
2000116	288	236	174	111	88	59	41	31	18,0	39,0	1.231,7	406,5	9.765,7	5,2
2000116	306	253	189	121	93	62	41	31	18,0	39,0	1.165,4	384,6	9.026,7	5,1
2000115	253	207	151	94	72	47	31	22	18,0	39,0	1.505,4	496,8	10.659,3	5,4
2000115	351	281	200	113	81	51	36	28	18,0	39,0	1.338,1	441,6	7.055,8	4,7
2000114	245	195	156	111	97	68	47	36	21,0	47,0	1.195,4	394,5	13.179,2	6,1
2000114	342	269	186	112	89	60	41	31	21,0	47,0	1.217,8	401,9	7.716,7	5,1
2000113	722	578	396	210	150	91	56	38	17,0	24,0	618,2	204,0	4.477,9	2,9
2000113	508	402	360	150	99	67	50	41	17,0	24,0	855,7	282,4	6.649,5	3,3
200012	874	700	470	277	203	118	56	31	17,0	30,0	533,9	176,2	3.200,8	3,0
200012	967	756	534	306	223	136	79	56	17,0	30,0	486,0	160,4	2.998,4	2,9
200011	721	608	418	210	155	102	65	47	13,0	25,0	652,9	215,5	4.172,2	2,6
200011	308	264	211	142	110	74	49	37	13,0	25,0	985,3	325,2	14.623,7	4,0
200011	509	432	334	213	155	99	60	44	13,0	25,0	699,3	230,8	7.598,5	3,2
200011	499	431	367	267	219	148	96	68	13,0	25,0	494,9	163,3	11.380,8	3,7

CIV	Deflexiones Corregidas								Espesores de Capa (cm)		Variables Estructurales			
	D0 corr x carga (µm)	D0 corr x temp (µm)	D1 corr x carga (µm)	D2 corr x carga (µm)	D3 corr x carga (µm)	D4 corr x carga (µm)	D5 corr x carga (µm)	D6 corr x carga (µm)	Carpeta Asfáltica	Material Granular	Mr AASHTO (Kg/cm²)	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm²)	Ep AASHTO (Kg/cm²)	SN AASHTO
200011	402	353	300	212	169	122	84	64	13,0	25,0	641,3	211,6	12.894,8	3,8
200010	377	327	261	160	108	64	42	32	15,0	33,0	1.003,6	331,2	7.391,1	4,0
200010	404	348	265	170	127	88	63	51	15,0	33,0	853,4	281,6	7.489,7	4,0
200010	633	532	401	237	172	113	76	61	15,0	33,0	630,2	208,0	4.473,4	3,4
200010	628	533	390	231	162	105	70	57	15,0	33,0	669,1	220,8	4.275,6	3,3
200010	833	745	526	276	172	108	75	61	15,0	33,0	630,2	208,0	2.579,3	2,8
200010	632	544	362	152	82	55	42	37	15,0	33,0	923,7	304,8	3.403,8	3,1
2000109	660	509	409	251	196	124	80	62	17,0	37,0	553,0	182,5	4.821,5	3,9
2000109	492	389	295	179	149	107	76	62	17,0	37,0	727,4	240,1	6.285,3	4,3
2000108	921	775	512	266	178	116	78	61	14,0	35,0	608,9	200,9	2.447,1	2,8
2000108	408	343	274	177	142	101	74	60	14,0	35,0	763,3	251,9	8.253,9	4,3
2000107	737	629	521	308	199	125	82	65	10,0	33,0	544,7	179,7	4.080,5	3,0
2000107	478	434	350	228	169	116	78	61	10,0	33,0	641,3	211,6	7.093,0	3,6
2000106	649	499	352	193	153	105	74	61	18,0	28,0	708,4	233,8	4.745,2	3,3
2000106	414	310	239	151	132	92	64	52	18,0	28,0	821,1	271,0	10.006,9	4,3
2000105	499	423	343	227	165	102	69	54	14,0	44,0	656,9	216,8	5.538,8	4,4
2000105	558	457	354	211	157	102	67	53	14,0	44,0	690,4	227,8	4.738,2	4,2
2000104	438	362	294	195	157	105	70	54	14,0	44,0	690,4	227,8	6.953,4	4,8
2000104	347	289	236	163	131	91	61	48	14,0	44,0	893,3	294,8	8.515,3	5,1
2000103	446	371	285	177	131	83	50	40	14,0	44,0	827,4	273,0	5.933,0	4,5
2000103	729	607	436	252	179	111	79	65	14,0	44,0	605,5	199,8	3.275,5	3,7
2000102	358	265	205	128	113	77	46	40	17,0	38,0	959,2	316,5	9.816,8	5,1

CIV	Deflexiones Corregidas								Espesores de Capa (cm)		Variables Estructurales			
	D0 corr x carga (µm)	D0 corr x temp (µm)	D1 corr x carga (µm)	D2 corr x carga (µm)	D3 corr x carga (µm)	D4 corr x carga (µm)	D5 corr x carga (µm)	D6 corr x carga (µm)	Carpeta Asfáltica	Material Granular	Mr AASHTO (Kg/cm²)	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm²)	Ep AASHTO (Kg/cm²)	SN AASHTO
2000102	283	217	134	83	72	50	36	27	17,0	38,0	1.505,4	496,8	10.115,2	5,1

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

El objetivo del Contrato de consultoría SI-380-2012 era presentar al Municipio de Itagüí un diseño de rehabilitación, reconstrucción y/o mantenimiento a través de una matriz de decisiones que permita determinar la alternativa técnica y económica que permita brindar óptimas condiciones de movilidad y seguridad vial para los usuarios de las vías del Municipio de Itagüí, y para este caso específico a los usuarios de la vía de la carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María Costado Oriental. Con los datos obtenidos y calculados a partir del IRI, OPI, MDR, SN se calcula la capacidad estructural requerida para que el pavimento tenga un buen desempeño (Δ SN). En las tablas 10 y 11 se presentan el resumen de los datos obtenidos del tramo en estudio y la alternativa de intervención.

Se toma como referencia de clasificación de la vía el MDR (Índice de fallas superficiales). Este es un indicador numérico con escala de 0 a 100, con la siguiente connotación respecto a la integridad estructural. Este índice se calcula para todos los segmentos de vías inventariadas y diagnosticadas, por lo cual a cada segmento de vía se le asigna un color de acuerdo al MDR.

MDR de 0 a 40 Pavimento en mal estado ■
MDR de 40 a 65 Pavimento en regular estado ■
MDR de 65 a 85 Pavimento en buen estado ■
MDR de 85 a 100 Pavimento en muy buen estado ■

Tabla 10. Resumen de los parámetros que permiten determinar la alternativa de intervención para los segmentos de vía que conforman la carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María Costado Oriental del Municipio de Itagüí.

ID_OP	NOMENCLATURA	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR CARPETA	ESPESOR GRANULAR	MDR	IRI	OPI	SN AASHTO MIN	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm ²) PROMEDIO	TRANSITO (N)	SN Req.	Δ SN	TIPO DE INTERVENCIÓN
2000102	Carrera 52 84a	55,77	7	0,17	0,38	10,6	8,70	6,73	5,03	416,60	11.941.409	3,47	-1,56	Reconstrucción
2000103	Carrera 52 84	45,55	7	0,14	0,44	2,0	9,90	1,21	3,71	238,61	11.941.409	4,21	0,50	Reconstrucción
2000104	Carrera 52 83a	46,17	7	0,14	0,44	42,8	8,10	28,10	4,85	258,47	11.941.409	4,10	-0,75	Rehabilitación
2000105	Carrera 52 83	45,89	7	0,14	0,44	4,2	9,20	2,58	4,16	224,36	11.941.409	4,30	0,14	Reconstrucción
2000106	Carrera 52 82	45,88	7	0,18	0,28	21,0	8,20	13,70	3,76	254,76	11.941.409	4,12	0,36	Reconstrucción
2000107	Carrera 52 81a	46,43	7	0,1	0,33	6,9	9,30	4,25	2,94	196,51	11.941.409	4,49	1,55	Reconstrucción
2000108	Carrera 52 81	46,56	7	0,14	0,35	9,3	8,90	5,83	2,62	213,69	11.941.409	4,37	1,75	Reconstrucción
2000109	Carrera 52 80	45,58	7	0,17	0,37	13,5	8,70	8,56	3,87	213,02	11.941.409	4,37	0,50	Reconstrucción
2000110	Carrera 52 78	139,29	7	0,15	0,33	23,7	8,20	15,49	2,90	256,11	11.941.409	4,11	1,21	Reconstrucción
2000111	Carrera 52 77b	116,68	7	0,13	0,25	14,3	8,60	9,09	3,62	232,63	11.941.409	4,25	1,09	Reconstrucción

ID_OP	NOMENCLATURA	LONGITUD	ANCHORO	ESPESSOR CARPETA	ESPESSOR GRANULAR	MDR	IRI	OPI	SN AASHTO MIN	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm ²) PROMEDIO	TRANSITO (N)	SN Req.	Δ SN	TIPO DE INTERVENCIÓN
2000112	Carrera 52 77a	36,29	7	0,17	0,3	31,9	8,20	20,80	2,84	166,72	11.941.409	4,74	0,73	Rehabilitación
2000113	Carrera 52 77	47,60	7	0,17	0,24	40,5	8,00	26,75	3,06	284,88	11.941.409	3,96	0,90	Rehabilitación
2000114	Carrera 52 76	50,29	7	0,21	0,47	59,5	4,50	48,00	5,06	403,42	11.941.409	3,51	-1,55	Mnto. Periódico
2000115	Carrera 52 75a	47,69	7	0,18	0,39	89,3	4,90	70,44	4,89	479,03	11.941.409	3,30	-1,59	Mnto. Rutinario
2000116	Carrera 52 75	20,41	7	0,18	0,39	90,3	9,99	53,12	5,06	402,34	11.941.409	3,51	-1,55	Mnto. Rutinario
2000117	Carrera 52 75	28,88	7	0,18	0,39	82,1	6,00	60,75	4,66	329,72	11.941.409	3,77	-0,89	Mnto. Periódico
2000118	Carrera 52 73b	76,66	7	0,18	0,33	58,7	5,50	44,70	4,63	353,15	11.941.409	3,68	-0,95	Mnto. Periódico
2000119	Carrera 52 73a	50,92	7	0,175	0,26	68,3	5,20	52,91	4,66	359,28	11.941.409	3,66	-1,00	Mnto. Periódico
2000120	Carrera 52 73	43,85	7	0,21	0,41	67,4	4,80	53,43	4,52	217,01	11.941.409	4,35	-0,17	Mnto. Periódico
2000121	Carrera 52 72a	49,94	7	0,2	0,4	44,7	4,50	36,07	5,36	322,28	11.941.409	3,80	-1,56	Rehabilitación
2000122	Carrera 52 72	50,32	7	0,2	0,4	37,6	6,00	27,86	4,24	228,48	11.941.409	4,27	0,03	Rehabilitación
2000123	Carrera 52 71	50,10	7	0,06	0,29	73,7	5,10	57,44	3,74	245,91	11.941.409	4,17	0,43	Mnto. Periódico
2000124	Carrera 52 70	50,20	7	0,06	0,29	69,4	4,20	56,93	2,14	266,06	11.941.409	4,06	1,92	Mnto. Periódico

ID_OP	NOMENCLATURA	LONGITUD	ANCHORO	ESPESSOR CARPETA	ESPESSOR GRANULAR	MDR	IRI	OPI	SN AASHTO MIN	Mr AASHTO de diseño (Kg/cm ²) PROMEDIO	TRANSITO (N)	SN Req.	Δ SN	TIPO DE INTERVENCIÓN
2000125	Carrera 52 68	67,24	7	0,16	0,4	54,8	8,20	35,72	2,25	188,07	11.941.409	4,56	2,31	Rehabilitación
2000126	Carrera 52 67	112,63	7	0,095	0,2	32,0	8,80	20,17	4,25	817,05	11.941.409	2,72	-1,53	Rehabilitación
2000127	Carrera 52 66	43,53	7	0,097	0,6	40,9	8,50	26,20	4,58	1078,52	11.941.409	2,46	-2,12	Rehabilitación
2000128	Carrera 52 65	51,83	7	0,13	0,6	40,8	8,50	26,16	4,61	786,63	11.941.409	2,76	-1,85	Rehabilitación
2000129	Carrera 52 64b	54,49	7	0,1	0,4	53,2	8,20	34,73	5,67	1823,41	11.941.409	2,02	-3,65	Rehabilitación
2000130	Carrera 52 64a	53,04	7	0,1	0,26	49,2	8,40	31,76	6,07	1925,95	11.941.409	1,98	-4,09	Rehabilitación
2000131	Carrera 52 64	52,55	7	0,095	0,47	46,8	8,40	30,19	4,27	826,90	11.941.409	2,71	-1,56	Rehabilitación
2000132	Carrera 52 63a	47,06	7	0,085	0,225	23,9	9,00	14,86	3,80	622,96	11.941.409	3,00	-0,80	Reconstrucción
2000133	Carrera 52 63	26,81	7	0,09	0,47	53,7	8,50	34,43	3,76	556,00	11.941.409	3,13	-0,63	Rehabilitación
2000134	Carrera 52 60	51,87	7	0,085	0,225	23,6	9,00	14,72	3,65	601,73	11.941.409	3,04	-0,61	Reconstrucción

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Tabla 11. Resumen de los parámetros que permiten determinar la alternativa de intervención para los segmentos de vía que conforman la carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María Costado Oriental del Municipio de Itagüí.

ID_OP	TIPO DE INTERVENCIÓN	FRESADO	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	MSC-1	Parcheo y sello de fisuras	GEOMALLA EN FIBRA DE VIDRIO	MDC-2
2000102	Reconstrucción	0,12	0,20	0,10	-	-	0,05
2000103	Reconstrucción	0,09	0,20	0,11	-	-	0,05
2000104	Rehabilitación	0,09	0,20	0,10	-	-	0,05
2000105	Reconstrucción	0,09	0,20	0,11	-	-	0,05
2000106	Reconstrucción	0,13	0,25	0,12	-	-	0,05
2000107	Reconstrucción	0,05	0,25	0,13	-	-	0,05
2000108	Reconstrucción	0,09	0,25	0,12	-	-	0,05
2000109	Reconstrucción	0,12	0,25	0,12	-	-	0,05
2000110	Reconstrucción	0,10	0,20	0,12	-	-	0,05
2000111	Reconstrucción	0,08	0,25	0,13	-	-	0,05
2000112	Rehabilitación	0,12	0,25	0,15	-	-	0,05
2000113	Rehabilitación	0,12	0,25	0,12	-	-	0,05

ID_OP	TIPO DE INTERVENCIÓN	FRESADO	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	MSC-1	Parcheo y sello de fisuras	GEOMALLA EN FIBRA DE VIDRIO	MDC-2
2000114	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000115	Mantenimiento Rutinario	-	-	-	x	-	-
2000116	Mantenimiento Rutinario	-	-	-	x	-	-
2000117	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000118	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000119	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000120	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000121	Rehabilitación	0,15	0,20	0,09	-	-	0,05
2000122	Rehabilitación	0,15	0,25	0,10	-	-	0,05
2000123	Mantenimiento Periódico	-	-	-	x	x	0,05
2000124	Mantenimiento Periódico	0,07	-	0,07	x	x	0,05
2000125	Rehabilitación	0,11	0,25	0,12	-	-	0,05
2000126	Rehabilitación	0,05	0,20	0,08	-	-	0,05
2000127	Rehabilitación	0,10	-	0,07	-	-	0,05

ID_OP	TIPO DE INTERVENCIÓN	FRESADO	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	MSC-1	Parcheo y sello de fisuras	GEOMALLA EN FIBRA DE VIDRIO	MDC-2
2000128	Rehabilitación	0,13	-	0,08	-	-	0,05
2000129	Rehabilitación	0,10	-	0,08	-	-	0,05
2000130	Rehabilitación	0,10	-	0,08	-	-	0,05
2000131	Rehabilitación	0,10	-	0,08	-	-	0,05
2000132	Reconstrucción	0,04	0,20	0,07	-	-	0,05
2000133	Rehabilitación	0,09	-	0,10	-	-	0,05
2000134	Reconstrucción	0,04	0,20	0,08	-	-	0,05

Fuente: Información contrato de consultoría SI-380-2012 del Municipio de Itagüí.

Para tener una concepción general del tramo en estudio, en la figura 4 se esquematiza el estado de la vía demarcado por colores según la clasificación del MDR, según la información obtenida del contrato de Consultoría SI-380-2012.

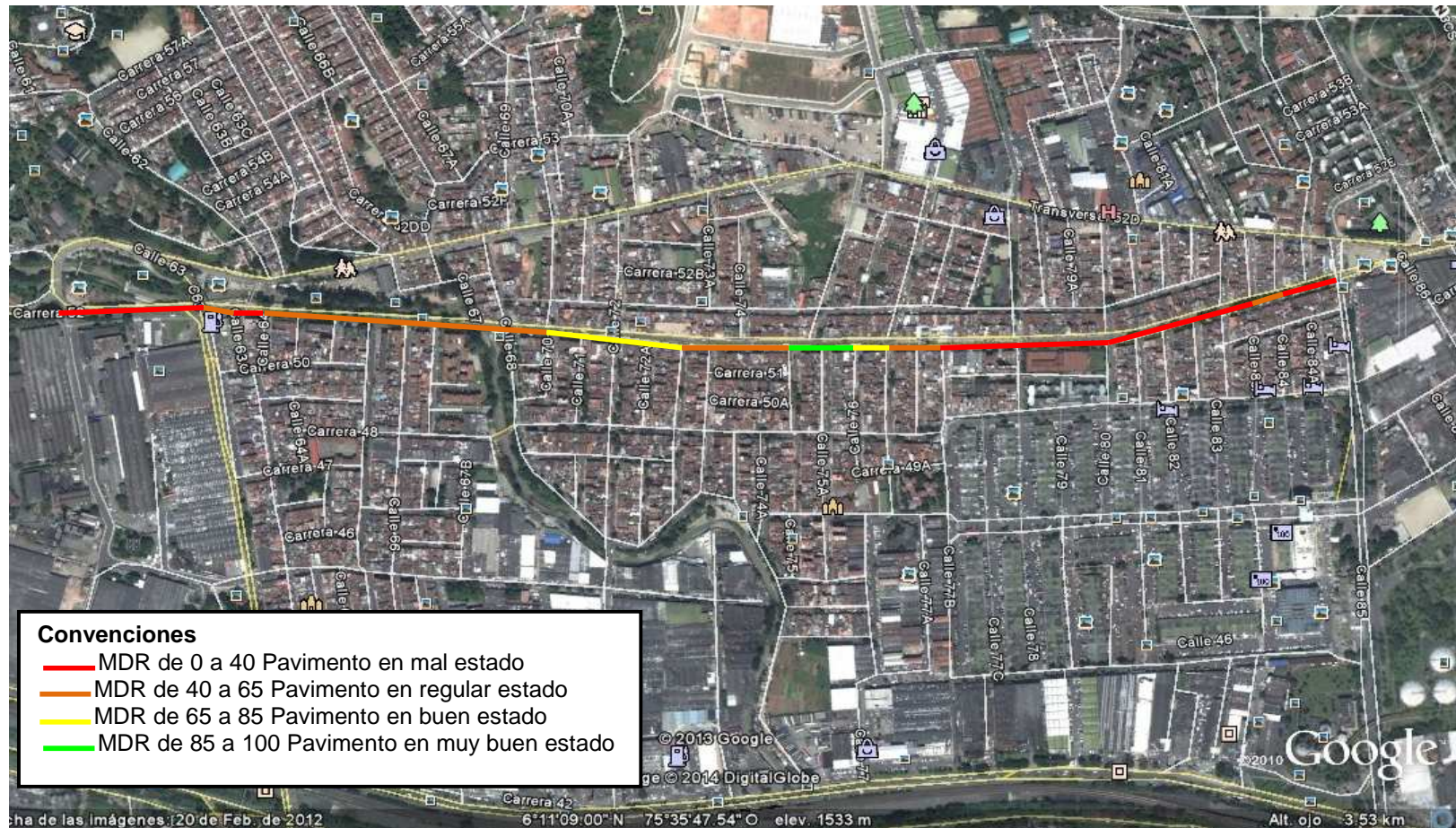


Figura 4. Esquema del estado General del tramo en estudio (Carrera 52 entre calles 60 y 85 Avenida Santa María Costado Oriental). Fuente: Google Earth, elaboración propia.

Como no se contaban con ensayos de campo destructivos (apiques) para determinar el CBR de la subrasante o el módulo resiliente de la subrasante, la empresa contratista Consorcio Malla Vial Itagüí 2012 como responsable de la ejecución de la obra, contrata a su costa los ensayos requeridos y diseños de pavimento con la Empresa Consultora Suelos y Pavimentos Ltda., para lo cual se obtuvo lo siguiente:

4.2.2 Información y diseño de intervención de pavimento elaborado por la Empresa Consultora Suelos y Pavimentos Ltda.

La variable tránsito corresponde a un valor $N=11.900.000$ ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño, en un periodo de 10 años.

Con base en ese tránsito y empleando las ecuaciones de diseño de pavimentos flexibles del método AASHTO-93, se verificó la estructura resultante de los trabajos recomendados, garantizando el cumplimiento del valor del Número Estructural Total y las recomendaciones de espesores mínimos de capas propuestas por el método.

