

12-7-2009

Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles

Juan Carlos Sanchez Angel
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil



Part of the [Civil Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Sanchez Angel, J. C. (2009). Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/198

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.**

2009

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director temático:

Ing. Manuel Santiago Ocampo

Asesora metodológica:

Marlene Cubillos Romero

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.**

2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente de jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Diciembre 7 de 2009

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa su reconocimiento:

Al Ingeniero MANUEL SANTIAGO OCAMPO director temático, por la dedicación, confianza, paciencia, apoyo incondicional, enseñanza que me apporto durante el desarrollo de este trabajo de grado y por demostrarme que siendo perseverantes alcanzamos nuestros objetivos.

Al Ingeniero HECTOR VEGA GARZON por la confianza y apoyo depositado para elaboración de este trabajo.

Al Ingeniero CARLOS LEONARDO MENDOZA por su ayuda y apoyo, por la gran confianza depositada para el desarrollo de este trabajo de grado.

Al ingeniero HERMES VACA por su colaboración y el gran aporte en el desarrollo de los ensayos de laboratorio en la Pontificia Universidad Javeriana.

A mi gran amiga y confidente LINA MARIA PEREZ por su gran apoyo en la culminación de este trabajo de grado porque sin su confianza y motivación hubiera sido imposible.

A todos los integrantes del departamento de Infraestructura carretera y laboratorio de pavimentos de la Secretaria Obras Publicas del estado de Aguascalientes (México), porque sin ellos hubiera sido imposible la elaboración de este trabajo de grado.

Finalmente a todos mis amigos y docentes de la Universidad de la Sallé y la Universidad Autónoma de Aguascalientes (México) por estar siempre a mi lado y brindarme confianza, conocimiento y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios y la Universidad de La Sallé por brindarme la oportunidad de haber cursado los dos últimos semestres académicos en la Universidad Autónoma de Aguascalientes de acuerdo al convenio de intercambio estudiantil, ya que con la experiencia allí adquirida se desprende este trabajo de grado.

A mi Padre quien me enseñó lo que es el esfuerzo y dedicación para llegar a nuestros objetivos, quien nunca desfallece ante las adversidades. Ese ser que me ha dado su confianza y apoyo incondicional. Un hombre que más que ser mi padre es mi ídolo y mi ejemplo de vida.

A mi madre por su amor y confianza, porque a pesar de mis errores siempre ha estado a mi lado y nunca deja de creer en mí. Por enseñarme lo que es la humildad y el amor por Dios.

A mis hermanas por su incondicional apoyo, por sus enseñanzas, sus consejos y amor. Por ser mujeres extraordinarias que nunca desfallecen ante las adversidades y siempre están a mi lado cuando más lo necesito. Finalmente a mi hermoso hijo quien es la luz y el motor de mi vida, que me señala el camino de la perseverancia y del trabajo constante. Mi razón de ser.

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| 1 Problema | 2 |
| 1.1 Linea | 2 |
| 1.2 Titulo | 2 |
| 1.3 Descripcion del problema | 2 |
| 1.4 Formulación del problema | 4 |
| 1.5 Justificación | 4 |
| 2 Objetivos | 6 |
| 2.1 Objetivo general | 6 |
| 2.2 Objetivos especificos | 6 |
| 3 Marco referencial | 7 |
| 3.1 Marco teorico - conceptual | 7 |
| 3.1.1 Estructura de un pavimento | 7 |
| 3.1.2 Rehabilitación | 8 |
| 3.1.3 Examen superficial del pavimento | 12 |
| 3.1.4 Reciclado de pavimentos flexibles | 15 |
| 3.1.5 Estado del arte del reciclado de pavimentos flexibles en colombia | 19 |
| 3.2 Marco normativo | 22 |
| 3.3 Marco temático | 23 |
| 3.4 Reciclaje de pavimentos in situ en caliente de pavimentos flexibles | 23 |
| 3.5 Proceso de reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles utilizado en el estado de aguascalientes (<i>méxico</i>). | 28 |
| 3.6 Diseño metodologico preliminar | 40 |
| 3.6.1 Fase preliminar | 42 |
| 3.6.2 Fase trabajo de campo y ensayos de laboratorio | 42 |
| 3.6.3 Fase beneficios y desventajas | 43 |
| 3.7 Objeto de estudio | 43 |