Para la revisión de la estructura recomendada se toman los siguientes valores de las variables (Suelos y Pavimentos, 2013):

- “Vía colectora” urbana, Confiabilidad: $R = 90\%$ ($Z_r = -1,282$)
- Desviación Standard: 0,45
- Índice de Servicio P_0 de 4,2 y P_f de 2,0 para un ΔPSI de 2,2
- El módulo resiliente de la subrasante ($1500 \cdot CBR$)
- Coeficiente de drenaje de las capas granulares (m_2 y $m_3 = 1,0$) para calidad de drenaje bueno y porcentaje de tiempo de exposición entre 5% y 25%
- Módulos empleados para las capas estructurales:

Mezcla asfáltica de rodadura

$E_{\text{concreto asfáltico}} = 200.000 \text{ psi}$

$a_1 = 0,30$

Base asfáltica nueva

$E_{\text{base asfáltica}} = 113.000 \text{ psi}$

$a_2 = 0,20$

Base granular nueva

$CBR = 80\%$

$E_{\text{base}} = 30.000 \text{ psi}$

$a_3 = 0,14$ (AASHTO 1993)

Sub-Base granular

$E_{\text{subbase granular}} = 15.000 \text{ psi}$

$A_3 = 0,12$

CBR de la subrasante 4,22% (promedio aritmético de los sondeos S-5, S-6, S-7, S-9 y S-10)

Módulo resiliente de la subrasante es de 6330 psi (1500*CBR)

Transito a 10 años $N = 11,9 \times 10^6$ Ejes equivalentes

Se obtiene un número estructural a garantizar sobre la subrasante $SN = 5,00$ ($\text{Log}_{10}W_{18} = 7,08$)

Alternativas recomendadas:

El diseñador plantea dos alternativas de diseño, las cuales se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12. Tabla de espesores de capas estructurales del diseño 1 y 2.

Alternativa	Diseño 1	Diseño 2
Carpeta asfáltica	10,0 cm	10,0 cm
Base asfáltica	30,0 cm	15,0 cm
Base granular nueva	27,0 cm	30,0 cm
Sub-base granular	-----	25,0 cm

Fuente: Estudio de suelos y diseño de espesores Carrera 52 entre calles 60 y 85 Av. Santa María Costado Oriental – Municipio de Itagüí.

Verificación de espesores recomendados:

Se realiza la verificación de espesores con la metodología ASSHTO, para comprobar que los espesores de cada capa en conjunto satisfacen los requerimientos del número estructural requerido en el diseño (SN), teniendo en cuenta los coeficientes estructurales de cada capa, estos multiplicados por el espesor aportan a la estructura del pavimento, estos aportes se pueden observar en la tabla 13.

Tabla 13. Tabla de verificación espesores en capas estructurales del diseño 1 y 2.

Alternativa	Diseño 1	Diseño 2	Aporte a la estructura
Carpeta asfáltica $x 0,30/2,54 =$	1,18	1,18	de aporte estructural
Base asfáltica $x 0,20/2,54 =$	2,36	1,18	de aporte estructural
Base granular $x 0,14/2,54 =$	1,49	1,65	de aporte estructural
Sub-base granular $x 0,12/2,54 =$	---	1,18	de aporte estructural
Total aporte estructural	5,03	5,19	satisfacen el SN 5,00

Fuente: Estudio de suelos y diseño de espesores Carrera 52 entre calles 60 y 85 Av. Santa María Costado Oriental – Municipio de Itagüí.

4.2.3. Alternativa de diseño seleccionada por el Municipio de Itagüí.

La entidad contratante al analizar y comparar estos resultados, teniendo en cuenta además que se van a realizar reposiciones las redes de alcantarillado opta por la opción de Diseño No. 2 propuesto por la Empresa consultora Suelos y Pavimentos Ltda.

5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LABORATORIO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PROVEEDORA PARA EL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.

La empresa CONASFALTOS S.A. suministró la información que se presenta a continuación de los laboratorios realizados para la obtención de los parámetros de comparación entre la mezcla asfáltica convencional tipo MDC-2 y la mezcla modificada con polímero tipo III, y a continuación se explica brevemente cada uno de los ensayos necesarios para cumplir con los requerimientos establecidos por la norma INVIAS 2007.

5.1 Procedimientos

5.1.1 Granulometría del agregado mineral

Norma: INV E – 213

Mediante este ensayo se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra seca del árido, por separación a través de una serie de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura de malla.

5.1.2 Limite líquido e Índice de Plasticidad

Norma: INV E – 125 y 126

Mediante estos ensayos se determinan las condiciones de consistencia del suelo con cambios de humedad, el límite líquido se determina como la humedad para la cual las dos mitades de una pasta de suelo depositado en la cazuela de Casagrande se juntan en el fondo de la ranura hasta 13 mm de longitud por la acción de 25 golpes, el límite plástico es el contenido mínimo de humedad en el cual se pueden hacer rollos de 3mm de diámetro sin que estos se desmoronen, la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico es el índice de plasticidad.

5.1.3 Peso específico de agregado grueso

Norma: INV E-223

Con este ensayo se determina el peso específico aparente y nominal del material grueso del tamaño igual o mayor al tamiz No. 4. Se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente, y el peso específico nominal a la relación

entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen nominal.

5.1.4 Peso específico de agregado fino

Norma: INV E-222

Con este ensayo se determina el peso específico aparente y real de los agregados con tamaño inferior al tamiz No. 4 y el retenido tamiz No. 200. Se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente, y el peso específico nominal a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen nominal.

5.1.5 Peso unitario y % de vacíos de agregados compactados y sueltos

Norma: INV E-217

Por medio de este método se determinan los pesos unitarios sueltos y compactos de los agregados con el fin de determinar las proporciones para mezclas de concreto asfáltico por medio del método Bailey, El peso unitario compacto se determina tras acomodar los agregados en tres capas apisonadas con 25 golpes de una varilla en recipiente de volumen conocido, el peso unitario compacto consiste en el acomodamiento de material en el mismo volumen por un llenado mediante paladas.

5.1.6 Equivalente de Arena

Norma: INV E-133

Este ensayo busca determinar la proporción de polvo nocivo, o material arcilloso presente en los agregados finos, separando estos materiales por medio de un agente floculante que genera que las arenas pierdan la cobertura arcillosa, posteriormente por sedimentación se determinan las alturas de arena y arcilla presentes en la muestra.

5.1.7 Determinación de la limpieza superficial del agregado grueso

Norma: INV E-237

Mediante este ensayo se determina la cantidad de impurezas representadas como polvo fino menor que 0.5 mm que recubre los agregados gruesos y puede llegar a generar problemas de adherencia con el ligante asfáltico, se obtiene mediante la separación entre dos muestras análogas de agregados retenidos en el tamiz N^o,

una de las muestras es lavada sobre el tamiz N°35 y se determina la proporción de polvo adherido en relación con el peso seco de la otra muestra.

5.1.8 Salinidad de los agregados pétreos frente a la acción de una solución de sulfato de sodio

Norma: INV E-220

Este ensayo busca evaluar la durabilidad del agregado pétreo en términos de su resistencia a la alteración ante agentes químicos, la solución de sulfato de sodio entra por los poros del agregado y ante 5 ciclos consecutivos de humedecimiento y secado forma cristales que generan el rompimiento de las partículas de agregado que sean más sensibles a la solución.

5.1.9 Resistencia al desgaste en máquina de los Ángeles

Norma: INV E-218

Por medio de este método se determina la resistencia al desgaste de los agregados gruesos tras ser sometidos a la acción de cargas abrasivas y 500 revoluciones en la máquina de los Ángeles.

5.1.10 Resistencia al desgaste por medio del Micro-Deval (Ensayo Externo)

Norma: INV E-238

Por medio de este método se determina la resistencia al desgaste de los agregados gruesos tras ser sometidos a la acción de cargas abrasivas, agua y rotación a 100rpm durante 2 horas en el equipo Micro-Deval.

5.1.11 Resistencia por el método de 10% de finos

Norma: INV E-224

Con este método se determina la resistencia a la compresión de los agregados gruesos, determinando la carga máxima en KN para una penetración de 20 mm y que produzca un 10% de material más fino que 2.36 mm (tamiz N°8).

5.1.12 Partículas alargadas y aplanadas

Norma: INV E- 240

Mediante el uso del calibrador proporcional se determina el % de partículas alargadas y/o aplanadas en los agregados gruesos.

5.1.13 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Norma: INV E-226

Este ensayo determina el grado de fracturación de los agregados gruesos, analizándolas partículas con una y con dos o más caras fracturadas.

5.1.14 Angularidad del agregado fino

Norma: INV-E-239

Mediante este ensayo se calcula el porcentaje de vacíos del agregado más fino que 2.36 mm.

5.1.15 Coeficiente de pulimento acelerado

Norma: INV-E-232

Esta norma describe el procedimiento de laboratorio para determinar la susceptibilidad al pulimento de los agregados, mediante la máquina de pulimento acelerado, valorando esta susceptibilidad por medio del Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA), determinado con ayuda del péndulo de fricción.

5.1.16 Peso específico del llenante mineral

Norma: INV E-128

Con este ensayo se determina el peso específico del llenante mineral (Filler) por medio de un picnómetro. Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua a la misma temperatura.

5.1.17 Concentración Crítica del Llenante Mineral

Norma: INV E-745

Con este procedimiento se determina la concentración crítica de material pasa N°200 (llenante mineral) en una mezcla de llenante – asfalto, el valor hallado debe ser mayor que la concentración en volumen del llenante en una determinada mezcla asfáltica, por lo tanto, se debe comparar el valor obtenido con lo hallado en el diseño Marshall. El propósito de este ensayo es evitar problemas de rigidez en el pavimento que conlleven a una eventual fisuración de la mezcla al paso de las cargas.

5.1.18 Peso unitario aparente de llenante en tolueno

Norma: INV E- 225

Por medio de esta norma se determina el peso unitario aparente de un material llenante por sedimentación empleando como medio líquido el Tolueno. Este parámetro es una medida relativa del grado de finura del llenante ensayado.

5.1.19 Resistencia de mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall

Norma: INV E-748

Con este ensayo se puede determinar la resistencia a la deformación plástica de una briqueta de mezcla bituminosa para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para proyecto de diseño de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El tipo de material a ensayar son briquetas cilíndricas de 4" de diámetro por 2 ½" de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación.

5.1.20 Peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

Norma: INV E-733

Con este procedimiento se determina el peso específico aparente y el peso unitario de mezclas asfálticas compactadas de Granulometría densa. El resultado de este ensayo sirve para determinar las características y el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla.

5.1.21 Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (GMM)

Norma: INV E-735

Con este procedimiento se determina el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar. Se define como la relación del peso de un volumen dado de material con respecto a un volumen igual de agua a la misma temperatura. El resultado de este ensayo sirve para determinar las características y el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla.

5.1.22 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas

Norma: INV E-736

Mediante este cálculo se determina el % porcentaje de compactación de las mezclas asfálticas, como la relación entre el peso específico del espécimen (E-733) y el peso específico teórico máximo (E-735)

5.1.23 Análisis Volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente

Norma: INV E-799

Mediante este procedimiento se determina las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada, con el fin de realizar los cálculos pertinentes al diseño Marshall de la mezcla.

5.1.24 Deformación plástica en pista

Norma: INV E-756

Mediante la máquina de ensayo en pista (Wheel Tracker) se determina la tasa de deformación de mezclas asfálticas compactadas, realizando el ensayo a 60°C y 900kPa, útil este valor para la determinación de susceptibilidad al ahuellamiento de las mezclas asfálticas.

5.2 Caracterización de materiales pétreos y llenante mineral

Los materiales pétreos para la elaboración de mezclas asfálticas, son explotados de los depósitos aluviales del Río Medellín y compuestas por depósitos consolidados de gravas y arenas pertenecientes a la formación, estos depósitos son explotados bajo las licencias mineras RMC-073 y 074, L 14284 y RPP 050, ubicadas en el Km 12 de la Autopista Norte, entre los municipios de Bello y Copacabana.



Figura 5. Vista panorámica de la cantera de agregados pétreos de CONASFALTOS S.A. Fuente: CONASFALTOS S.A.

5.2.1 Ensayos de Clasificación

Los agregados pétreos para la elaboración de la mezcla MDC-2 convencional y MDC-2 con polímero tipo 3 provienen de la misma cantera y la proporción de agregados pétreos para los dos tipos de mezclas asfálticas en estudio es la misma.

5.2.1.1 Granulometría de los materiales pétreos y del llenante mineral

Con el fin de obtener la combinación óptima en laboratorio de los materiales pétreos producidos por CONASFALTOS S.A. y destinados para la fabricación de mezclas densas en caliente, se realizó la granulometría individual a cada uno de los materiales componentes de la mezcla asfáltica, en la tabla 14 se muestran los resultados de dicha caracterización.

Tabla 14. Porcentajes de pasa de los materiales pétreos y llenante mineral.

Tamiz E-11	Abertura (mm)	% de pasa			
		3/4"	3/8"	A<3/8" seca	A<5mm seca
		CA-2	CA-3	FA-1	FA-2
3/4"	19,5	100	100	100	100
1/2"	12,7	46,7	100	100	100
3/8"	9,5	11,1	93	100	100
Nº4	4,75	0,5	15,4	68,3	99
Nº10	2	0,5	1,4	46,1	61,1
Nº40	0,42	0,3	0,5	21,9	25,2
Nº80	0,18	0,5	0,4	12,3	17,4
Nº200	0,075	0,3	0,2	7,2	6,6

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.2.1.2 Limite líquido e Índice de Plasticidad

El material pasante el tamiz Nº 40 no presenta plasticidad **N.P.**

5.3 Ensayos que definen las propiedades gravimétricas de los agregados pesos específicos de los agregados grueso y fino

A continuación en la Tabla 15 se presentan los resultados de los ensayos de los pesos específicos de la combinación de la mezcla de diseño realizados a gruesos y arenas.

Tabla 15. Pesos específicos de la combinación de agregados para mezcla.

Parámetro	Nombre y tipo de agregado	
	Gruesos	Finos
	Retenido en N°4	Pasa en N°4
Gsb (neto)	2.734	2.780
Gs s.s.s (aparente)	2.772	2.759
Gsa (nominal)	2.841	2.824
% Absorción	1.38	1.39

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.4 Ensayos que evalúan la limpieza de los agregados

5.4.1 Equivalente de Arena

A continuación se presentan los datos correspondientes al ensayo de equivalente desarena realizado al material pétreo menor que el tamiz N° 40 producto de la combinación de agregados.

Tabla 16. Equivalente de arena realizado al pasa tamiz N° 40 de la combinación de agregados para mezcla.

Probeta	Altura Arcilla	Altura Arena	Equivalente de arena
1	4.5	2.7	60
2	4.4	2.5	57
3	4.4	2.5	57
Promedio			58

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

El equivalente de arena aproximado al 1% es: 56%

5.4.2 Contenido de impurezas

Los valores correspondientes al contenido de impurezas de los agregados gruesos destinados para la elaboración de la mezcla asfáltica se encuentran consignados en la tabla 17.

Tabla 17. Contenido de impurezas de los agregados gruesos.

Parámetro medido	Valor
Muestra sin lavar para humedad M1_h (g)	2087.8
Muestra seca en el horno M1_s (g)	2084.6
Índice de sequedad	0.998
Muestra húmeda M_h (g)	2014.9
Muestra seca lavada M_s (g)	2011.8
Masa seca de la muestra ensayada m (g)	2008.7
Impurezas M_s - m (g)	3.1
Coefficiente de limpieza superficial %	0.2

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.5 Ensayos que evalúan la resistencia de los agregados pétreos

5.5.1 Solidez en sulfato de Magnesio

Los resultados de las pérdidas por el ensayo de solidez en sulfato de magnesio para la combinación de agregados en el diseño son:

Pérdidas en el agregado fino: **2.0% <12%**

Pérdidas en el agregado grueso **2.9% <12%**

5.5.2 Desgaste en máquina de los Ángeles

La tabla 18 muestra los datos correspondientes al ensayo de desgaste en máquina de los Ángeles.

Las condiciones del ensayo fueron las siguientes:

Gradación B: 2500 ± 10 g de material pasa ¾" y se retiene en ½"

2500 ± 10 g de material pasa ½" y se retiene en 3/8"

Nº de esferas: 11 Nº de vueltas: 500 Velocidad: 30 a 33 RPM

Tabla 18. Resultado desgaste en la máquina de los Ángeles.

Peso inicial (g)	Peso de esferas (g)	Peso final (g)	% desgaste
5050.8	4590.2	4200.1	16.8

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.5.3 Evaluación de la resistencia al desgaste del agregado grueso utilizando el equipo Micro-Deval.

La tabla 19 muestra el resultado que califica la resistencia al desgaste del agregado grueso.

Tabla 19. Resultado de Resistencia al desgaste en el equipo Micro-Deval.

FRACCION	3/4" - 3/8"	PESO TOTAL INICIAL g	1.500,2
GRADACION TIPO	1	PESO FINAL g	1.291,3
TIEMPO DE ROTACION min	120	DIFERENCIA g	208,9
PESO TOTAL DE LAS ESFERAS (g)	4.999,3	PORCENTAJE DEL DESGASTE %	13,9

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.5.4 Evaluación de la resistencia mecánica del agregado grueso por el método de 10% de finos

La tabla 20 muestra los resultados del ensayo de 10% de finos realizado al material en estado seco y después de 48 horas de Inmersión. La relación de resistencias húmedo/seco es de 81.99% > 75%

Tabla 20. Resultado de Resistencia por el método de 10% de Finos.

Condición	Penetración (mm)	Peso inicial ma (g)	Peso final mr (g)	% de pérdida %f1	Carga X1 (KN)	Carga C10 (KN)
Seca	15 mm	2842.8	2573.2	9.48	254.5	264.2
Húmeda	15 mm	2902.9	2623.6	9.62	210.8	216.7

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.5.5 Coeficiente de pulimento acelerado

La tabla 21 muestra el resultado que califica la resistencia del agregado a ser pulimentado por la acción de las cargas de tránsito.

Tabla 21. Resultado del coeficiente de pulimiento acelerado (CPO).

PROBETAS AGREGADO DE CONTROL			PROBETAS AGREGADO ENSAYADO		
PROBETA	RUEDA	VALOR "C"	PROBETA	RUEDA	VALOR "A"
21-1-13	1	0,53	21-1-11	1	0,48
21-1-14	1	0,5	21-1-12	1	0,53
21-2-13	2	0,54	21-2-11	2	0,51
21-2-14	2	0,51	21-2-12	2	0,48
PROMEDIO "C"		0,52	PROMEDIO "A"		0,50
CALCULO DEL COEFICIENTE ACELERADO					
VALOR "A"					0,50
VALOR "C"					0,52
Xm (valor medio aceptado del agregado de referencia)					0,56
CPA					0,54

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.6 Ensayos que evalúan la forma de los agregados pétreos

5.6.1 Porcentaje de caras fracturadas

Las tablas 22 y 23 muestran los datos obtenidos del ensayo de caras fracturadas al agregado pétreo.

Tabla 22. Partículas con una o más caras fracturadas.

Tamiz	Peso inicial (g)	Peso 1 o más (g)	% partículas	% gradación original	Calculo E=CxD
3/4" a 1/2"	592.3	578.6	97.7	15	1465.3
1/2" a 3/8"	452.6	431	95.2	11	1047.5
SUMA				26	2512.8
Porcentaje de partículas con una o más caras fracturadas					97

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Tabla 23. Partículas con dos o más caras fracturadas.

Tamiz	Peso inicial (g)	Peso 2 o más (g)	% partículas	% gradación original	Calculo E=CxD
3/4" a 1/2"	592.3	561.2	94.7	15	1421.2
1/2" a 3/8"	452.6	401.3	88.7	11	975.3
SUMA				26	2396.6
Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas					92

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Porcentaje de caras fracturadas: 97/92 (Una o más/Dos o más caras fracturadas).

5.6.2 Índices de alargamiento y Aplanamiento

Las tablas 24 y 25 muestran los datos obtenidos del ensayo de caras fracturadas al agregado pétreo.

Tabla 24. Partículas aplanadas.

Tamiz	Peso inicial (g)	Pasa el calibrador (g)	% Pasa el calibrador	% Gradación original	Calculo E=CxD
3/4" a 1/2"	625.8	120.8	19.3	15	289.5
1/2" a 3/8"	512.3	100.6	19.6	11	216.0
3/8" a 1/4"	236.9	51.8	21.9	2	43.7
SUMA				28	549.3
Porcentaje de partículas aplanadas					19.6

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Tabla 25. Partículas alargadas.

Tamiz	Peso inicial (g)	Retiene el calibrador (g)	% Partículas	% Gradación original	Calculo E=CxD
3/4" a 1/2"	625.8	99.5	15.9	15	238.5
1/2" a 3/8"	512.3	74.3	14.5	11	159.5
3/8" a 1/4"	236.9	32.1	13.6	2	27.1
SUMA				28	425.1
Porcentaje de partículas alargadas					15.2

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Relación de partículas: 10/19 (aplanadas/alargadas)

5.6.3 Angularidad del Agregado Fino

La tabla 26 muestra la angularidad del agregado fino calculada a partir del ensayo INV E-239 método A.

Tabla 26. Angularidad del agregado fino.

Angularidad del agregado Fino (FAA Test)	Lectura 1
Volumen del cilindro (ml)	100
Peso de la muestra + Cilindro	370.1
Peso cilindro (g)	221.5
Peso muestra	148.6
Peso específico del agregado fino	2.724
Vacíos sin compactar en el agregado fino	45.4

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.7 Ensayos que evalúan las características del llenante mineral de aporte

5.7.1 Peso Unitario del Llenante en tolueno

La tabla 27 muestra los datos correspondientes al peso unitario del llenante en tolueno, el valor se calcula con la ecuación 1 (Laboratorio Conasfaltos S.A.):

Ecuación 1.

$$\rho_B = \frac{P}{V}$$

Tabla 27. Peso unitario del llenante en tolueno.

Lectura	Peso P (g)	Volumen V (ml)	P_B (g/cm³)	P_B Promedio (g/ml)
1	10.00	14	0.71	0.75
2	10.00	12	0.83	
3	10.00	14	0.71	

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.7.2 Concentración crítica del llenante mineral

Se calcula la concentración crítica del llenante mediante la ecuación 2 (Laboratorio Conasfaltos S.A.):

Ecuación 2.

$$C_s = \frac{P}{V \cdot Gsb}$$

La gravedad específica del llenante mineral es de 2.780, de acuerdo al valor reportado por el laboratorio EVALTEC S.A.

Tabla 28. Concentración crítica del llenante.

Lectura	Peso P (g)	Volumen V (ml)	Gsb	Cs
1	11	10.00	2.780	0.36
2	11	10.00		0.36
Promedio				0.36

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Este valor debe ser comparado con la concentración real en volumen calculada con la ecuación 3 (Laboratorio Conasfaltos S.A.):

Ecuación 3.

$$C_v = \frac{F}{F + A}$$

Tabla 29. Relación entre la concentración real en volumen y la concentración crítica.

% de asfalto	G bulk	F	A	Cv	Cv/Cs
4.0	2381	0.039	0.095	0.294	1.82
4.5	2403	0.040	0.108	0.269	0.75
5.0	2435	0.040	0.121	0.248	0.69
5.5	2462	0.040	0.134	0.229	0.64
6.0	2485	0.040	0.148	0.214	0.59

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.7.3 Vacíos en el llenante compactado en seco

Se calcula el porcentaje de vacíos del llenante compactado en seco mediante la ecuación 4 (Laboratorio Conasfaltos S.A.):

Ecuación 4.

$$Vacios = 1 - \frac{P}{a. e. Gsb}$$

Tabla 30. Porcentaje de vacíos del llenante compactado en seco.

DETERMINACION No	1	2	3
Mesa del cilindro más pistón (g)	865.1		
Área del cilindro a (cm ²)	5.067		
Lectura inicial del llenante (cm)	1.50	1.47	1.49
Mesa del cilindro más pistón más muestra (g)	875.1	874.5	875.4
Lectura final del llenante e (cm)	1.25	1.15	1.26
Mesa del llenante P (g)	10.0	9.4	10.3
Gravedad específica del llenante Gs	2.780		
Porcentaje de vacíos del llenante compactado en seco	43.2	42.0	42.0

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

El valor promedio de vacíos del llenante compactado en seco es de 42.3%

5.8 Selección de la gradación de diseño para MDC-2

Teniendo en cuenta los requerimientos del artículo 450-07 del Instituto Nacional de Vías, se determinó la combinación óptima de diseño que satisface los criterios Granulométricos y de empaquetamiento de los agregados pétreos en la mezcla (Método Bailey). En cuanto a gradación la combinación de agregados pétreos esta deberá satisfacer la franja granulométrica la cual corresponde tanto a la MDC-2 convencional como a la MDC-2 con polímeros, la tabla 31 muestra los valores límites correspondientes a esta gradación de acuerdo a requerimientos del INVIAS tabla 450.2.

Tabla 31. Franja granulométrica para mezcla asfáltica en caliente INVIAS-2007

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S Standard)							
		19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
DENSA	MDC-2	100	80-95	79-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8

Fuente: Normas INVIAS-2007. Artículo 450.

En la tabla 32 se indica las proporciones en peso de los agregados finos y gruesos para la elaboración de la mezcla asfáltica, y en la figura 6 se diagrama la dosificación de los agregados (Línea color azul) y los rangos establecidos por el INVIAS mediante las franjas granulométricas (Líneas color negro), así como también las sub franjas que establece el laboratorio de Conasfaltos S.A. (Líneas

color rojo) de acuerdo a los datos establecidos en la Tabla 31 de los porcentajes que pasan por los diferentes tamices establecidos por la Norma INVIAS 2007.

Tabla 32. Dosificación de agregados pétreos para mezcla MDC-2.

Clase	Referencia	Descripción	Proporción
Agregado grueso	CA-2	Triturado de 3/4"	22
Agregado grueso	CA-3	Triturado de 3/8"	7
Agregado fino	FA-1	Arena triturada < 3/8"	36
Agregado fino	FA-2	Arena triturada < 5 mm	35

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

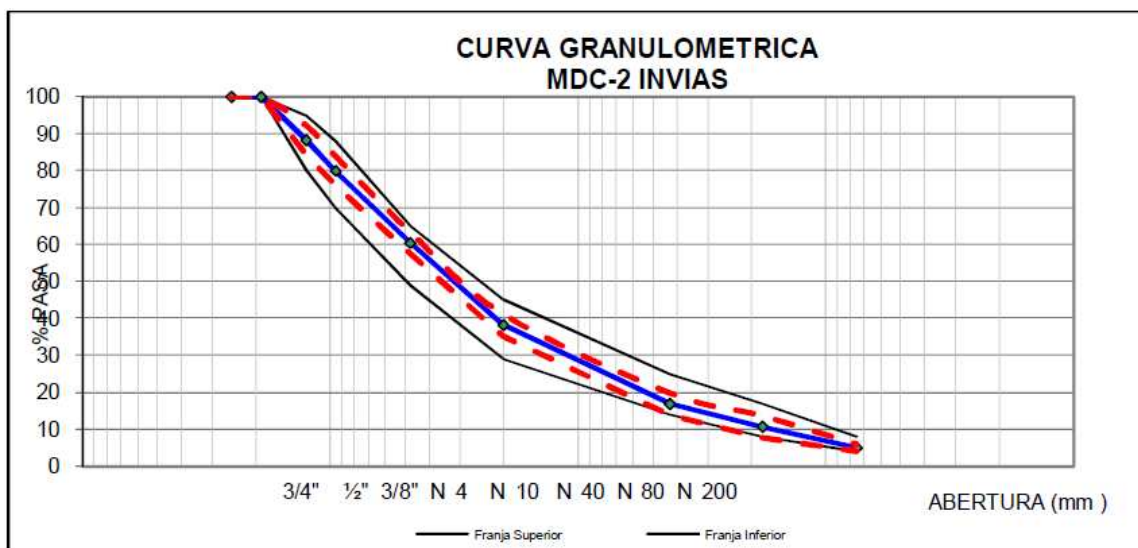


Figura 6. Franja granulométrica adoptada para el diseño MDC-2.

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

Tabla 33. Valores obtenidos de % pasa para la combinación de agregados pétreos de diseño.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S Standard)							
		19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
DENSA	MDC-2	100	80-95	79-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
Combinación		100	88	80	60	38	17	11	5.0
Tolerancias Diseño		100	84-92	76-84	57-63	35-41	14-20	8-14	4.0-6.0

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.9 Caracterización del ligante bituminoso

5.9.1 Propiedades fisicoquímicas asfalto 60/70

Los valores de las propiedades fisicoquímicas del asfalto se presentan en la tabla 34, comparados con los valores exigidos por el INVIAS Artículo 400-07:

Tabla 34. Propiedades Físico mecánicas del asfalto.

Propiedad	Valor	Especificación	
		Min.	Max
Penetración a 25°C, 100 g y 5 s (0,1 mm)	65	60	70
Punto de ablandamiento (*C)	50	-	-
Índice de penetración	-0.54	-1	1
Viscosidad a 60°C (P)	2234	1500	-
Pérdida de masa por calentamiento RTFO	0.19	-	1
Ductibilidad a 25°C (5 cm/min)	139	100	-
Gravedad especifica	1.007	-	-
Punto de chispa (*C)	298	230	-
Solubilidad en el tricloroetileno (%)	99.28	99	-
Contenido de agua (%)	0	-	0.2
Penetración retenida después de RTFO (%)	58	52	-
Incremento en punto de ablandamiento *C	3.4	-	5

Fuente: Laboratorio Corasfaltos S.A.

En la tabla 35 se establecen los rangos de valores para la elaboración y compactación de la mezcla asfáltica de acuerdo al tipo de asfalto 60/70

Tabla 35. Temperaturas optimas de mezcla y compactación en laboratorio.

Temperatura	Valor (*C)	Viscosidad (P)
Mezcla	152-159	1.5 – 1.9
Compactación	138-144	2.5 – 3.1

Fuente: Laboratorio Corasfaltos S.A.

5.9.2 Propiedades fisicoquímicas asfalto TIPO III

Este asfalto se modifica con Polímero tipo III que es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas; disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Se obtiene de un polímero de tipo plastómero, mediante configuraciones como etil-vinil-acetato (EVA) o polietileno de baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras.

Los valores de las propiedades fisicoquímicas del asfalto se presentan en la tabla 36, comparados con los valores exigidos por el INVIAS Artículo 400-07:

Tabla 36. Propiedades Físico mecánicas del asfalto.

Propiedad	Valor	Especificación	
		Min.	Max
Penetración a 25°C, 100 g y 5 s (0,1 mm)	67.3	55	70
Punto de ablandamiento (°C)	74.0	65	-
Recuperación elástica por torsión	77	70	-
Estabilidad al almacenamiento, 5 días, 163 C	2.6	-	5
Ductibilidad a 5°C (5 cm/min)	17.1	15	-
Gravedad especifica	1.01	-	-
Punto de ignición (°C)	304	230	-
Punto de chispa (°C)	298	230	-
Contenido de agua (%)	0.0	-	0.2
Pérdida de masa por calentamiento RTFO	0.259	-	1
Penetración retenida después de RTFO (%)	74	65	-

Fuente: Laboratorio Corasfaltos S.A.

En la tabla 37 se establecen los rangos de valores para la elaboración y compactación de la mezcla asfáltica de acuerdo al tipo de asfalto con polímero Tipo III.

Tabla 37. Temperaturas optimas de mezcla y compactación en laboratorio.

Temperatura	Valor (°C)	Viscosidad (P)
Mezcla	174-179	1,9–2,3
Compactación	162-167	2,8 - 3,4

Fuente: Laboratorio Corasfaltos S.A.

En la tabla 38 se compara las propiedades de los dos tipos de asfaltos establecidas en las tablas 33 y 34, en los se puede evidenciar que el asfalto con polímero tiene mejor comportamiento a las altas temperaturas de servicio, por ser un asfalto más duro. Estas diferencias son evidentes en los ensayos de Penetración a 25°C, Punto de ablandamiento, Ductilidad, Punto de Chispa, penetración retenida después de RTFO.

Tabla 38. Resumen de resultados asfalto 60-70 vs asfalto tipo III.

Propiedad	Especif. 60-70		Especif. Tipo III		Valor asf. 60-70	Valor asf. Tipo III
	Min.	Max	Min.	Max		
<i>Penetración a 25°C, 100 g y 5 s (0,1 mm)</i>	60	70	55	70	65	55,9
<i>Punto de ablandamiento (°C)</i>	-	-	65	-	50	74
Índice de penetración	-1	1	N.A.	N.A.	-0,54	N.A.
Viscosidad a 60°C (P)	1500	-	N.A.	N.A.	2234	N.A.
Recuperación elástica por torsión.			70		N.A.	77
Pérdida de masa por calentamiento RTFO.	-	1	-	1	0,19	0,259
<i>Ductilidad a 25°C (5 cm/min)</i>	100	-	15	-	139	17,1
Gravedad especifica	-	-	-	-	1,007	1,01
<i>Punto de chispa (°C) - Punto de ignición (°C)</i>	230	-	230	-	298	304
Solubilidad en el tricloroetileno (%)	99	-	N.A.	N.A.	99,28	N.A.
Contenido de agua (%)	-	0,2	-	0,2	0	0
<i>Penetración retenida después de RTFO (%)</i>	52	-	65	-	58	74
Incremento en punto de ablandamiento °C	-	5	N.A.	N.A.	3,4	N.A.

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A y MPI Ltda.

De igual manera en la tabla 39 se comparan los parámetros de elaboración de la mezcla y compactación en laboratorio, en donde se evidencia que el asfalto modificado con polímero tipo III tiene que mezclarse y compactarse a mayores temperaturas que un asfalto convencional.

Tabla 39. Temperaturas optimas de mezcla y compactación en laboratorio para asfalto 60-70 vs asfalto tipo III.

TIPOS DE ASFALTO	ASFALTO 60-70		ASFALTO MODIFICADO TIPO III	
	Valor (°C)	Viscosidad (P)	Valor (°C)	Viscosidad (P)
Mezcla	152-159	1,5 - 1,9	174-178	1,9-2,3
Compactación	138-144	2,5 - 3,1	162-167	2,8 - 3,4

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.10 Características de la mezcla asfáltica

5.10.1 Criterios del Artículo 450-07 para mezclas asfálticas

En la tabla 39 se puede observar los resultados de las mezclas asfálticas convencional y la modificada con polímeros según los ensayos establecidos por el Artículo 450-07 de la norma INVIAS 2007, en donde se puede observar que la mayoría de los ensayos no muestran diferencias significativas entre los dos tipos de mezclas, pero si se identifican variaciones en los valores de estabilidad, Deformación Plástica en Pista (105 a 120 min), Modulo dinámico, ensayo de fatiga de las mezclas.

Tabla 40. Resultados de ensayos a la mezcla asfáltica MDC-2 convencional y MDC-2 modificada con polímero Tipo III.

Criterios del Artículo 450-07	MDC-2 Convencional	MDC-2 modificada Tipo III
% de Asfalto	5,20%	5,20%
% de Llenante	5,30%	5,00%
Estabilidad	1560 Kg-f.	1508 Kg-f.
Flujo	3,3 mm	3,32 mm
Relación estabilidad/Flujo	473	N.A
Peso unitario de la mezcla	2415 Kg/m ³	2453 Kg/m ³
Gravedad específica teórico mezcla	2,55	2,574
Vacíos totales con aire	5.0%	4.6%
Vacíos en agregado mineral	16.1%	15.8%
Vacíos llenos con asfalto	68.9%	70.0%
Porcentaje de asfalto absorbido	0,59%	0.624%
Relación Llenante/Ligante	1,14	1.09
Vacíos en el llenante compactado en seco	42,4%	42.3%
Peso unitario del llenante en tolueno	0,72 g/cm ³	0,75 g/cm ³
Concentración crítica del llenante mineral	0,36 g/cm ³	0,36 g/cm ³
Índice de película de asfalto	8.9 µm	8.49 µm
Deformación Plástica en Pista (105 a 120 min)	6,3 µm/min	1,0 µm/min
Susceptibilidad a la humedad por tracción indirecta	82%	80%

Fuente: Laboratorio Conasfaltos S.A.

5.10.2 Caracterización dinámica a mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III

5.10.2.1 Módulo Dinámico

Norma: INV E-754

Con esta prueba se determina el módulo dinámico de una probeta tipo Marshall, por medio del principio de tensión indirecta. El principio enuncia que al aplicar una carga compresiva a través del diámetro de una muestra cilíndrica, se produce una tensión sobre un diámetro ortogonal al cual se aplica la carga. Al registrar la carga vertical aplicada y la deformación horizontal producida se obtiene el módulo dinámico [MPa].

Con base en la prueba de tensión indirecta y teniendo en cuenta que esta prueba no es destructiva, se puede evaluar la incidencia de la temperatura en el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica realizando ensayo a temperaturas en un rango de temperaturas establecido tal como se puede observar en la tabla 41 para la mezcla asfáltica modificada con polímero Tipo III, datos con los cuales se elabora un gráfico semi logarítmico en el cual se elaboran tres curvas en las cuales se grafica del valor del módulo en función de la frecuencia, con las tres temperaturas del ensayo, tal como se observa en las figura 7.

Adicionalmente a los valores obtenidos de los módulos a diferentes frecuencias y temperaturas, se les aplica un parámetro de reducción por lo cual se obtiene una curva maestra, lo cual permite determinar el valor del módulo de la mezcla en función de la frecuencia para una temperatura de referencia de 25°C, lo cual se puede observar en la figura 8, el valor del módulo dinámico según la curva maestra se determina a través de la ecuaciones 5 y 6 (Laboratorio Corasfaltos S.A.):

Ecuación 5.

$$X = \delta_T + Ln(f)$$

Ecuación 6.

$$\delta_T = 2,52 \times 10^4 \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_S} \right)$$

X: Parámetro de reducción de la curva maestra.

δ_T : Factor de modificación en función de la temperatura.

f: Frecuencia de la prueba en Hz.

T: Temperatura absoluta de la prueba ($T = T^{\circ}\text{C} + 273,15$) T

T_S : Temperatura absoluta de referencia ($T_S = T_S^{\circ}\text{C} + 273,15$) S T

Por ejemplo, para las siguientes condiciones:
 $f = 8$ Hz Requerida de las condiciones del proyecto
 $T = 30^{\circ}\text{C}$ Requerida de las condiciones del proyecto
 $T_S = 25^{\circ}\text{C}$ Del reporte de ensayo – Curva maestra

Entonces,
 $T = 303,15$ K, $T_S = 298,15$ K

Se calcula,
 $\delta_T = -1,39$ X = 0,69

El valor de X se utiliza para la estimación del módulo de la mezcla, según la gráfica de curva maestra.

Módulo para mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III, obtenido de curva maestra = 2463 MPa

Tabla 41. Resumen Módulos dinámicos de la mezcla MDC-2 tipo III. REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

10 HZ									
Temperatura	10°C			25°C			40°C		
Probeta	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Módulo 1 (MPa)	10949	10686	11597	4408	4094	4339	1202	1209	1274
Módulo 2 (MPa)	10733	10601	11247	4358	4061	4369	1247	1230	1300
Modulo (MPa)	10841	10644	11422	4383	4078	4354	1225	1220	1287
Promedio (MPa)	10969			4272			1244		
5 HZ									
Temperatura	10°C			25°C			40°C		
Probeta	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Módulo 1 (MPa)	9621	9563	10421	3712	3410	3748	976	969	1054
Módulo 2 (MPa)	9602	9605	10160	3663	3477	3729	982	951	1083
Modulo (MPa)	9612	9584	10291	3688	3444	3739	979	960	1069
Promedio (MPa)	9829			3623			1003		
2,5 HZ									
Temperatura	10°C			25°C			40°C		
Probeta	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Módulo 1 (MPa)	8676	8594	9497	3077	2938	3289	730	749	800
Módulo 2 (MPa)	8599	8692	9501	3119	2959	3279	753	756	819
Modulo (MPa)	8638	8643	9499	3098	2949	3284	742	753	810
Promedio (MPa)	8927			3110			768		

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

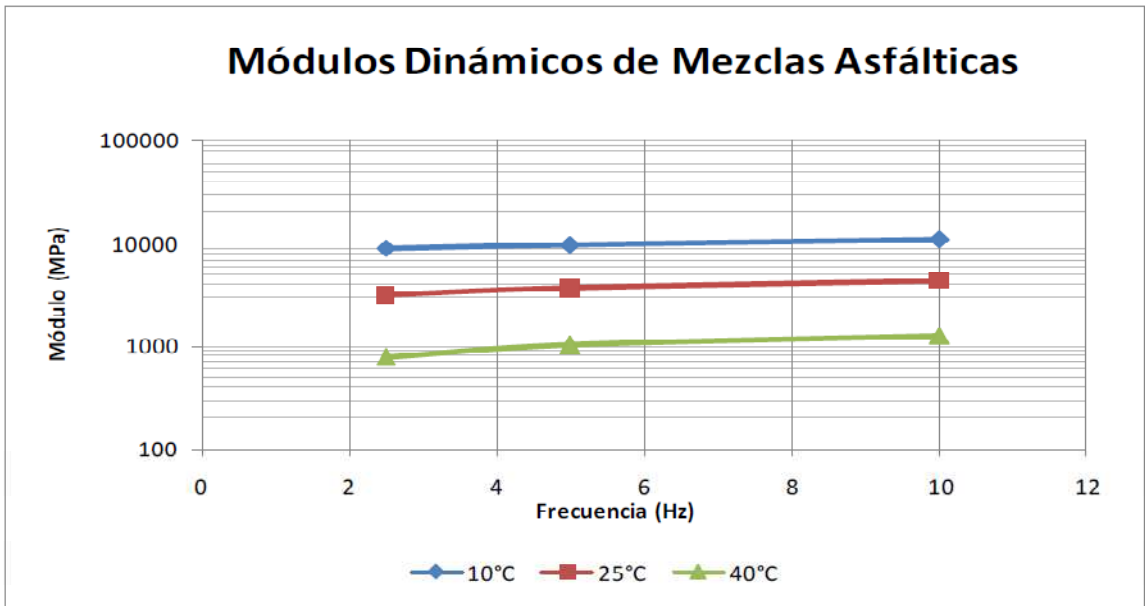


Figura 7. Módulos Dinámicos en función de frecuencia y temperatura MDC-2 tipo III. . REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III. Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

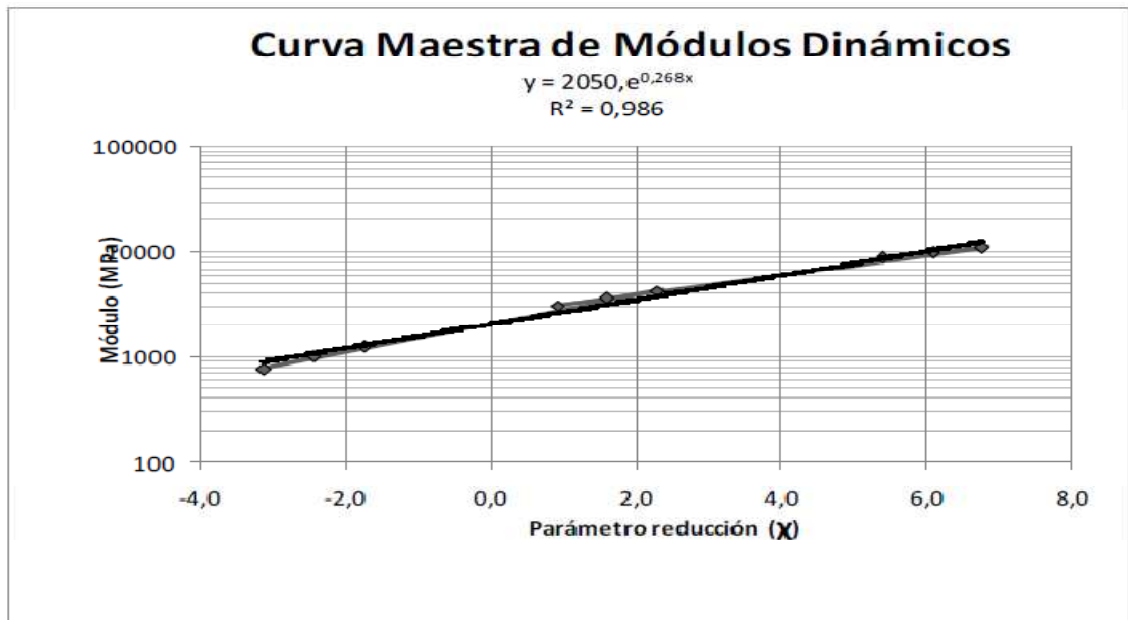


Figura 8. Curva maestra para determinar el modulo dinámico para la mezcla MDC-2 con polímero Tipo III. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III. Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

5.10.2.2 Fatiga por Tracción Indirecta (Fatiga a esfuerzo controlado)

Norma: INV E-784

La prueba de fatiga por tracción indirecta se realiza midiendo los módulos a diferentes niveles de esfuerzo de tal manera que la deformación unitaria resultante este en el rango de 100 a 400 $\mu\epsilon$. Particularmente se hacen pruebas por pares de briquetas sumando en total 9 briquetas y 9 puntos para la elaboración de la ley de fatiga. Sin embargo se puede realizar una ley de tipo restringido utilizando solo tres (3) especímenes, pero si el valor del coeficiente de correlación estadística R2 es menor que 0.90, se debe incrementar el número de especímenes. A medida que se reduce el número de especímenes se incrementa incertidumbre sobre el ensayo, es importante tener en cuenta que los especímenes deben ser lo más homogéneos entre sí, en cuanto a altura, diámetro y densidad.

Una vez se han realizado las pruebas de módulos dinámicos a esfuerzo controlado, se procede a realizar la prueba de fatiga, aplicando los mismos valores de esfuerzo aplicados en la prueba de módulos dinámicos. La carga se repite tantas veces como sea necesario para que los LVDTs registren un desplazamiento vertical de 10 mm. La frecuencia de carga es de 5 Hz, y la temperatura es de 20 °C. La frecuencia del ensayo puede variar entre 2.5 , 5.0 y 10 Hz. Los datos obtenidos de los ensayos se pueden visualizar en las Tablas 39 y 40, se presentan los resultados de la regresión lineal de los datos de la ley de fatiga para las mezclas asfálticas convencionales y para las mezclas asfálticas modificadas con polímero Tipo III respectivamente, que corresponden a la ecuación de la ley de fatiga representada de la ecuación 7 (Laboratorio Corasfaltos S.A.):

Ecuación 7.

$$\text{Log}(Y) = a.\text{Log}(X) + b$$

Dónde:

Y= STRAIN ($\mu\epsilon$)

X= NUMERO DE CICLOS DE FALLA

Tabla 42. Constantes de ecuación de ley de fatiga mezcla asfáltica MDC-2 convencional. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2.

a	b	R2
-0,2272	3,2035	0,9513

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Tabla 43. Constantes de ecuación de ley de fatiga mezcla asfáltica MDC-2 tipo III.
 Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

a	b	R2
-0,2158	3,255	0,9490

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Y de acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas 44 y 45, se grafica el comportamiento de las mezclas asfálticas en estudio en relación con los números de ciclos de carga, tal como se puede observar en las Figura 9, 10, 11 y 12.

Tabla 44. Resultados del análisis de Ley de Fatiga mezcla asfáltica MDC-2 convencional. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2.

Probeta	$\sigma_{x_{max}}$ (KPa)	Modulo**(MPa)	N° CICLOS	Strain ($\mu\epsilon$)	Bulk
1	300	5365.0	86465	115	2,399
2	500	5753.5	10229	178	2,397
3	520	4110.5	4663	259	2,394
4	540	4215.5	2935	263	2,394
5	680	4989.5	2312	279	2,394
6	700	4595.0	2372	312	2,392
7	850	5057.0	875	345	2,392
8	955	4948.5	276	396	2,392

** Módulo Dinámico a esfuerzo controlado

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

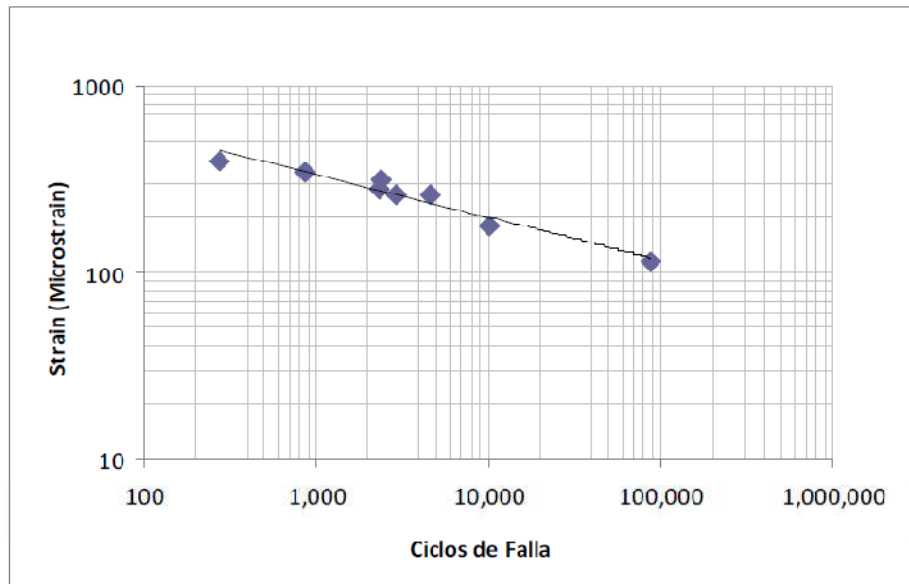


Figura 9. Fatiga a esfuerzo controlado para los especímenes (Deformación vs. Ciclos de Falla) MDC-2 convencional. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2. Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

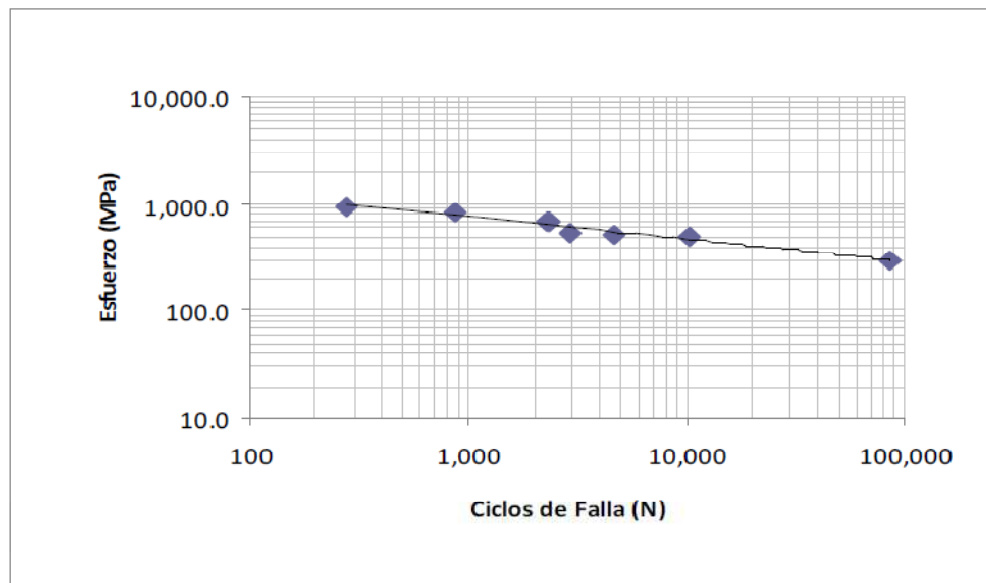


Figura 10. Fatiga a esfuerzo controlado para los especímenes (Esfuerzo vs. Ciclos de falla) MDC-2 convencional. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2. Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Tabla 45. Resultados del análisis de Ley de Fatiga mezcla asfáltica MDC-2 tipo III.
 Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Probeta	$\sigma_{x_{max}}$ (KPa)	Modulo**(MPa)	N° CICLOS	Strain ($\mu\epsilon$)	Bulk
1	750	4282.5	1749	359	2,38
2	650	3434.0	4040	388	2,386
3	420	3096.5	37901	278	2,388
4	580	3912.5	11794	304	2,389
5	570	4377.0	27202	267	2,391
6	500	4318.5	21091	237	2,392
7	350	3906.0	64031	184	2,393
8	300	4218.5	224458	146	2,393
9	200	3578.5	600000	115	2,394

** Módulo Dinámico a esfuerzo controlado

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

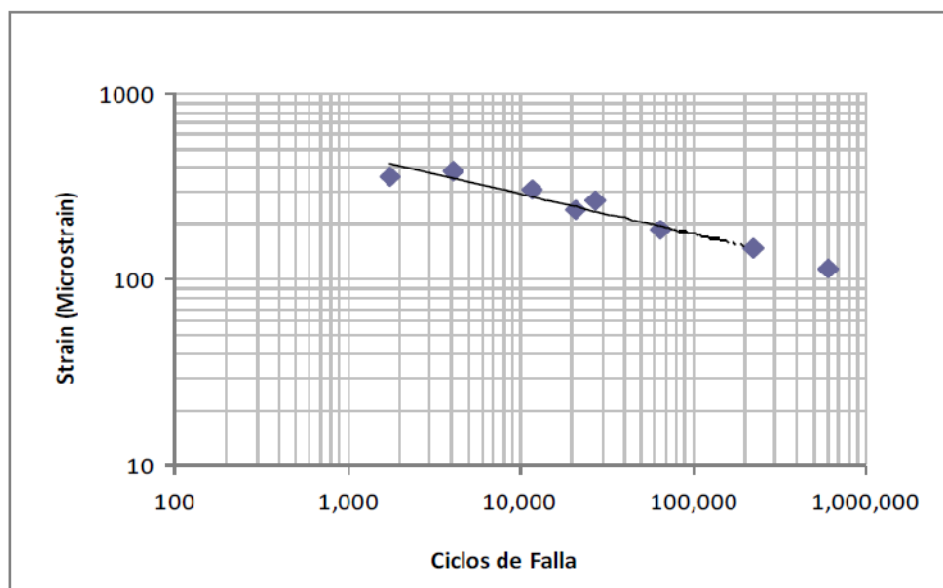


Figura 11. Fatiga a esfuerzo controlado para los especímenes (Deformación vs. Ciclos de Falla) mezcla asfáltica MDC-2 tipo III. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

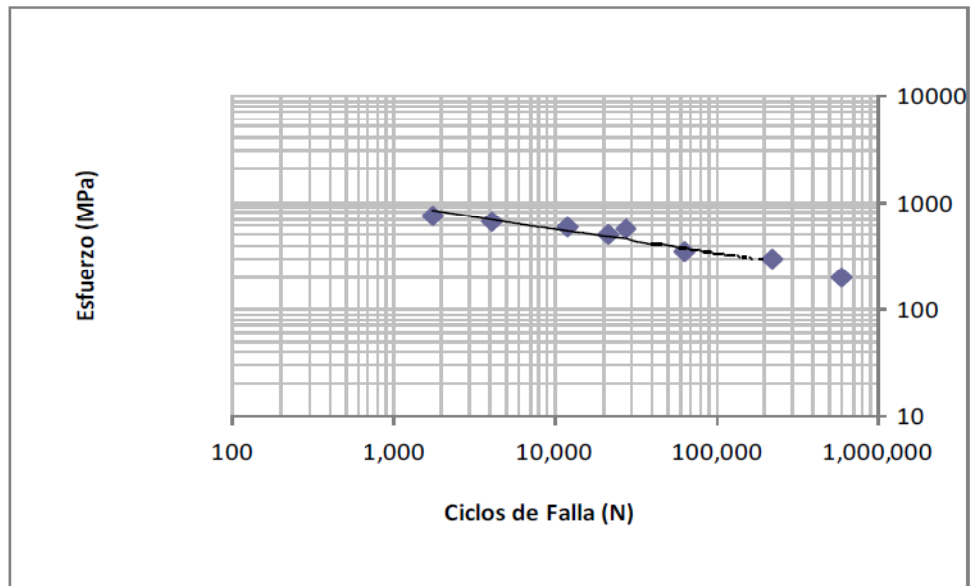


Figura 12. Fatiga a esfuerzo controlado para los especímenes (Esfuerzo vs. Ciclos de falla) mezcla asfáltica MDC-2 tipo III. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

5.10.2.3 Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas.

Norma: INV E-756

Con esta prueba se simula el efecto del paso repetido de carga dinámica sobre una mezcla asfáltica y así encontrar su susceptibilidad al ahuellamiento. El método consiste en hacer pasar una rueda durante 2 horas a velocidad de 21 ciclos por minuto sobre la mezcla asfáltica ejerciendo una presión de 900 KN/m². Se monitorea continuamente la deformación producida teniendo en cuenta condiciones de temperatura (60°C) y presión.

Los especímenes pueden ser elaborados en el laboratorio o extraídos de la vía. En el segundo caso la superficie inferior siempre tendrá irregularidades que serán subsanadas en el laboratorio con yeso o estuco para evitar errores en la prueba.

Los resultados del ensayo se pueden observar en las tablas 46, 47, 48 y 49 para los dos tipos de mezclas asfálticas en estudio, así como también se puede visualizar en las figuras 13 y 14 el comportamiento de las mezclas asfálticas en relación al tiempo o número de ciclos de carga aplicados a los tipos de mezclas asfálticas convencionales y a las modificadas con polímero Tipo III.

Tabla 46. Resultados resistencia a la deformación plástica MDC-2 convencional.
(Muestra # 1). Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033.
CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2.

Tipo de mezcla:	Mezcla asfáltica
Procedencia de la mezcla (g):	Compactada en laboratorio
Masa del espécimen (g):	10495
Altura promedio espécimen (mm):	47,0
Longitud promedio de espécimen (mm):	305.75
Deformación total al final del ensayo (mm):	3,04
V30/45 (µm/min)	18,0
V75/90 (µm/min)	6,7
V105/120 (µm/min)	7,3

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Tabla 47. Resultados resistencia a la deformación plástica MDC-2 convencional.
(Muestra # 2) Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033.
CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2.

Tipo de mezcla:	Mezcla asfáltica
Procedencia de la mezcla (g):	Compactada en laboratorio
Masa del espécimen (g):	10845
Altura promedio espécimen (mm):	47,0
Longitud promedio de espécimen (mm):	306.00
Deformación total al final del ensayo (mm):	2,16
V30/45 (µm/min)	14,0
V75/90 (µm/min)	9,3
V105/120 (µm/min)	5,3

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

El valor promedio de V105/120= 6,3 µm/min.

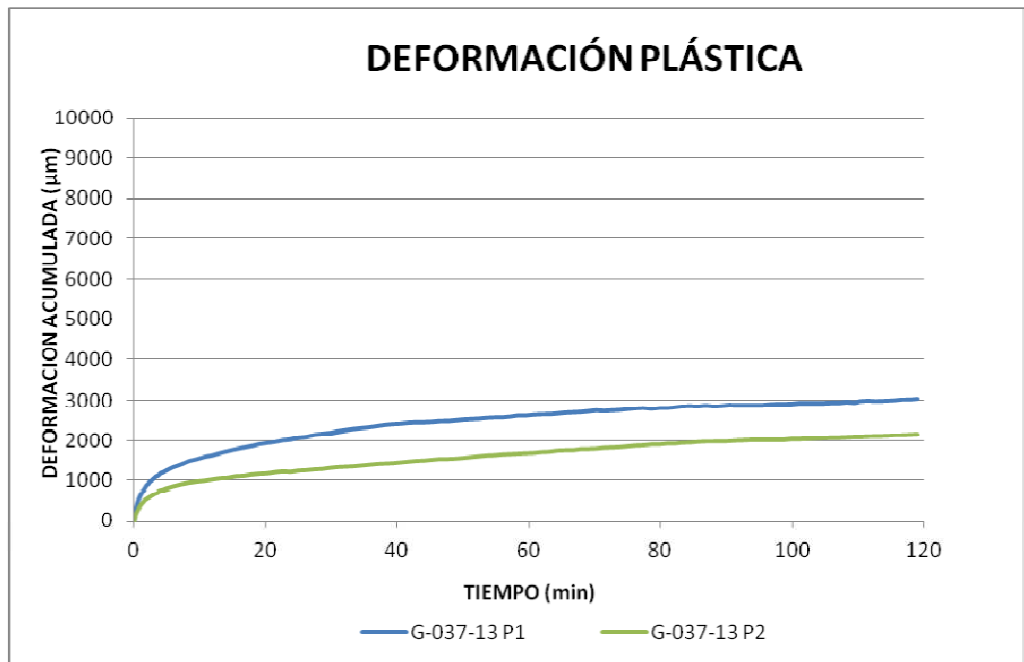


Figura 13. Deformación plástica MDC-2 convencional. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 033. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2.

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Tabla 48. Resultados resistencia a la deformación plástica MDC-2 tipo III (Muestra # 1). Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Tipo de mezcla:	Mezcla asfáltica
Procedencia de la mezcla (g):	Compactada en laboratorio
Masa del espécimen (g):	9753
Altura promedio espécimen (mm):	46,59
Longitud promedio de espécimen (mm):	300,5
Deformación total al final del ensayo (mm):	0,44
V30/45 (µm/min)	0,0
V75/90 (µm/min)	0,0
V105/120 (µm/min)	0,0

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

Tabla 49. Resultados resistencia a la deformación plástica MDC-2 tipo III (Muestra # 2). Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Tipo de mezcla:	Mezcla asfáltica
Procedencia de la mezcla (g):	Compactada en laboratorio
Masa del espécimen (g):	10037
Altura promedio espécimen (mm):	46,42
Longitud promedio de espécimen (mm):	303,75
Deformación total al final del ensayo (mm):	0,97
V30/45 (µm/min)	4,7
V75/90 (µm/min)	2,0
V105/120 (µm/min)	2,0

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

El valor promedio de V105/120= 1,0 µm/min.

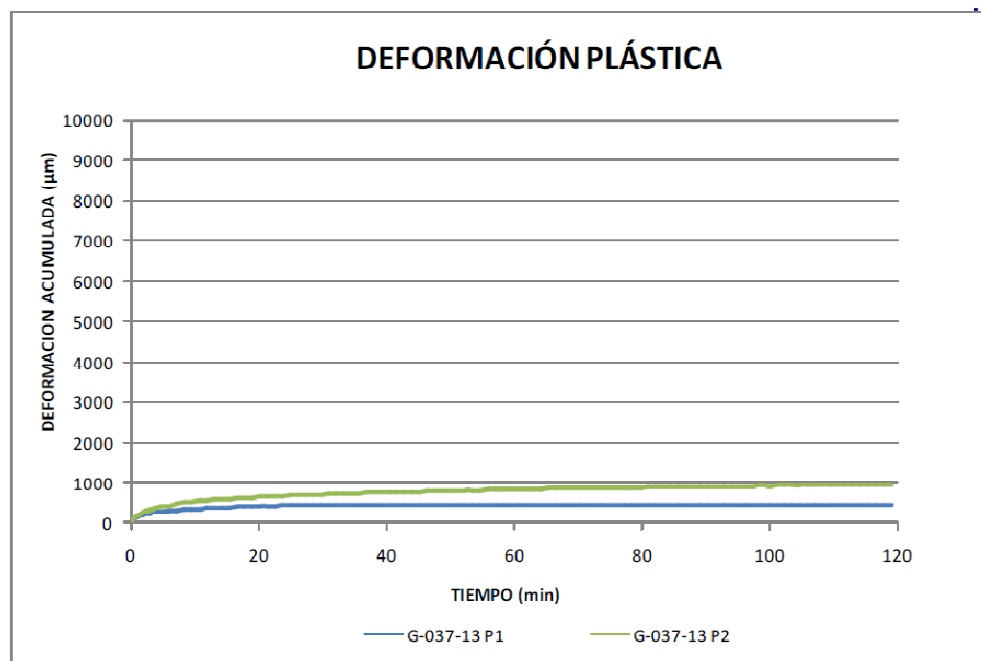


Figura 14. Deformación plástica MDC-2 tipo III. Fuente: REPORTE TÉCNICO FINAL R – G – 13 – 035. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA A MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON POLIMERO TIPO III.

Fuente: Laboratorio Corasfaltos para Conasfaltos S.A.

6. VISITAS DE CAMPO A LAS VÍAS PRINCIPALES PARA IDENTIFICAR LAS POSIBLES CAUSAS A QUE SE ATRIBUYEN LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS DEL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.

Dentro del trabajo de investigación se realizó una visita de campo sobre diferentes vías del Municipio de Itagüí, con el propósito de identificar cuáles son las fallas más comunes, fallas que quedaron registradas en las fotografías de elaboración propia que se presentadas a continuación:



Foto 1: Ahuellamiento del pavimento calzada oriental Sector Estación del Metro Itagüí.



Foto 2: Detalle de la deformación del pavimento de 5 cm, calzada oriental Sector Estación del Metro Itagüí.



Foto 3: Ahuellamiento, deformación y desplazamiento de la mezcla asfáltica. Estación del Metro Itagüí calzada central.



Foto 4: Detalle de la deformación del pavimento de 9 cm, calzada central Sector Estación del Metro Itagüí.



Foto 5: desplazamiento transversal de la mezcla asfáltica. Estación del Metro Itagüí calzada central.



Foto 6: Detalle de la deformación del pavimento de 5 cm, calzada central Sector Estación del Metro Itagüí.



Foto 7: Ahuellamiento, deformación y desplazamiento de la mezcla asfáltica. Calle 46 con carrera 49



Foto 8: Detalle de la deformación del pavimento de 4 cm, Calle 46 con carrera 49



Foto 9: Exudación de asfalto sobre el pavimento. Calle 46 con carrera 49



Foto 10: Detalle exudación de asfalto sobre el pavimento, Calle 46 con carrera 49



Foto 11: Desplazamiento de la mezcla asfáltica. Calle 45 con carrera 50 A



Foto 12: Otro ángulo, Desplazamiento de la mezcla asfáltica. Calle 45 con carrera 50 A. Se observa la deformación de la pintura de la cebra sobre el pavimento.



Foto 13: Medición de la deformación del pavimento. Calle 45 con carrera 50 A.



Foto 14: Detalle de la deformación del pavimento de 5 cm, Calle 45 con carrera 50 A



Foto 15: Bache en la carrera 52 con calle 60 Costado oriental. Vía objeto de estudio.



Foto 16: Fisuras transversales en la carrera 52 con calle 78 Costado oriental. Vía objeto de estudio.



Foto 17: Fisuras transversales en la carrera 52 con calle 80 Costado oriental. Vía objeto de estudio.



Foto 18: Bache en la carrera 52 con calle 80 Costado oriental. Vía objeto de estudio.



Foto 19. Ahuellamiento del pavimento en la carrera 52 con calle 85 Costado oriental. Vía objeto de estudio.



Foto 20. Detalle Ahuellamiento del pavimento en la carrera 52 con calle 85 Costado oriental, profundidad 6 cm. Vía objeto de estudio.

7. PROCESAMIENTO DE INFORMACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

7.1 Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos en Itagüí.

Según lo observado en algunas vías del Municipio de Itagüí se evidencia que las fallas del pavimento predominantes son el ahuellamiento, deformaciones de la capa de rodadura (Corrimiento del concreto asfáltico) y en otros casos las fisuras en bloque tipo piel de cocodrilo.

Investigando y analizando las características del tráfico, clima y capacidad de soporte del suelo que se presentan en Itagüí, calidad de los materiales de los pavimentos existentes, por lo cual se puede concluir que estos cuatro factores afectan directamente el desempeño de las estructuras de pavimento construidas en este Municipio.

7.1.1 Trafico

Por el Municipio circulan un gran porcentaje de camiones debido a que a lo largo y ancho del municipio se encuentran ubicadas muchas fábricas e industrias, es por eso que Itagüí es conocido a nivel nacional como la ciudad industrial de Colombia, y el hecho más agravante es que dentro de las vías del municipio no existen los mecanismos de control que verifiquen la capacidad de los vehículos de carga, con el propósito de evitar que transporten mercancía excediendo los pesos máximos permitidos el Ministerio de Transporte. Este incremento acelerado y competitivo de las industrias ubicadas en el Municipio ha provocado el crecimiento en la circulación de los vehículos de carga que por la acción repetitiva en la transmisión de las cargas a la estructura de los pavimentos van deteriorando aceleradamente la malla vial del Municipio, generando ahuellamientos en el pavimento cuando la capacidad de la estructura es buena, o cuando la capacidad de la estructura o de la capa de rodadura es deficiente van fatigando el pavimento, lo que provoca el reflejo de daños manifestados en fisuras en bloque tipo piel de cocodrilo.

7.1.2 Clima

Las variaciones de clima del Municipio afectan el comportamiento de las capas de rodadura en concreto asfáltico, debido a que a temperaturas extremas en ciertas temporadas del año la temperatura que alcanza el Municipio es de 26°C, temperatura que con la acción repetida de los vehículos de carga van afectando la regularidad de la vía, generando ahuellamiento o desplazamientos de la mezcla asfáltica. Se ha detectado que también en temperaturas máximas del municipio y con los frenados bruscos de los vehículos, especialmente los buses, van corriendo y por ende deformando la capa de rodadura en concreto asfáltico. El INVIAS en su capítulo 4 del Manual de Diseño de Pavimentos de Altos y Medios Volúmenes de

tránsito, afirma que si la temperatura media anual promedio (TMAP) supera los 30°C, se deben emplear asfaltos modificados con polímeros que tengan muy baja susceptibilidad térmica para la fabricación de concreto asfáltico. Otro factor climático que afecta el comportamiento de los pavimentos son las fuertes precipitaciones, por ser Itagüí un Municipio donde su cuenca hidrográfica es muy extensa, estas precipitaciones generan láminas de agua, las cuales en algunos sectores no se drenan adecuadamente por los sumideros y demás obras de drenaje construidas para este propósito, como también por las bajas pendientes de las vías en algunos sectores, por lo cual dicha agua termina por filtrarse hacia la estructura del pavimento, acelerando su deterioro.

7.1.3 Capacidad de soporte de la subrasante

Las condiciones de capacidad de soporte de los suelos de Itagüí no son muy favorables, y esto se debe a los depósitos de arcilla, llenos de picos dispersos en gran parte del área del Municipio. En algunas investigaciones de los suelos, se han encontrado que estos oscilan principalmente entre 2 y 4% del ensayo de CBR, y en muchas ocasiones en suelos que tienen un CBR por debajo del 2%, que los clasifica en suelos con bajas condiciones portantes y que se necesitan de grandes espesores de estructura para que esta absorba las cargas y no deforme a la subrasante del pavimento.

7.1.4 Calidad de los materiales de los pavimentos existentes

Otra dificultad en el desempeño de los pavimentos de Itagüí que se ha encontrado es la calidad de la Subbase y base granular, en donde estas no cumplen con la granulometría especificada por el INVIAS encontrando en varios sectores bases granulares con sobre tamaños de agregados y los cuales en su gran mayoría son de tipo canto rodado, lo que afecta aún más el desempeño requerido para que la malla vial de Itagüí se mantenga en buen estado.

7.2 Análisis técnico de las mezclas evaluadas

Como se pudo observar en el Numeral 5.10.2.3, el desempeño de las mezclas asfálticas está determinada por dos factores, la deformación y la deflexión. La primera hace referencia al comportamiento de la mezcla asfáltica a una temperatura de servicio, en donde a un número repetitivo de ciclos, la mezcla asfáltica se va deformando y recuperando, hasta el punto en que la mezcla asfáltica va perdiendo la capacidad de recuperarse, factores que inciden en el ahuellamiento de la carpeta asfáltica en servicio. En el ensayo de deformación plástica se obtuvieron los siguientes datos:

- Para mezclas asfálticas MDC-2 convencional valor de deformación plástica promedio de $V_{105/120} = 6,3 \mu\text{m}/\text{min}$.
- Para mezclas asfálticas MDC-2 con polímero Tipo III valor de deformación plástica promedio de $V_{105/120} = 1,0 \mu\text{m}/\text{min}$.

De lo anterior se puede inferir que la mezcla asfáltica con polímero se deforma 6 veces menos que una convencional, lo que le permite tener una capacidad más alta de desempeño por susceptibilidad al ahuellamiento, comportamiento que beneficia el desempeño del pavimento en altas condiciones de temperatura en donde se ha observado que en Itagüí, la carpeta asfáltica se deforma por los pasos repetidos de carga y por el frenado brusco de los vehículos especialmente los buses de transporte público.

En cuanto al comportamiento de las mezclas por Ley de fatiga, según los datos relacionados en el numeral 5.10.2.2, se obtiene los siguientes resultados:

- Para mezclas asfálticas MDC-2 convencional el valor del número de ciclos para una deformación unitaria de 115 Strain ($\mu\epsilon$) es de 86.465 ciclos de repetición de carga, aplicando un esfuerzo controlado de 300 KPa, y obteniendo un módulo dinámico a esfuerzo controlado de 5.365 MPa.
- Para mezclas asfálticas MDC-2 con polímero Tipo III el valor del número de ciclos para una deformación unitaria de 115 Strain ($\mu\epsilon$) es de 600.000 ciclos de repetición de carga, aplicando un esfuerzo controlado de 200 KPa, y obteniendo un módulo dinámico a esfuerzo controlado de 3.578,5 MPa.

Según los datos obtenidos, teniendo en cuenta la misma deformación unitaria de 115 Strain ($\mu\epsilon$), la mezcla asfáltica modificada con polímero Tipo III ofrece mayores condiciones de resistencia por fatiga, debido a que soporta mayor número de ciclos en referencia con una mezcla asfáltica convencional. En la gráfica 16 se puede observar el comportamiento de las dos mezclas:

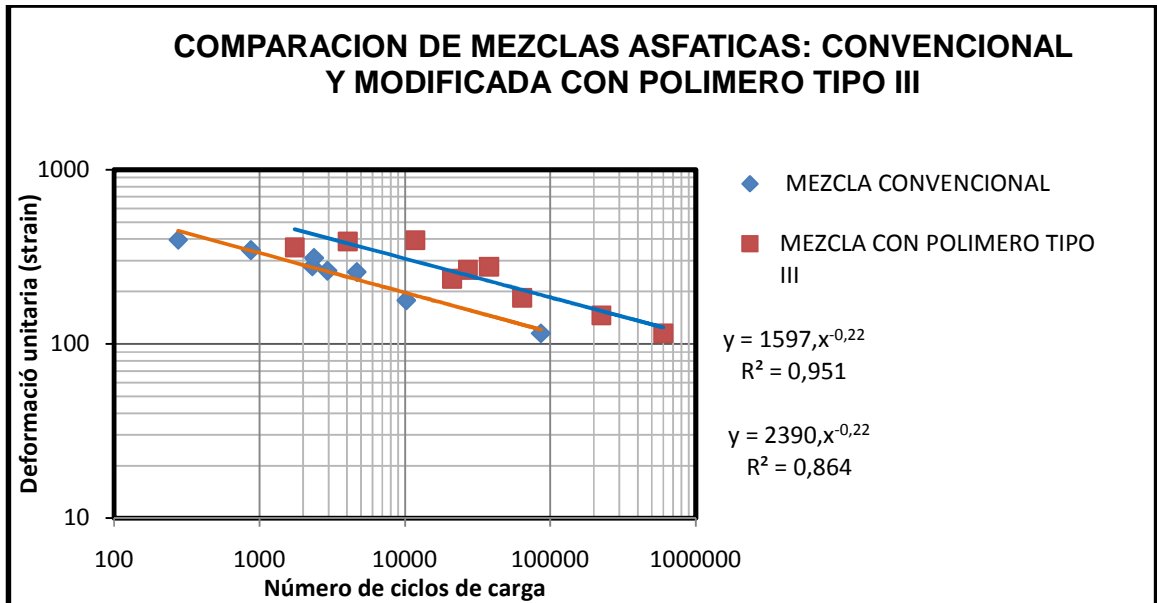


Figura 15. Comparación del comportamiento de las mezclas asfálticas: convencional y modificada con polímero Tipo III.
Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación 7 (Laboratorio Corasfaltos S.A.) del numeral 5.10.2.2 para ley de fatiga:

$$\text{Log}(Y) = a.\text{Log}(X) + b$$

Dónde:

Y= STRAIN ($\mu\epsilon$)

X= NUMERO DE CICLOS DE FALLA = N

Reemplazando las Constantes en la ecuación de ley de fatiga mezcla asfáltica MDC-2 convencional de la Tabla 42, y aplicando los ciclos que se requieren ecuación 7 para el proyecto se tiene que:

$$\text{Log}(Y) = a.\text{Log}(X) + b, \text{ entonces } \text{Log}(Y) = -0,2272 \times \text{Log}(11.900.000) + 0,9513$$

Entonces resolviendo se obtiene que **Y = 39,44 $\mu\epsilon$**

De igual manera se realiza el procedimiento reemplazando las Constantes en la ecuación de ley de fatiga mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero tipo III de la Tabla 43, y aplicando los ciclos que se requieren para el proyecto, de la ecuación 7 se tiene que:

$$\text{Log}(Y) = a.\text{Log}(X) + b, \text{ entonces } \text{Log}(Y) = -0,2158 \times \text{Log}(11.900.000) + 0,9490$$

Entonces resolviendo se obtiene que **Y = 53,47 $\mu\epsilon$**

De lo anterior se puede deducir que la relación de deformación unitaria entre los dos tipos mezclas se obtiene un incremento del 35,5%, lo que indica que según los datos obtenidos en el laboratorio y los cálculos la mezcla asfáltica con polímeros ofrece una resistencia a la fatiga de 35,5% más que una mezcla convencional.

7.3 Alternativas de diseño empleando mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III.

Partiendo de la base que para la estructura de pavimento se tenía planteado el empleo de MDC-2 convencional como carpeta de rodadura, esta investigación propone el empleo de MDC-2 modificada con polímero Tipo III cambiando la carpeta de rodadura como alternativa 1 utilizando el mismo espesor de 10 cm, y como alternativa 2 reduciendo el espesor a 6 cm, para verificar el comportamiento técnico de la mezcla y realizar el análisis de beneficio costo, tanto para el costo inicial de la construcción como para un periodo de mantenimiento de 20 años.

La alternativa de diseño con MDC-2 convencional plateaba la siguiente estructura de pavimento:

Diseño estructura con mezcla asfáltica convencional (Diseño 2)

Carpeta asfáltica MDC – 2	10,0 cm
Base asfáltica	15,0 cm
Base granular nueva	30,0 cm
Sub-base granular	25,0 cm

Como se mencionaba anteriormente se propone realizar el cambio de la capa de rodadura con MDC-2 modificada con polímero Tipo III, conservando el mismo espesor de 10 cm, por lo cual el módulo de la mezcla asfáltica a 25°C y con frecuencia de 10 Hertz (Datos tomados de los ensayos de laboratorio recopilados) sería de 2.463 MPa, que equivale a 357.135 PSI, por lo tanto se entra a la siguiente curva para determinar el coeficiente estructural de esta capa de pavimento.

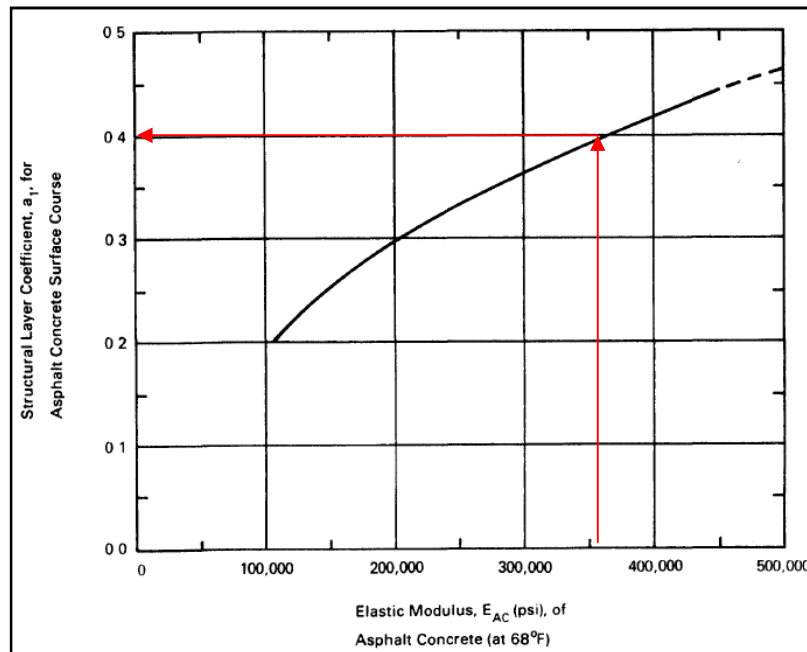


Figura 16. Gráfica para la determinación del coeficiente estructural “a1” a partir del Módulo de Elasticidad. Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures (1993).

Diseño 3

De acuerdo a la gráfica anterior para el módulo de la mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero, se obtiene un coeficiente estructural de 0.4, y tomando los mismos datos del diseño, se obtiene:

- Carpeta asfáltica:

$E_{\text{concreto asfáltico MDC-2 Tipo III}} = 357.135 \text{ psi}$

$a_1 = 0,40$

- Base asfáltica nueva

$E_{\text{base asfáltica}} = 113.000 \text{ psi}$

$a_2 = 0,20$

- Base granular nueva

CBR = 80%

$E_{\text{base}} = 30.000 \text{ psi}$

$a_3 = 0,14$ (AASHTO 1993)

- Sub-Base granular

$E_{\text{subbase granular}} = 15.000 \text{ psi}$

$A_3 = 0,12$

- CBR de la subrasante 4,22% (promedio aritmético de los sondeos S-5, S-6, S-7, S-9 y S-10)

- Módulo resiliente de la subrasante es de 6330 psi (1500*CBR)
- $N = 11,9 \times 10^6$ Ejes equivalentes de 80 Toneladas
- Se obtiene un número estructural a garantizar sobre la subrasante $SN = 5,00$ ($\log_{10}N = 7,08$)

Con los mismos espesores y parámetros de diseño planteados por el Diseñador Laboratorio Suelos y Pavimentos, se cambia únicamente el coeficiente de capa de la carpeta asfáltica manteniendo el mismo espesor, por lo que se obtiene:

Tabla 50. Verificación espesores de capas estructurales del diseño 3.

Alternativa	Diseño 3	Aporte
Carp. Asfáltica MDC-2 Tipo III 10x 0,40/2,54 =	1,57	de aporte estructural
Base asfáltica 15x 0,20/2,54 =	1,18	de aporte estructural
Base granular 25x 0,14/2,54 =	1,65	de aporte estructural
Sub-base granular 30x 0,12/2,54 =	1,18	de aporte estructural
Total aporte estructural	5,68	satisfacen el SN 5,00

Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido de aporte estructural $SN = 5,68$ refleja una estructura con mayor resistencia de repeticiones de carga, por lo cual se puede calcular el Número de ejes equivalentes que soporta la estructura, a partir de la ecuación 8 (AASHTO guide for design of pavement structures. (1993)):

Ecuación 8.

$$\log_{10} N = Z_R S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \left[\frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \log_{10}(Mr) - 8.07$$

Con los parámetros dados por el diseño dado por el diseñador, y con el $SN = 5.68$, se obtiene:

$\log_{10}N = 7.50$, entonces $N = 31.500.000$ ejes equivalentes

Con el número de ejes equivalentes obtenidos es posible estimar el nuevo periodo de diseño de la estructura partir de la ecuación 9 (Contrato de Consultoría SI-380-2012), la cual fue utilizada por el consultor para encontrar la proyección del Número de ejes simples equivalentes para un periodo de diseño de 10 años:

Ecuación 9.

$$N = NESE_{camión} \times \left(\frac{(1+i_{camión})^n - 1}{i_{camión}} \right) + NESE_{bus} \times \left(\frac{(1+i_{bus})^n - 1}{i_{bus}} \right)$$

Donde:

$NESE_{camión}$: Número de ejes sencillos equivalentes para camiones (471.966).

$i_{camión}$: Porcentaje de crecimiento anual de camiones (2,5%).

$NESE_{bus}$: Número de ejes sencillos equivalentes para buses (632.011).

i_{bus} : Porcentaje de crecimiento anual de buses (1%).

n: Periodo de diseño en años.

Los datos se tomaron de los cálculos del NESE y estimaciones de crecimiento del tránsito realizados por el consultor, por lo tanto reemplazando estos valores para un periodo de diseño de 10 años el tránsito proyectado en ejes equivalentes "N" de 8,2 Toneladas es de 11.900.000, ahora con la ayuda de una hoja de cálculo se puede estimar el periodo de diseño "n" para un tránsito calculado "N" de 31.500.000, en el cual se obtiene un valor de n = 23,5 años, por lo que según los cálculos el cambiar el tipo de carpeta de rodadura se incrementa la vida útil del pavimento a más del doble de lo estimado, lo que resulta altamente beneficioso para un proyecto vial.

Diseño 4

Alternativa utilizando MDC-2 modificada con polímero Tipo III como carpeta asfáltica, reduciendo el espesor de carpeta a 6 centímetros para que cumpla con el Numero estructural requerido para un tránsito de 11.900.000 de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 años.

Tabla 51. Verificación de espesores en capas estructurales del diseño 4.

Alternativa	Diseño 4	Aporte
Carp. Asfáltica MDC-2 Tipo III 6 x 0,40/2,54 =	0,95	de aporte estructural
Base asfáltica 15 x 0,20/2,54 =	1,18	de aporte estructural
Base granular 25 x 0,14/2,54 =	1,65	de aporte estructural
Sub-base granular 30 x 0,12/2,54 =	1,18	de aporte estructural
Total aporte estructural	5,06	satisfacen el SN 5,00

Fuente: Elaboración propia.

7.4 Análisis de beneficio / costo de las alternativas de diseño.

7.4.1 Análisis de costos de ciclo de vida.

El análisis de costos durante el ciclo de vida (ACCV) es una herramienta metodológica que facilita a la institución vial escoger la estrategia técnica económica que proveerá el comportamiento deseado del pavimento al menor costo en el período bajo estudio. Para cada estrategia técnica se consideran los costos de rehabilitación y de mantenimiento y los costos para los usuarios. Esto permite realizar la comparación económica de las diferentes estrategias factibles, evaluadas a lo largo del mismo lapso de análisis. Una estrategia factible es aquella que cumple las necesidades técnicas del proyecto y se ajusta a las restricciones de toda índole que la pueden afectar. El ACCV es una herramienta en el proceso de decisión, pero no determina la decisión. Aspectos tales como las restricciones presupuestales y ambientales, el concepto de la comunidad y el buen juicio ingenieril, también deberán ser considerados en el momento de elegir la mejor estrategia para un proyecto en particular. (VIAS, 2008)

7.4.2 Período de análisis.

Para el estudio económico de los pavimentos conviene distinguir entre varios períodos: (i) de diseño, (ii) de vida útil y (iii) de análisis. El período de diseño es aquel lapso para el cual fue diseñado el pavimento, es decir, el tiempo en años que se supone que resistirá las cargas estimadas que pasarán por él. El período de vida útil es el lapso en años que realmente resiste el pavimento las cargas efectivas que circularán por él. El período de análisis es aquel lapso, medido en años, que va desde la puesta en servicio del pavimento hasta el momento en que el evaluador quiere realizar su análisis. Por lo tanto, el período de análisis puede ser mayor o menor que el período de diseño. En un proyecto de rehabilitación de pavimentos, el período de análisis se utiliza para la evaluación de las estrategias de intervención a largo plazo. Lo recomendable es que su duración exceda el período de diseño de las obras de rehabilitación, de manera que se incluya al menos otra intervención de este tipo en el futuro. En países como Colombia, donde se tienen incertidumbres en relación con la evolución del deterioro de los pavimentos asfálticos de carreteras y con el incremento del tránsito, son recomendables períodos de análisis entre 20 años y 30 años para la evaluación económica de los proyectos de rehabilitación de pavimentos, considerando el período mayor para aquellas vías con mayores volúmenes de tránsito. (VIAS, 2008)

Con los datos obtenidos de laboratorio, y planteamientos de diseño, tomando 3 alternativas las cuales son:

- Alternativa 1: Diseño de Laboratorio Suelos y Pavimentos (Diseño 2), utilizando MDC-2 convencional.

- Alternativa 2: Cambiar la carpeta de rodadura utilizando MDC-2 modificada con polímero tipo III, conservando el espesor de diseño de 10 cm (Diseño 3).
- Alternativa 3: Cambiar la carpeta de rodadura utilizando MDC-2 modificada con polímero tipo III, reduciendo el espesor de diseño a 6 cm (Diseño 4).

De acuerdo al planteamiento de estas tres alternativas se realiza el análisis del beneficio costo del proyecto tanto en su etapa de construcción como también para la etapa de mantenimiento, planteando un ciclo de vida del pavimento de 20 años.

A continuación se presenta el análisis de cada una de las alternativas estudiadas.

7.4.2.1 Alternativa 1: costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 convencional y proyección de costos de mantenimiento a 20 años.

Datos del proyecto:

Ciclo de vida: 20 años

Periodo de diseño: 10 años

Ancho de vía: 6,80 metros

Longitud: 2000 metros

Inflación estimada para cada año: 2,43% (Dato de inflación del año 2013)

Con los datos del proyecto y los valores de construcción actualizados de los ítems más representativos, se procede a calcular los costos de rehabilitación y mantenimiento del proyecto, y se calcula el valor final del proyecto a 20 años a Valor Presente Neto (VPN). El análisis de la información se presenta de las tablas 52 a 57.

Tabla 52. Costos de rehabilitación de la Avenida Santa María con mezcla asfáltica MDC-2 convencional.

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario*	Vr. Total (año 0)
Rehabilitación				
Fresado de pavimento	M3	0,1	87,4	118.908
Excavaciones	M3	0,7	9,7	92.515
Carpeta MDC-2	M3	0,1	774,4	1.053.136
Riego de liga	M2	1	2,7	36.965
Base asfáltica MDC-1	M3	0,15	761,4	1.553.185
Imprimación	M2	1	3,6	49.096
Base Granular	M3	0,3	136,4	556.324
Subbase	M3	0,25	131,2	445.961

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 convencional (Parte 1).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Vr. Total (año 0)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mantenimiento									
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4						27,2
Sello de fisuras	ML	1	16,3				80	100	130
Riego de liga	M2	1	2,7						272
Mezcla para bacheo	M3	0,1	859,4						27,2
Fresado	M3	0,06	87,4						
Recarpeteo	M3	0,06	774,4						
Valores de mantenimiento									
Demolición pavimento					64,9	66,5	68,1	69,7	71,4
Sello de fisuras					16,7	17,1	17,5	17,9	18,3
Riego de liga					2,8	2,9	2,9	3,0	3,1
Parcheo					880,3	901,7	923,6	946,1	969,1
Fresado					89,6	91,7	94,0	96,2	98,6
Recarpeteo					793,2	812,5	832,2	852,4	873,1
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto									
Demolición pavimento					0,0	0,0	0,0	0,0	1.942,9
Sello de fisuras					0,0	0,0	1.397,8	1.789,7	2.383,1
Riego de liga					0,0	0,0	0,0	0,0	833,6
Parcheo					0,0	0,0	0,0	0,0	26.358,7
Fresado					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				3.906.090	0	0	1.398	1.790	31.518
VALORES ACUMULADOS				3.906.090	3.906.090	3.906.090	3.907.488	3.909.277	3.940.796

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 convencional (Parte 2).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4		136	95,2	68	
Sello de fisuras	ML	1	16,3			90	140	
Riego de liga	M2	1	2,7		1360	952	680	8160
Mezcla para bacheo	M3	0,1	859,4		136	95,2	68	
Fresado	M3	0,06	87,4					489,6
Recarpeteo	M3	0,06	774,4					489,6
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				73,2	74,9	76,8	78,6	80,5
Sello de fisuras				18,8	19,2	19,7	20,2	20,7
Riego de liga				3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Parcheo				992,6	1.016,7	1.041,4	1.066,8	1.092,7
Fresado				101,0	103,4	105,9	108,5	111,2
Recarpeteo				894,4	916,1	938,3	961,1	984,5
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	10.192,4	7.308,0	5.346,9	0,0
Sello de fisuras				0,0	0,0	1.773,1	2.825,1	0,0
Riego de liga				0,0	4.373,0	3.135,5	2.294,1	28.197,5
Parcheo				0,0	138.276,3	99.145,5	72.539,1	0,0
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	54.423,1
Recarpeteo				0,0	0,0	0,0	0,0	482.013,1
SUBTOTALES				0	152.842	111.362	83.005	564.634
VALORES ACUMULADOS				3.940.796	4.093.637	4.204.999	4.288.005	4.852.638

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 convencional (Parte 3).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4					81,6
Sello de fisuras	ML	1	16,3			60	90	150
Riego de liga	M2	1	2,7					544
Mezcla para bacheo	M3	0,1	859,4					54,4
Fresado	M3	0,06	87,4					
Recarpeteo	M3	0,06	774,4					
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				82,5	84,5	86,6	88,7	90,8
Sello de fisuras				21,2	21,7	22,2	22,8	23,3
Riego de liga				3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
Parcheo				1.119,2	1.146,4	1.174,3	1.202,8	1.232,0
Fresado				113,9	116,6	119,5	122,4	125,3
Recarpeteo				1.008,4	1.032,9	1.058,0	1.083,7	1.110,1
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	0,0	0,0	0,0	7.410,4
Sello de fisuras				0,0	0,0	1.332,8	2.047,8	3.496,0
Riego de liga				0,0	0,0	0,0	0,0	2.119,6
Parcheo				0,0	0,0	0,0	0,0	67.023,2
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				0	0	1.333	2.048	80.049
VALORES ACUMULADOS				4.852.638	4.852.638	4.853.971	4.856.019	4.936.068

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 convencional (Parte 4).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4	142,8	204	285,6	81,6	
Sello de fisuras	ML	1	16,3					
Riego de liga	M2	1	2,7	952	1360	1904	816	8160
Mezcla para bacheo	M3	0,1	859,4	95,2	136	190,4	81,6	
Fresado	M3	0,06	87,4					489,6
Recarpeteo	M3	0,06	774,4					489,6
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				93,0	95,3	97,6	100,0	102,4
Sello de fisuras				23,9	24,5	25,0	25,7	26,3
Riego de liga				4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
Parcheo				1.262,0	1.292,6	1.324,1	1.356,2	1.389,2
Fresado				128,4	131,5	134,7	138,0	141,3
Recarpeteo				1.137,1	1.164,7	1.193,0	1.222,0	1.251,7
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				13.283,4	19.437,4	27.873,7	8.157,4	0,0
Sello de fisuras				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Riego de liga				3.799,5	5.559,7	7.972,7	3.499,9	35.849,5
Parcheo				120.140,7	175.800,2	252.101,0	110.668,8	0,0
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	69.191,9
Recarpeteo				0,0	0,0	0,0	0,0	612.816,7
SUBTOTALES				137.224	200.797	287.947	122.326	717.858
VALORES ACUMULADOS				5.073.292	5.274.089	5.562.037	5.684.363	6.402.221

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Resumen Costos de rehabilitación y mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 convencional.

VALOR TOTAL DE LA REHABILITACION *	\$ 3.906.090
VALOR TOTAL DEL MANTENIMIENTO *	\$ 2.496.131
VALOR TOTAL DE REHABILITACION Y MANTENIMIENTO *	\$ 6.402.221

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia.

En el mantenimiento del pavimento flexible se programa realizarle un sello de grietas a partir del 3 año de funcionamiento, a partir del año 5 se programa realizarle al pavimento labores de parcheo, en el año 10 se programa realizarle al pavimento trabajos de fresado de 6 cm en un 60% e instalación de una nueva carpeta asfáltica de 6 cm para recuperar las condiciones iniciales de la superficie del pavimento. Desde el año 13 se programan nuevamente labores de sello de grietas, a partir del año 15 se programan labores de parcheo hasta el año 19. En el año 20 se programa el fresado y el recarpeteo de la vía.

Cálculo de los costos del proyecto con tasa de oportunidad del 5%

VPN (mmtto)= \$ 2.377.267 valor presente neto mantenimiento.

VPN (Const. Y mmtto) = \$ 6.283.357 valor presente neto rehabilitación y mantenimiento.

A la fecha el ciclo de vida del proyecto a 20 años con la rehabilitación y el posterior mantenimiento, este costaría \$ 6.283.357.000.

7.4.2.2 Alternativa 2: Costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 modificada con polímero tipo III y proyección de costo de mantenimiento a 20 años.

Se toman los mismos datos del proyecto de la alternativa 1 para el cálculo de valores de rehabilitación y mantenimiento. El análisis de la información se presenta de las tablas 58 a 63.

Tabla 58. Costos de rehabilitación de la Avenida Santa María con mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III.

ITEM	Und	Cantidad	Valor. Unitario	Vr. Total (año 0) *
Rehabilitación				
Excavaciones	M3	0,7	9,7	92.515,4
Carpeta MDC-2 T(III)	M3	0,1	965,5	1.313.032,4
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2	44.036,8
Base asfáltica MDC-1	M3	0,15	761,4	1.553.184,6

ITEM	Und	Cantidad	Valor. Unitario	Vr. Total (año 0) *
Imprimación	M2	1	3,6	49.096,0
Base Granular	M3	0,3	136,4	556.324,3
Subbase	M3	0,25	131,2	445.961,0

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 Tipo III (Parte 1).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Vr. Total (año 0)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mantenimiento									
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4						
Sello de fisuras	ML	1	16,3						80
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2						
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,1	1.050,5						
Fresado	M3	0,06	87,4						
Recarpeteo MDC-2 T(III)	M3	0,06	965,5						
Valores de mantenimiento									
Demolición pavimento					64,9	66,5	68,1	69,7	71,4
Sello de fisuras					16,7	17,1	17,5	17,9	18,3
Riego de liga con polímero					3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
Parcheo con MDC-2 Tipo III					1.076,1	1.102,2	1.129,0	1.156,4	1.184,5
Fresado					89,6	91,7	94,0	96,2	98,6
Recarpeteo MDC-2 T(III)					988,9	1.013,0	1.037,6	1.062,8	1.088,6
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto									
Demolición pavimento					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sello de fisuras					0,0	0,0	0,0	0,0	1.466,5
Riego de liga con polímero					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Parcheo con MDC-2 Tipo III					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fresado					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo MDC-2 T(III)					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				4.054.150	0	0	0	0	1.467
VALORES ACUMULADOS				4.054.150	4.054.150	4.054.150	4.054.150	4.054.150	4.055.617

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 Tipo III (Parte 2).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4		27,2		136	95,2
Sello de fisuras	ML	1	16,3	100	130			90
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2		272		1360	952
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,1	1.050,5		27,2		136	95,2
Fresado	M3	0,06	87,4					
Recarpeteo MDC-2 T(III)	M3	0,06	965,5					
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				73,2	74,9	76,8	78,6	80,5
Sello de fisuras				18,8	19,2	19,7	20,2	20,7
Riego de liga con polímero				3,7	3,8	3,9	4,0	4,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.213,3	1.242,8	1.273,0	1.303,9	1.335,6
Fresado				101,0	103,4	105,9	108,5	111,2
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.115,1	1.142,2	1.169,9	1.198,3	1.227,5
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	2.038,5	0,0	10.693,8	7.667,5
Sello de fisuras				1.877,7	2.500,3	0,0	0,0	1.860,3
Riego de liga con polímero				0,0	1.041,9	0,0	5.465,9	3.919,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				0,0	33.804,5	0,0	177.336,7	127.152,2
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				1.878	39.385	0	193.496	140.599
VALORES ACUMULADOS				4.057.495	4.096.880	4.096.880	4.290.376	4.430.975

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 Tipo III (Parte 3).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4					
Sello de fisuras	ML	1	16,3	140				
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2		8160			
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,1	1.050,5					
Fresado	M3	0,06	87,4		489,6			
Recarpeteo MDC-2 T(III)	M3	0,06	965,5		489,6			
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				82,5	84,5	86,6	88,7	90,8
Sello de fisuras				21,2	21,7	22,2	22,8	23,3
Riego de liga con polímero				4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.368,1	1.401,3	1.435,4	1.470,3	1.506,0
Fresado				113,9	116,6	119,5	122,4	125,3
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.257,3	1.287,8	1.319,1	1.351,2	1.384,0
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sello de fisuras				2.964,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Riego de liga con polímero				0,0	35.244,6	0,0	0,0	0,0
Parcheo con MDC-2 Tipo III				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fresado				0,0	57.100,2	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	630.527,5	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				2.964	722.872	0	0	0
VALORES ACUMULADOS				4.433.939	5.156.812	5.156.812	5.156.812	5.156.812

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Costos de mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 Tipo III Parte 4.

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4			81,6	136	
Sello de fisuras	ML	1	16,3	60	90	150		
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2			816	1360	5440
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,1	1.050,5			81,6	136	
Fresado	M3	0,06	87,4					326,4
Recarpeteo MDC-2 T(III)	M3	0,06	965,5					326,4
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				93,0	95,3	97,6	100,0	102,4
Sello de fisuras				23,9	24,5	25,0	25,7	26,3
Riego de liga con polímero				4,8	4,9	5,0	5,1	5,2
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.542,6	1.580,1	1.618,5	1.657,8	1.698,1
Fresado				128,4	131,5	134,7	138,0	141,3
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.417,7	1.452,1	1.487,4	1.523,5	1.560,6
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	0,0	7.963,9	13.595,7	0,0
Sello de fisuras				1.432,4	2.200,8	3.757,1	0,0	0,0
Riego de liga con polímero				0,0	0,0	4.070,6	6.949,2	28.472,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				0,0	0,0	132.067,0	225.460,4	0,0
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	46.127,9
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	0,0	0,0	0,0	509.366,2
SUBTOTALES				1.432	2.201	147.859	246.005	583.966
VALORES ACUMULADOS				5.158.244	5.160.445	5.308.303	5.554.309	6.138.275

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Resumen Costos de rehabilitación y mantenimiento Avenida Santa María con MDC-2 Tipo III.

VALOR TOTAL DE LA REHABILITACION *	\$ 4.054.150
VALOR TOTAL DEL MANTENIMIENTO *	\$ 2.084.124
VALOR TOTAL DE REHABILITACION Y MANTENIMIENTO *	\$ 6.138.275

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia.

En el mantenimiento del pavimento flexible con carpeta de rodadura con MDC-2 modificada con polímero Tipo III se programa realizarle un sello de grietas a partir del 5 año de funcionamiento, a partir del año 7 se programa realizarle al pavimento labores de parcheo, en el año 12 se programa realizarle al pavimento trabajos de fresado de 6 cm en un 60% e instalación de una nueva carpeta asfáltica de 6 cm para recuperar las condiciones iniciales de la superficie del pavimento. Desde el año 16 se programan nuevamente labores de sello de grietas, a partir del año 18 se programan labores de parcheo hasta el año 19. En el año 20 se programa el fresado y el recarpeteo de la vía en un 40% del área de la vía debido a que aún el pavimento cuenta con un periodo remanente de vida de 4 años desde su último fresado y recarpeteo, que fue el año 12. De acuerdo a los laboratorios y a la literatura acerca del tema con las mismas condiciones de Rehabilitación y cambiando la carpeta de rodadura con el mismo espesor, la capa de rodadura con MDC-2 modificada con polímero Tipo III tiene aproximadamente un 30% más de vida útil que una MDC-2 convencional, de esta afirmación se parte del análisis para el mantenimiento.

Cálculo de los costos del proyecto

TASA DE OPORTUNIDAD: 5%

VPN (mmto)= \$ 1.984.880. Valor Presente Neto Mantenimiento.

VPN (Const. Y mmto) =. Valor Presente Neto Rehabilitación y Mantenimiento.

A la fecha el ciclo de vida del proyecto a 20 años con la rehabilitación y el posterior mantenimiento, este costaría \$6.039.031.000.

7.4.2.3 Alternativa 3: Costos de rehabilitación de pavimento flexible con MDC-2 modificada con polímero tipo III y proyección de costo de mantenimiento a 20 años, modificando el espesor de la carpeta de rodadura.

Se toman los mismos datos del proyecto de la alternativa 1 para el cálculo de valores de rehabilitación y mantenimiento, solamente se modifica el espesor de la carpeta de rodadura a 6 cm, de acuerdo al rediseño del proyecto que se realizó en el numeral 7.4.2 (Diseño 4). El análisis de la información se presenta de las tablas 64 a 69.

Tabla 64. Costos de rehabilitación de la Avenida Santa María con mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III, cambiando el espesor de carpeta a 6 cm.

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Vr. Total (año 0) *
Rehabilitación				
Excavaciones	M3	0,66	9,7	87.229
Carpeta MDC-2 T(III)	M3	0,06	965,5	787.819
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2	44.037
Base asfáltica MDC-1	M3	0,15	761,4	1.553.185
Imprimación	M2	1	3,6	49.096
Base Granular	M3	0,3	136,4	556.324
Subbase	M3	0,25	131,2	445.961

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Costos de mantenimiento Avenida Santa María MDC-2 Tipo III Rediseño 6 cm (Parte 1).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Vr. Total (año 0)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mantenimiento									
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4						16,32
Sello de fisuras	ML	1	16,3				50	80	130
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2						272
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,06	1.050,5						16,32
Fresado	M3	0,06	87,4						
Recarpeteo	M3	0,06	965,5						
Valores de mantenimiento									
Demolición pavimento					64,9	66,5	68,1	69,7	71,4
Sello de fisuras					16,7	17,1	17,5	17,9	18,3
Riego de liga con polímero					3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
Parcheo con MDC-2 Tipo III					1.076,1	1.102,2	1.129,0	1.156,4	1.184,5
Fresado					89,6	91,7	94,0	96,2	98,6
Recarpeteo MDC-2 T(III)					988,9	1.013,0	1.037,6	1.062,8	1.088,6
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto									
Demolición pavimento					0,0	0,0	0,0	0,0	1.165,7
Sello de fisuras					0,0	0,0	873,6	1.431,7	2.383,1
Riego de liga con polímero					0,0	0,0	0,0	0,0	993,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III					0,0	0,0	0,0	0,0	19.331,7
Fresado					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo MDC-2 T(III)					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				3.523.651	0	0	874	1.432	23.874
VALORES ACUMULADOS				3.523.651	3.523.651	3.523.651	3.524.525	3.525.956	3.549.830

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. Costos de mantenimiento Avenida Santa María MDC-2 Tipo III Rediseño 6 cm (Parte 2).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4		81,6	57,12	40,8	
Sello de fisuras	ML	1	16,3			90	140	
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2		1360	952	680	8160
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,06	1.050,5		81,6	57,12	40,8	
Fresado	M3	0,06	87,4					489,6
Recarpeteo	M3	0,06	965,5					489,6
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				73,2	74,9	76,8	78,6	80,5
Sello de fisuras				18,8	19,2	19,7	20,2	20,7
Riego de liga con polímero				3,7	3,8	3,9	4,0	4,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.213,3	1.242,8	1.273,0	1.303,9	1.335,6
Fresado				101,0	103,4	105,9	108,5	111,2
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.115,1	1.142,2	1.169,9	1.198,3	1.227,5
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	6.115,4	4.384,8	3.208,1	0,0
Sello de fisuras				0,0	0,0	1.773,1	2.825,1	0,0
Riego de liga con polímero				0,0	5.209,6	3.735,3	2.732,9	33.592,2
Parcheo con MDC-2 Tipo III				0,0	101.413,4	72.714,4	53.201,0	0,0
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	54.423,1
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	0,0	0,0	0,0	600.965,7
SUBTOTALES				0	112.738	82.608	61.967	688.981
VALORES ACUMULADOS				3.549.830	3.662.568	3.745.176	3.807.143	4.496.124

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67. Costos de mantenimiento Avenida Santa María MDC-2 Tipo III Rediseño 6 cm (Parte 3).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4					32,64
Sello de fisuras	ML	1	16,3			60	90	150
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2					544
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,06	1.050,5					32,64
Fresado	M3	0,06	87,4					
Recarpeteo	M3	0,06	965,5					
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				82,5	84,5	86,6	88,7	90,8
Sello de fisuras				21,2	21,7	22,2	22,8	23,3
Riego de liga con polímero				4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.368,1	1.401,3	1.435,4	1.470,3	1.506,0
Fresado				113,9	116,6	119,5	122,4	125,3
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.257,3	1.287,8	1.319,1	1.351,2	1.384,0
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				0,0	0,0	0,0	0,0	2.964,2
Sello de fisuras				0,0	0,0	1.332,8	2.047,8	3.496,0
Riego de liga con polímero				0,0	0,0	0,0	0,0	2.525,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				0,0	0,0	0,0	0,0	49.155,6
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUBTOTALES				0	0	1.333	2.048	58.141
VALORES ACUMULADOS				4.496.124	4.496.124	4.497.457	4.499.505	4.557.646

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68. Costos de mantenimiento Avenida Santa María MDC-2 Tipo III Rediseño 6 cm (Parte 4).

ITEM	Und	Cantidad	Valor Unitario	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Mantenimiento								
Demolición pavimento	M3	0,1	63,4	57,12	81,6	114,24	16,32	
Sello de fisuras	ML	1	16,3					
Riego de liga con polímero	M2	1	3,2	952	1360	1904	272	8160
Mezcla para bacheo Tipo III	M3	0,06	1.050,5	57,12	81,6	114,24	16,32	
Fresado	M3	0,06	87,4					489,6
Recarpeteo	M3	0,06	965,5					489,6
Valores de mantenimiento								
Demolición pavimento				93,0	95,3	97,6	100,0	102,4
Sello de fisuras				23,9	24,5	25,0	25,7	26,3
Riego de liga con polímero				4,8	4,9	5,0	5,1	5,2
Parcheo con MDC-2 Tipo III				1.542,6	1.580,1	1.618,5	1.657,8	1.698,1
Fresado				128,4	131,5	134,7	138,0	141,3
Recarpeteo MDC-2 T(III)				1.417,7	1.452,1	1.487,4	1.523,5	1.560,6
Costos de Rehabilitación y mantenimiento del proyecto								
Demolición pavimento				5.313,4	7.775,0	11.149,5	1.631,5	0,0
Sello de fisuras				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Riego de liga con polímero				4.526,4	6.623,3	9.498,0	1.389,8	42.708,1
Parcheo con MDC-2 Tipo III				88.112,6	128.933,9	184.893,8	27.055,2	0,0
Fresado				0,0	0,0	0,0	0,0	69.191,9
Recarpeteo MDC-2 T(III)				0,0	0,0	0,0	0,0	764.049,3
SUBTOTALES				97.952	143.332	205.541	30.077	875.949
VALORES ACUMULADOS				4.655.598	4.798.930	5.004.472	5.034.548	5.910.498

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69. Resumen Costos de rehabilitación y mantenimiento Avenida Santa María MDC-2 Tipo III Rediseño 6 cm.

VALOR TOTAL DE LA REHABILITACION *	\$ 3.523.651
VALOR TOTAL DEL MANTENIMIENTO *	\$ 2.386.847
VALOR TOTAL DE REHABILITACION Y MANTENIMIENTO *	\$ 5.910.498

*Valores en miles de pesos

Fuente: Elaboración propia.

En el mantenimiento del pavimento flexible con carpeta de rodadura con MDC-2 modificada con polímero Tipo III se programa realizarle un sello de grietas a partir del 3 año de funcionamiento, a partir del año 5 se programa realizarle al pavimento labores de parcheo, en el año 10 se programa realizarle al pavimento trabajos de fresado de 6 cm en un 60% e instalación de una nueva carpeta asfáltica de 6 cm para recuperar las condiciones iniciales de la superficie del pavimento. Desde el año 13 se programan nuevamente labores de sello de grietas, a partir del año 15 se programan labores de parcheo hasta el año 19. En el año 20 se programa el fresado y el recarpeteo de la vía. Este análisis es el mismo para una carpeta de rodadura con MDC-2 convencional debido a que estos dos diseños cumplen con los mismos requerimientos del número estructural requerido según la AASHTO.

Cálculo de los costos del proyecto

TASA DE OPORTUNIDAD: 5%

VPN (mmto)= \$ 2.273.187. Valor Presente Neto Mantenimiento.

VPN (Const. Y mmto) = \$ 5.796.838. Valor Presente Neto Rehabilitación y Mantenimiento.

A la fecha el ciclo de vida del proyecto a 20 años con la rehabilitación y el posterior mantenimiento, este costaría \$ 5.796.838.000.

Teniendo como referencia los datos obtenidos de rehabilitación y mantenimiento de la Avenida Santa María Costado Oriental, se elabora unos gráficos comparativos de costos tanto en el año inicial de rehabilitación, como también en el periodo posterior de mantenimiento, en el que se visualiza el comportamiento en años de las inversiones que se deben realizarle a la vía, de la tres propuestas de rehabilitación. A continuación en las figuras 17, 18 y 19 se puede observar lo anteriormente descrito.

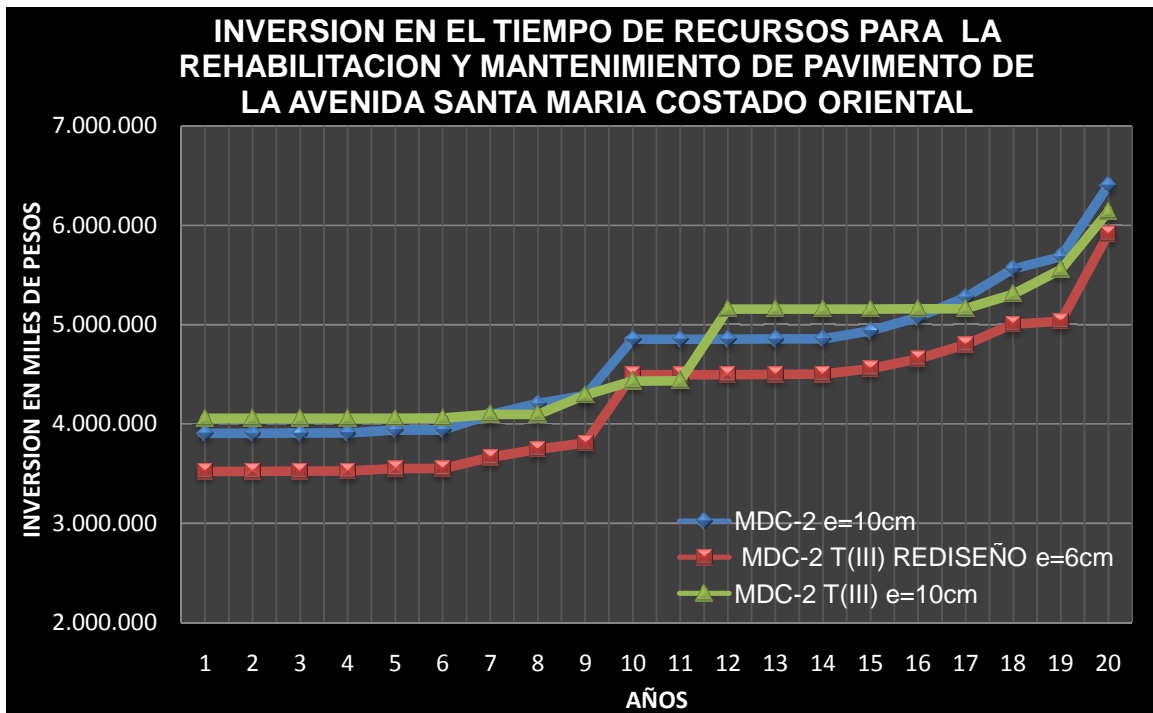


Figura 17. Grafica inversión en el tiempo de recursos para la rehabilitación y mantenimiento de pavimento de la Avenida Santa María Costado Oriental.
Fuente: Elaboración propia.

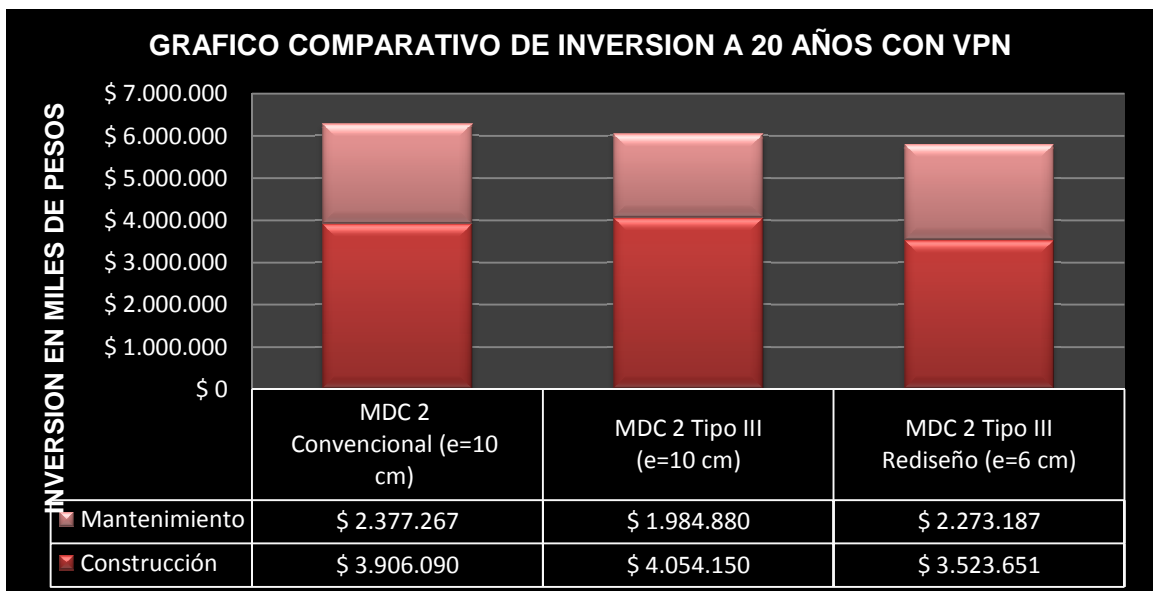


Figura 18. Grafico comparación de inversión a 20 años con Valor Presente Neto (VPN) de las tres alternativas de rehabilitación y mantenimiento de pavimento de la Avenida Santa María Costado Oriental.
Fuente: Elaboración propia.

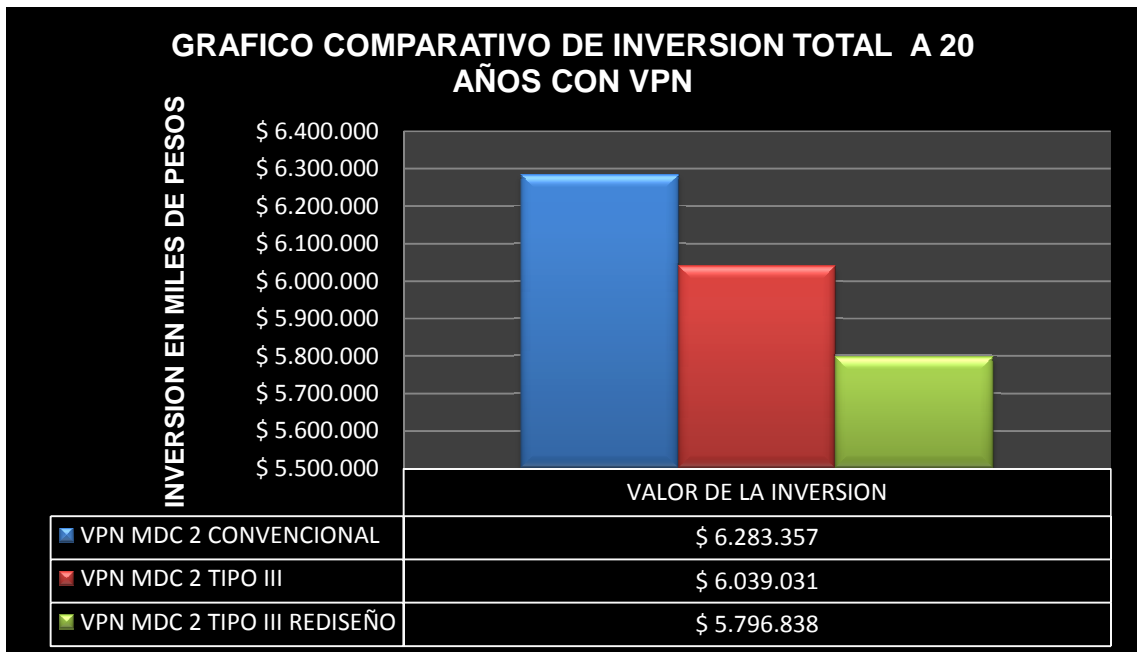


Figura 19. Grafico comparativo de inversión a total 20 años con Valor Presente Neto (VPN) de las tres alternativas de rehabilitación y mantenimiento de pavimento de la Avenida Santa María Costado Oriental.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo que se observa en las tres graficas anteriores se evidencia que como costo inicial y costo final de inversión la mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III con un espesor de 6 cm, de acuerdo al rediseño ofrece mayor beneficio en cuanto a inversión, siendo la alternativa más económica de las tres propuestas. Ahora bien comparando el beneficio de costos entre las dos mezclas asfálticas empleando el mismo espesor de diseño de 10 cm, la mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero Tipo III tiene un mayor costo inicial de inversión, pero como ofrece mayor resistencia a la fatiga, al ahuellamiento y al envejecimiento en un 30% de más aproximadamente que la mezcla convencional, entonces se reducen los costos de mantenimiento alargando su vida útil, siendo una alternativa más económica en comparación con el empleo de la mezcla asfáltica MDC-2 convencional en un periodo de análisis de ciclo de vida del pavimento de 20 años, incrementando la relación beneficio costo para los usuarios de las vías debido a que se reducen los costos de operación de los vehículos, los tiempos de viaje y demoras por trabajos de mantenimiento en la vía.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al realizar la evaluación de las mezclas asfálticas en caliente convencionales y las mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros se encontró que la mezcla más conveniente por los altos volúmenes de vehículos que circulan por las vías principales de Itagüí, especialmente los vehículos de carga por ser un Municipio altamente industrial es la modificada con polímero Tipo III, debido a que ofrece mayor resistencia a la fatiga, al ahuellamiento y al envejecimiento, reduciendo los costos de mantenimiento del pavimento en un ciclo de vida determinado y brindando un mayor valor en la relación beneficio/costo porque se reducirán las intervenciones en las vías y no se afectaran continuamente a los usuarios de las vías por este tipo de actividades, mejorando las condiciones de transitabilidad de las vías principales de Itagüí y la imagen del Municipio haciéndolo más competitivo.
- La mezcla asfáltica convencional tiene un buen comportamiento ante solicitudes de niveles de tránsito bajo y medio, siendo un producto más económico que una mezcla con polímero, de fácil accesibilidad en el mercado de producción de mezclas asfálticas, pero que requiere de más intervalos de intervenciones en un periodo de análisis determinado.
- La mezcla asfáltica modificada con polímeros ofrece mayores ventajas técnicas que la mezcla asfáltica convencional debido a que se incrementa la resistencia a la fatiga, al ahuellamiento y al envejecimiento, por lo que lo convierte en un producto de mayores riquezas técnicas para su empleo especialmente en climas de alta temperatura, pero desafortunadamente en nuestro medio no ha tenido mucha difusión y conocimiento técnico de este producto para que los diseñadores y entidades del estado piensen en emplear esta alternativa como solución a la construcción o rehabilitación de pavimentos, y por lo anterior las plantas productoras de mezclas asfálticas no realizan producción continua de este tipo de mezclas.
- Las fallas más comunes en el tramo estudiado (Avenida Santa María) así como también en varias vías de tráfico pesado del Municipio de Itagüí están asociadas a la repetición de las altas cargas de tránsito que producen efectos de fatiga generalmente reflejadas en fisuras longitudinales, transversales, en bloque y baches localizadas a lo largo de la vía; además del ahuellamiento en las zonas de pases, semáforos y paraderos de buses donde probablemente pudo haber sido por la utilización de asfaltos de alta penetración que hace más susceptible a la deformación de la mezcla.

- En una mezcla que contenga la misma granulometría y el mismo tipo de agregados pétreos, con un mismo contenido de asfalto e igual contenido de vacíos, el asfalto puede influir decisivamente sobre el comportamiento ante las deformaciones plásticas de una mezcla asfáltica en caliente puede ser resistente o no a las deformaciones plásticas en función de las propiedades del ligante asfáltico que se le añade a la mezcla asfáltica.
- Los asfaltos modificados tienen una baja susceptibilidad térmica a la de los convencionales, lo que favorece su buen comportamiento ante las deformaciones plásticas, por ende al ahuellamiento, tal como lo evidencio el ensayo de deformación plástica en donde se evidencia que la mezcla asfáltica modificada con polímero se deforma aproximadamente 6 veces menos que una mezcla convencional, empleando muestras a las cuales se les aplica el mismo número de ciclos.
- La mezcla modificada con polímero, teóricamente se deteriorará en un periodo de tiempo más prolongado que la mezcla convencional, lo anterior se puede afirmar ya que la pendiente para la línea de fatiga de mezcla con polímero es menor que la pendiente de la línea de fatiga de la mezcla convencional.
- De acuerdo con la ley de fatiga, la mezcla asfáltica modificada con polímero tipo III presenta un mejor comportamiento respecto a una mezcla convencional, esto se ve reflejado en la disminución de la carpeta asfáltica para una misma sollicitación de tránsito cuando el pavimento se pone en servicio, debido a que según los ensayos la mezcla modificada con polímero incrementa su resistencia a la fatiga en un 35,5% con respecto a una mezcla convencional.
- En cuanto a la rehabilitación en el año cero la alternativa más económica es utilizar el diseño de la estructura del pavimento con una carpeta de rodadura de 6 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III (\$ 3.523.650.928), lo sigue por un 11% de valor de más (\$ 3.906.090.000) la alternativa de 10 cm con mezcla MDC-2 convencional y por último con un 15% de valor de más (\$ 4.054.150.480) la propuesta de 10 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III.
- El mantenimiento para un ciclo de vida de 20 años de la vía resulta más económico utilizar la propuesta de 10 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III (\$ 2.084.124.462), lo sigue con un 15% de valor de más (\$ 2.386.846.676) el rediseño de la estructura del pavimento con una carpeta de rodadura de 6 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III, y por último con un 20% de valor de más (\$ 2.496.130.768) la alternativa de 10 cm con mezcla MDC-2 convencional.
- Sumando la rehabilitación y el mantenimiento para un ciclo de vida de 20 años de la vía la propuesta más recomendable desde el punto de vista funcional y

económico a Valor Presente Neto es utilizar el rediseño de la estructura del pavimento con una carpeta de rodadura de 6 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III (\$ 5.796.838.238), lo sigue con un 4% de valor de más (\$ 6.039.030.920) la propuesta de 10 cm con MDC-2 modificada con polímero tipo III y por último con un 8% de valor de más (\$ 6.283.357,398) la alternativa de 10 cm con mezcla MDC-2 convencional.

- Las fallas más comunes en el tramo estudiado están asociadas a la repetición de las cargas de tránsito de forma excesiva por el alto flujo de vehículos comerciales que circulan por Itagüí, que producen efectos de fatiga generalmente reflejadas en fisuras longitudinales, transversales y baches localizadas a lo largo de la vía; además del ahuellamiento en las zonas de pases y semáforos donde pudo haber sido por la utilización de asfaltos de alta penetración que hace deformable la mezcla.
- El mayor valor de punto de ablandamiento del asfalto modificado con polímero tipo III genera un mayor intervalo de plasticidad respecto a un asfalto 60/70.
- Se recomienda el uso de MDC-2 modificada con polímero tipo III para carpetas estructurales que posean altos índices de tránsito y elevadas magnitudes de carga.
- Se recomienda el uso de MDC-2 modificada con polímero tipo III para zonas de frenado y en zonas donde requiera una gran resistencia al derrapaje.
- La Ductilidad permite tener mejores propiedades aglomerantes, los asfaltos con una alta ductilidad son susceptibles a los cambios de temperatura, por lo cual el asfalto con polímero al tener una baja Ductibilidad en comparación con un asfalto convencional es menos susceptible a los cambios de temperatura entre el día y la noche.
- El uso de MDC-2 modificada con polímero tipo III no altera los procedimientos normales de extensión, aplicación y compactación de una MDC-2 convencional; así como procedimientos de mantenimiento y rehabilitación.
- El costo adicional de una mezcla MDC-2 modificada con polímero tipo III es de cerca del 20% sobre una mezcla MDC-2 convencional de acuerdo a los precios de mercado pero estos valores se ven compensados desde el año 7 utilizando el mismo espesor de carpeta.
- Si se empleara en la rehabilitación del pavimento una mezcla asfáltica tipo III con espesor de 10 cm, en el año 10 y 11 del periodo de análisis, esta alternativa resulta ser la más económica entre las tres propuestas.

- En el empleo de mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero tipo III se observa como desventaja que en el periodo de análisis por ser una vía de carácter urbano es susceptible de intervenciones de empresas de servicios públicos para realizar nuevas acometidas o reparaciones de redes, y si no se exige la reposición de la carpeta asfáltica con esta misma mezcla asfáltica, puede afectar el desempeño del pavimento.
- La utilización de mezcla asfáltica MDC-2 modificada con polímero tipo III ofrece un gran beneficio al medio ambiente debido a que se alargan los periodos de mantenimiento, por lo tanto se reduce la explotación de materiales de cantera y los materiales de escombros provenientes de la reparación de pavimento, sumado a esto a la reducción de emisiones de gases de maquinaria usada en el mantenimiento de vías.
- Se recomienda promulgar y difundir por parte de las universidades del país en el pregrado de ingeniería civil o de vías, y en los postgrados ligados al tema, y a las entidades del estado encargadas de la red vial de país, las ventajas técnicas de las nuevas tecnologías de asfalto que se están imponiendo a nivel mundial, para que el gremio de la ingeniería conozca y aplique estas tendencias, para mejorar el nivel de servicio de una vía en su ciclo de vida, disminuir las afectaciones al medio ambiente, buscar mayor economía y por ende elevar el beneficio costo de un proyecto de construcción, rehabilitación y mantenimiento vial.

BIBLIOGRAFIA

- VIAS, I. N. (2008). Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras. Bogotá: INVIAS.
- Reyes Lizcano, F. A. (2009). Diseño racional de pavimentos. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería.
- VIAS, I. N. (2007). Manual de diseño de pavimentos de altos y medios volúmenes de tránsito. Bogotá: INVIAS.
- VIAS, I. N. (2008). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo 2007. Bogotá: INVIAS.
- AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures. Washington D.C.
- Chavéz Roldán, I. (s.f.). El Perfeccionamiento de los cementos asfálticos I. Recuperado el 28 de Abril de 2013, de <http://www.slideshare.net/guestaaa78bd/asfaltos-modificados-con-polimeros>
- Garces Cardenas, C. M., & Garro Cossio, O. M. (1992). Pavimentos. Medellín: Colección Universidad de Medellín. Centro General de Investigaciones.
- Instituto Colombiano del Petróleo. Red Nacional de Datos. 2013 (s.f.).
- Invias. (s.f.). Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Convenio interadministrativo 587 – 03.
- Montejo Fonseca, A. (1997). Ingeniería de Pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1989). La ingeniería de los suelos en las vías terrestres. México DF: Limusa.
- Rodríguez, E. A. (s.f.). Mezclas con polímeros. Recuperado el 28 de Abril de 2013, de <http://www.slideshare.net/guestaaa78bd/asfaltos-modificados-con-polimeros>.

- Suelos y pavimentos LTDA (2013). Estudio de suelos y diseño de espesores carrera 52 entre calles 60 y 85 Av. Santa María costado oriental – Municipio de Itagüí. Informe DD 07-13029. Medellín.
- Laboratorio CORASFALTOS (2013). Reporte técnico final R – G – 13 – 033. caracterización dinámica a mezcla asfáltica MDC-2. Piedecuesta – Santander.
- Laboratorio CORASFALTOS (2013). Reporte técnico final R – G – 13 – 035. caracterización dinámica a mezcla asfáltica MDC-2 con polímero tipo III. Piedecuesta – Santander.

ANEXOS

ANEXO 1. INVENTARIO DE LAS FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000101	2	1	100,8	13,25	1335,6	15	B	1,8	1,2	2,16
2000102	2	1	50,5	13,25	669,125	15	B	2,3	3	6,9
2000102	2	1	50,5	13,25	669,125	15	B	1,5	1,1	1,65
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	16	B	50,5	0,3	15,15
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	11	B	9,4	7	65,8
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	8	A	2,5	0,3	0,75
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	1	A	31,2	6,5	202,8
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	15	B	17,7	1,5	26,55
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	8	A	7,2	0,6	4,32
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	1	M	11,4	5	57
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	15	B	3,5	1,8	6,3
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	8	A	1,7	1,6	2,72
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	8	A	8,7	5,7	49,59
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	15	B	2	2,5	5
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	11	A	7,5	6,3	47,25
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	11	B	7,8	6,3	49,14
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	11	B	3,9	6,5	25,35
2000102	4	1	50,5	13,25	669,125	8	A	1,4	0,3	0,42
2000103	4	1	46	7,15	328,9	16	B	46	0,3	13,8
2000103	4	1	46	7,15	328,9	11	B	3,4	6,3	21,42
2000103	4	1	46	7,15	328,9	16	B	46	0,4	18,4
2000103	4	1	46	7,15	328,9	8	A	10,4	6,3	65,52
2000103	4	1	46	7,15	328,9	15	B	1,8	2,3	4,14

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000103	4	1	46	7,15	328,9	15	A	17,6	6,3	110,88
2000103	4	1	46	7,15	328,9	8	A	5,5	3,7	20,35
2000103	4	1	46	7,15	328,9	15	A	1,9	1,3	2,47
2000103	4	1	46	7,15	328,9	8	A	1,3	3,7	4,81
2000103	4	1	46	7,15	328,9	8	A	3,7	3,7	13,69
2000103	4	1	46	7,15	328,9	15	B	1,5	1,7	2,55
2000103	4	1	46	7,15	328,9	8	A	2,6	0,3	0,78
2000104	2	1	45,4	7,08	321,432	15	B	12	3,7	44,4
2000104	2	1	45,4	7,08	321,432	15	B	6,7	3,7	24,79
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	16	B	45,4	0,4	18,16
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	16	B	45,4	0,3	13,62
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	8	A	7,9	0,3	2,37
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	11	B	3,8	6,3	23,94
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	15	B	2,3	2,3	5,29
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	15	B	1,2	0,8	0,96
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	8	A	21,2	0,3	6,36
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	15	B	6,6	1,3	8,58
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	8	A	0,8	0,3	0,24
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	15	B	1,9	1,3	2,47
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	8	A	10,5	3,7	38,85
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	11	A	0,8	0,7	0,56
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	8	A	2,8	2,3	6,44
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	15	B	2,5	2,4	6
2000104	4	1	45,4	7,08	321,432	3	A	3,5	5,8	20,3
2000105	2	1	45,89	7	321,23	15	B	14,9	3,6	53,64
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	16	B	71,9	0,3	21,57

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	16	B	71,9	0,4	28,76
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	11	B	8,4	7	58,8
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	9,5	6,3	59,85
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	15	B	13,2	3,15	41,58
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	11	A	13,2	3,15	41,58
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	1,4	0,3	0,42
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	0,7	0,3	0,21
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	6,9	3,1	21,39
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	15	B	4,2	2,7	11,34
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	1,2	0,3	0,36
2000105	4	1	71,9	4,5	323,55	8	A	9	6,3	56,7
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	16	B	58,1	0,7	40,67
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	11	B	3,5	6,8	23,8
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	8	A	18,9	6,8	128,52
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	11	A	5,4	6,8	36,72
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	8	A	8,7	3,9	33,93
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	8	A	9,3	6,8	63,24
2000106	4	1	58,1	7,2	418,32	3	A	4,8	6,8	32,64
2000107	4	1	65	6,8	442	16	B	65	0,5	32,5
2000107	4	1	65	6,8	442	3	A	17	6,2	105,4
2000107	4	1	65	6,8	442	12	A	7,2	1,6	11,52
2000107	4	1	65	6,8	442	8	A	5,8	6,8	39,44
2000107	4	1	65	6,8	442	8	A	3,3	3,2	10,56
2000107	4	1	65	6,8	442	15	B	2,7	2,2	5,94
2000107	4	1	65	6,8	442	15	M	8,3	3,4	28,22
2000107	4	1	65	6,8	442	8	A	8,3	0,3	2,49

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000107	4	1	65	6,8	442	8	A	8,6	6,8	58,48
2000108	2	1	48,1	7	336,7	17				0
2000108	4	1	65,8	7	460,6	16	M	65,8	0,5	32,9
2000108	4	1	65,8	7	460,6	11	B	8,7	6,9	60,03
2000108	4	1	65,8	7	460,6	8	A	19,1	6,9	131,79
2000108	4	1	65,8	7	460,6	3	A	17,5	7	122,5
2000108	4	1	65,8	7	460,6	15	A	2,5	2,3	5,75
2000108	4	1	65,8	7	460,6	8	A	2,5	2,7	6,75
2000108	4	1	65,8	7	460,6	8	A	3,8	7	26,6
2000109	2	1	27,9	7	195,3	15	B	2,7	2,8	7,56
2000109	4	1	63,5	7	444,5	16	B	63,5	0,7	44,45
2000109	4	1	63,5	7	444,5	11	B	43,2	7	302,4
2000109	4	1	63,5	7	444,5	8	A	24,5	0,3	7,35
2000109	4	1	63,5	7	444,5	8	A	3,2	0,3	0,96
2000109	4	1	63,5	7	444,5	3	A	12,3	2,8	34,44
2000109	4	1	63,5	7	444,5	5	A	2,5	1,7	4,25
2000109	4	1	63,5	7	444,5	15	B	1,5	1,7	2,55
2000109	4	1	63,5	7	444,5	8	A	1,5	0,3	0,45
2000109	4	1	63,5	7	444,5	15	B	2,2	1,9	4,18
2000109	4	1	63,5	7	444,5	8	A	6,2	7	43,4
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	1,6	1,1	1,76
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	1,3	1	1,3
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	3,8	1,9	7,22
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	1,9	1,6	3,04
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	1,21	1,2	1,452
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	1,5	1,5	2,25

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	0,7	1,5	1,05
2000110	2	1	139,29	6	835,74	15	B	3,9	1	3,9
2000110	4	1	139,29	6	835,74	3	A	30	6,75	202,5
2000110	4	1	139,29	6	835,74	8	A	6	1,5	9
2000110	4	1	139,29	6	835,74	8	A	2,3	1,6	3,68
2000110	4	1	139,29	6	835,74	8	A	1,6	3	4,8
2000110	4	1	139,29	6	835,74	16	M	139,29	0,4	55,716
2000110	4	1	139,29	6	835,74	8	A	30	3,4	102
2000110	4	1	139,29	6	835,74	15	M	24	2,8	67,2
2000110	4	1	139,29	6	835,74	3	A	58	7	406
2000111	2	1	53,66	6	321,96	17				0
2000111	2	1	53,66	7	375,62	3	A	25,3	7	177,1
2000111	2	1	53,66	7	375,62	16	B	53,66	0,45	24,147
2000111	2	1	53,66	7	375,62	8	A	3	1,5	4,5
2000111	2	1	53,66	7	375,62	15	B	1,5	3	4,5
2000111	2	1	53,66	7	375,62	12	M	2,5	1,5	3,75
2000111	2	1	53,66	7	375,62	12	A	3	2	6
2000111	2	1	53,66	7	375,62	12	A	17	7	119
2000111	2	1	53,66	7	375,62	3	A	44	7	308
2000112	2	1	36,29	6	217,74	15	B	3,3	1,8	5,94
2000112	4	1	36,29	7	254,03	16	M	36,29	1	36,29
2000112	4	1	36,29	7	254,03	16	B	1,4	6,2	8,68
2000112	4	1	36,29	7	254,03	11	A	30	4	120
2000112	4	1	36,29	7	254,03	3	A	2	7	14
2000113	2	1	47,6	6	285,6	17				0
2000113	4	1	47,6	6	285,6	3	A	27,68	7	193,76

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000113	4	1	47,6	6	285,6	12	A	0,6	0,5	0,3
2000113	4	1	47,6	6	285,6	15	B	4,4	2	8,8
2000114	2	1	53	6,85	363,05	4	B	50,29	1,5	75,435
2000114	2	1	53	6,85	363,05	8	A	1,1	0,3	0,33
2000114	2	1	53	6,85	363,05	16	B	50,29	0,4	20,116
2000114	2	1	53	6,85	363,05	16	B	1,3	1,6	2,08
2000114	2	1	53	6,85	363,05	16	A	1,3	2,1	2,73
2000114	2	1	53	6,85	363,05	12	B	1,2	1,2	1,44
2000114	2	1	53	6,85	363,05	8	B	1,3	0,3	0,39
2000114	2	1	53	6,85	363,05	8	M	1,3	0,3	0,39
2000114	2	1	53	6,85	363,05	8	M	4,5	0,3	1,35
2000114	4	1	53	6,8	360,4	16	B	1,6	0,8	1,28
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	8	B	8	0,3	2,4
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	12	B	1,4	2	2,8
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	8	B	17	0,5	8,5
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	8	B	4,7	0,8	3,76
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	8	M	15,2	0,3	4,56
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	8	A	3,3	0,3	0,99
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	16	B	6,4	0,8	5,12
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	16	B	1,1	0,7	0,77
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	16	B	1,3	0,4	0,52
2000115	2	1	48,5	6,87	333,195	15	B	2,4	1	2,4
2000115	4	1	47,69	7	333,83	17				0
2000116	2	1	20,41	6,87	140,216	8	M	6	1	6
2000116	2	1	20,41	6,87	140,216	8	B	2,9	1,5	4,35
2000116	2	1	20,41	6,87	140,216	16	B		0,4	0

Segmento ID_OP	Ord_Elmento	Tipo_Superficie	Longitud	Ancho_Via	Area_Via	Tipo_De terioro	Cod_Severidad	Longitud (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000116	2	1	20,41	6,87	140,216	8	B	2,5	2	5
2000116	2	1	20,41	6,87	140,216	8	B	3	0,3	0,9
2000116	4	1	20,41	6,85	139,808	17				0
2000117	2	1	30,4	6,85	208,24	8	B	9	2,5	22,5
2000117	2	1	30,4	6,85	208,24	3	B	19,3	2	38,6
2000117	2	1	30,4	6,85	208,24	16	B	30,4	0,4	12,16
2000117	2	1	30,4	6,85	208,24	8	B	7	0,3	2,1
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	B	14,5	0,3	4,35
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	23,2	0,3	6,96
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	16	A	1,6	1	1,6
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	A	4	0,3	1,2
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	A	8,1	4,7	38,07
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	16	B	0,7	2,4	1,68
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	16	B	1	1	1
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	4,5	1,5	6,75
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	14	1,4	19,6
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	14	1,2	16,8
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	A	17,5	0,3	5,25
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	5,9	3,4	20,06
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	4,4	0,3	1,32
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	16	M	4,8	1,3	6,24
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	4,8	6,8	32,64
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	11	B	1	1	1
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	8	M	19,7	1,7	33,49
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	3	B	2,6	2,6	6,76
2000118	2	1	76,66	6,88	527,420	9	A	1,4	1,2	1,68

Segmento ID_OP	Ord_Elemento	Tipo_Superficie	Longitud	Ancho_Via	Area_Via	Tipo_De terioro	Cod_Severidad	Longitud (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000118	4	1	77,8	6,8	529,04	11	B	1,2	0,6	0,72
2000118	4	1	77,8	6,8	529,04	16	B	1	1	1
2000118	4	1	77,8	6,8	529,04	16	B	1,6	1	1,6
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	16	B	6	3,4	20,4
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	B	4,6	3,1	14,26
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	16	B	43,14	0,5	21,57
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	M	14	1,8	25,2
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	M	14	3,2	44,8
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	M	15	1,2	18
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	M	2,7	4,4	11,88
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	M	4,7	3,8	17,86
2000119	2	1	50,93	7,09	361,093	8	B	3,4	0,3	1,02
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	15	B	1,4	1,2	1,68
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	8	A	28,2	1	28,2
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	3	B	8,4	1,3	10,92
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	8	M	5,4	0,3	1,62
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	8	B	2,1	3,7	7,77
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	8	M	9,8	0,3	2,94
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	3	M	1,7	2,6	4,42
2000120	2	1	45,9	7,1	325,89	8	M	28,8	1,2	34,56
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	11	B	2	1	2
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	16	B	1	0,8	0,8
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	16	B	1,2	1,3	1,56
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	11	B	0,7	0,7	0,49
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	15	B	0,8	0,8	0,64
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	15	B	3,2	1,3	4,16

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000120	4	1	45,9	7,1	325,89	16	B	0,9	0,6	0,54
2000121	2	1	49,2	7,1	349,32	3	A	43,7	3,5	152,95
2000121	2	1	49,2	7,1	349,32	11	A	2	2,4	4,8
2000121	4	1	50,66	7,1	359,686	16	B	50,66	0,4	20,264
2000122	2	1	50,3	7,1	357,13	3	A	13,8	7	96,6
2000122	2	1	50,3	7,1	357,13	16	M	0,6	7,1	4,26
2000122	2	1	50,3	7,1	357,13	3	A	20	7	140
2000122	4	1	50,3	7,1	357,13	15	B	1	1,5	1,5
2000122	4	1	50,3	7,1	357,13	15	B	1	1,5	1,5
2000123	2	1	50	7,1	355	8	A	5	0,3	1,5
2000123	2	1	50	7,1	355	1	A	2,5	0,5	1,25
2000123	2	1	50	7,1	355	15	B	2	2	4
2000123	4	1	50	6,87	343,5	17				0
2000124	2	1	52	6,68	347,36	15	M	2	2	4
2000124	2	1	52	6,68	347,36	8	A	2	0,3	0,6
2000124	2	1	52	6,68	347,36	8	A	3,4	1,5	5,1
2000124	2	1	52	6,68	347,36	15	M	1	1	1
2000124	2	1	52	6,68	347,36	12	A	2,5	1,2	3
2000124	2	1	52	6,68	347,36	8	A	2,5	1	2,5
2000125	2	1	72,5	6,9	500,25	8	A	1,2	1	1,2
2000125	2	1	72,5	6,9	500,25	8	A	30	3,5	105
2000125	4	1	70,4	6,7	471,68	15	B	1	1	1
2000125	4	1	70,4	6,7	471,68	15	B	1	1	1
2000126	2	1	108,3	7	758,1	16	M	0,8	7	5,6
2000126	2	1	108,3	7	758,1	12	A	4,4	3	13,2
2000126	2	1	108,3	7	758,1	12	A	3,5	1,5	5,25

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000126	2	1	108,3	7	758,1	15	M	2	2	4
2000126	2	1	108,3	7	758,1	3	A	3,4	5	17
2000126	2	1	108,3	7	758,1	15	A	3,5	5	17,5
2000126	2	1	108,3	7	758,1	15	M	3,7	2,5	9,25
2000126	2	1	108,3	7	758,1	3	A	2,5	3	7,5
2000126	2	1	108,3	7	758,1	3	A	30,9	3,5	108,15
2000126	2	1	108,3	7	758,1	3	A	17	4	68
2000126	4	1	108,3	7	758,1	15	B	1	1	1
2000126	4	1	108,3	7	758,1	15	B	1,5	1	1,5
2000126	4	1	108,3	7	758,1	15	B	10	2	20
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	12	M	10	3,1	31
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	5	M	1,5	1	1,5
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	5	B	1,5	1	1,5
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	16	B	43,52	1	43,52
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	16	B	43,53	0,4	17,412
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	3	M	13,9	1,7	23,63
2000127	2	1	43,63	6,91	301,483	12	M	14,9	1,7	25,33
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	15	B	2,5	2,1	5,25
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	8	A	3,1	2	6,2
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	16	M	51,83	0,4	20,732
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	16	M	3,6	0,7	2,52
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	8	M	7,4	2	14,8
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	5	A	2,1	1,3	2,73
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	12	M	4,2	1,6	6,72
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	8	M	16,9	1,7	28,73
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	16	B	1,3	1,9	2,47

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	12	M	1	1,9	1,9
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	11	A	1,1	1,5	1,65
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	15	B	2	1,7	3,4
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	1	M	2,9	2,4	6,96
2000128	2	1	52,6	6,9	362,94	12	M	11,8	1,7	20,06
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	1	M	3	2,3	6,9
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	16	M	54,49	0,4	21,796
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	8	M	10,1	0,3	3,03
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	12	M	1,9	0,8	1,52
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	12	M	1,9	1,2	2,28
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	8	B	2,8	0,3	0,84
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	3	M	2,4	1,4	3,36
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	11	A	1	1	1
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	12	A	2,4	1,4	3,36
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	8	M	20,6	1,3	26,78
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	16	M	1,3	2,4	3,12
2000129	2	1	54,49	6,96	379,25	8	A	2,4	2	4,8
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	M	4,7	0,3	1,41
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	16	M	53,05	0,7	37,135
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	15	B	1	1	1
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	16	B	53,05	0,4	21,22
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	15	B	3,1	1,7	5,27
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	B	11	0,3	3,3
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	1	M	3,4	3,2	10,88
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	A	3,2	1,6	5,12
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	M	0,9	0,9	0,81

Segmento ID_OP	Ord_Elemento	Tipo_Superficie	Longitud	Ancho_Via	Area_Via	Tipo_De terioro	Cod_Severidad	Longitud (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	11	A	4,2	1	4,2
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	12	M	1,3	1,9	2,47
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	M	3,8	0,3	1,14
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	15	B	4,2	2,5	10,5
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	8	B	2,1	0,3	0,63
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	12	M	4,5	2,4	10,8
2000130	2	1	53,05	6,97	369,758	15	M	1,6	0,9	1,44
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	16	A	0,9	5,8	5,22
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	3	M	1,8	4,4	7,92
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	16	M	52,55	0,5	26,275
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	3	M	12,6	0,9	11,34
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	16	B	52,55	0,3	15,765
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	16	B	0,9	8,5	7,65
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	15	B	1,1	6,8	7,48
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	8	A	3,6	1	3,6
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	9	A	3,9	0,8	3,12
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	3	A	18,6	1,5	27,9
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	5	A	0,9	0,5	0,45
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	11	A	3	1,2	3,6
2000131	4	1	52,55	6,96	365,748	16	B	2,3	1,1	2,53
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	12	A	5,6	1,9	10,64
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	M	2,5	2,4	6
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	1	M	5,2	2,3	11,96
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	8	M	4,7	1,7	7,99
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	M	47,06	0,8	37,648
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	3	A	7,1	1,4	9,94

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	3	M	6,6	1,9	12,54
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	5	M	0,9	1,1	0,99
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	8	M	2	1,7	3,4
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	B	47,06	0,4	18,824
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	M	0,6	1,3	0,78
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	M	0,7	1,6	1,12
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	A	1,6	1,9	3,04
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	16	B	1,5	6,8	10,2
2000132	2	1	47,06	6,94	326,596	3	M	6,3	1,4	8,82
2000132	4	1	47,06	6,96	327,537	16	B	47,06	0,4	18,824
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	5	M	0,4	0,7	0,28
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	5	A	3,1	0,8	2,48
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	1	M	2,5	2,3	5,75
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	8	M	5,3	0,3	1,59
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	8	M	5,1	1,1	5,61
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	16	M	8,9	0,5	4,45
2000133	2	1	33,8	6,87	232,206	1	A	1,3	1,5	1,95
2000133	4	1	33,8	6,87	232,206	16	B	8,9	0,4	3,56
2000133	4	1	33,8	6,87	232,206	15	B	1,1	0,7	0,77
2000133	4	1	33,8	6,87	232,206	15	B	1	0,7	0,7
2000134	2	1	61,95	7	433,65	11	A	25,96	7	181,72
2000134	2	1	61,95	7	433,65	6	A	2,9	1	2,9
2000134	2	1	61,95	7	433,65	12	A	11,3	7	79,1
2000134	2	1	61,95	7	433,65	5	A	1	1	1
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	M	2,4	2,4	5,76
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	M	1,2	1,4	1,68

Segmento ID_OP	Ord_Ele mento	Tipo_Su perficie	Longit ud	Ancho _Via	Area_Vi a	Tipo_De terioro	Cod_Se veridad	Longitu d (m)	Ancho (m)	Área Daño
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	M	2,5	1,9	4,75
2000134	2	1	61,95	7	433,65	16	B	7,5	1,3	9,75
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	A	2	1,8	3,6
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	A	2,2	1,3	2,86
2000134	2	1	61,95	7	433,65	5	A	1	1	1
2000134	2	1	61,95	7	433,65	15	A	2	2	4

TITULO DEL TRABAJO:

REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES Y MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ

AUTORES:

- JUAN DAVID HERNANDEZ HERNANDEZ
- DARWIN DUVER ROSERO VEGA

TITULO OTORGADO: Especialista en Vías y Transporte

ASESORES DEL TRABAJO:

- Ing. JOHNNY ALEXANDER VEGA - Asesor Metodológico
- Ing. SERGIO ALFREDO CIFUENTES MOSQUERA - Asesor Temático

PROGRAMA DE DONDE EGRESA: Especialización en Vías y Transporte

CIUDAD: Medellín

Año: 2014

RESUMEN

El Municipio de Itagüí en los últimos años ha sufrido un crecimiento elevado en la circulación de vehículos, especialmente los comerciales debido a que es una ciudad industrial y comercial en donde se ubican importantes fábricas a nivel regional y nacional. El incremento del parque automotor ha acelerado el deterioro de la malla vial de Itagüí, por lo cual el trabajo de grado se enfoca en realizar un estudio en el cual se hace una análisis técnico y económico sobre la utilización de mezclas asfálticas convencionales las cuales son las que actualmente se está instalando en Itagüí, y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros que es una nueva alternativa que se está impulsando en el país, para emplearlas en la rehabilitación de pavimentos con altos niveles de tránsito. El análisis se enfoca en identificar mediante la recopilación de información bibliográfica, visitas de campo y

ensayos de laboratorio, el comportamiento de las mezclas asfálticas en lo que se refiere al ahuellamiento, fatiga y envejecimiento; y con estos datos realizar una proyección del análisis del ciclo de vida del pavimento a 20 años para evaluar los costos de rehabilitación y mantenimiento de un pavimento para identificar cual es la mezcla asfáltica que brinda un valor más alto en la relación beneficio/costo para ser empleado para las condiciones actuales de Itagüí.