| | |
|--|-----|
| 3.8 Instrumentos | 43 |
| 3.9 Variables | 44 |
| 3.10 Hipótesis | 44 |
| 3.11 Costos | 44 |
| 4 Alcance y limitación | 45 |
| 4.1 Alcance | 45 |
| 4.2 Limitación | 45 |
| 5 Trabajo ingenieril | 46 |
| 5.1 Seguimiento y auscultacion | 46 |
| 5.1.1 estado del pavimento existente | 46 |
| 5.1.2 características de la carpeta rehabilitada | 59 |
| 5.1.3 estado de la carpeta rehabilitada a los dos meses | 60 |
| 5.1.4 estado de la carpeta rehabilitada al año de ser intervenida | 62 |
| 5.1.5 cuantificación y clasificación de las fallas encontradas después de la rehabilitación. | 67 |
| 5.2 trabajo en campo y laboratorio | 80 |
| 5.2.1 extracción de muestras | 81 |
| 5.2.2 ensayos de laboratorios | 83 |
| 5.2.3 material asfáltico nuevo | 107 |
| 6 beneficios y desventajas | 109 |
| 6.1 beneficios | 109 |
| 6.1.1 beneficios ingenieriles | 110 |
| 6.1.2 beneficios ambientales | 114 |
| 6.1.3 beneficios económicos | 116 |
| 6.2 desventajas | 118 |
| 7 conclusiones | 120 |
| 8 recomendaciones | 124 |
| 9 bibliografia | 125 |
| Anexos | |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Fallas tratadas con la tecnología | 24 |
| Tabla 2. Relación de ensayos de laboratorio | 42 |
| Tabla 3. Cuantificación de los deterioros. Vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 68 |
| Tabla 4. Clasificación de los deterioros. Vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 69 |
| Tabla 5. Estado de la vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 70 |
| Tabla 6. Cuantificación de los deterioros. Av, aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 70 |
| Tabla 7. Clasificación de los deterioros. Avenida aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 71 |
| Tabla 8. Estado avenida aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 72 |
| Tabla 9. Cuantificación de los deterioros. Carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 72 |
| Tabla 10. Clasificación de los deterioros. Carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 73 |
| Tabla 11. Estado carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 74 |
| Tabla 12. Cuantificación de los deterioros bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 75 |
| Tabla 13. Clasificación de los deterioros del bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 76 |
| Tabla 14. Estado del bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 76 |
| Tabla 15. Cuantificación de los deterioros. Carr. Mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 77 |
| Tabla 16. Clasificación de los deterioros. Carr. Mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 78 |
| Tabla 17. Estado de la carretera mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 78 |
| Tabla 18. Resultado general del seguimiento y auscultación | 79 |
| Tabla 19. Relación de extracción de muestras | 82 |
| Tabla 20. Resultados de los ensayos de laboratorio | 84 |
| Tabla 21. Diseño de la carpeta nueva (tipo ac-20) | 108 |
| Tabla 22. Diseño marshall | 108 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Clasificación de las rehabilitaciones | 8 |
| Cuadro 2. Calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento | 15 |
| Cuadro 3. Especificaciones generales de construcción de carreteras | 20 |
| Cuadro 4. Normatividad relacionada en esta investigación | 22 |
| Cuadro 5. Etapas de la rehabilitación | 30 |
| Cuadro 6. Variables de la investigación | 44 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Estructura de un pavimento | 8 |
| Figura 2. Reciclado de pavimentos flexibles | 16 |
| Figura 3. Deterioro del pavimentos asfáltico | 25 |
| Figura 4. Proceso del método completo | 27 |
| Figura 5. Proceso del método utilizado en aguascalientes, méxico | 27 |
| Figura 6. Rehabilitación de la carpeta existente | 29 |
| Figura 7. Ubicación del estado de aguascalientes – méxico | 37 |
| Figura 8. Ubicación de la vía rehabilitada. | 37 |
| Figura 9. Diagrama metodológico | 41 |
| Figura 10. Porcentaje de deterioro de las vías rehabilitadas | 79 |
| Figura 11. Granulometría del pavimento existente. Municipio la escondida | 86 |
| Figura 12. Contenido de asfalto en el pavimento existente | 88 |
| Figura 13. Estabilidad marshall de las carpetas asfálticas | 90 |
| Figura 14. Flujo marshall de las carpetas asfálticas | 91 |
| Figura 15. Módulos a una frecuencia de 2.5hz y temperatura de 20°C | 93 |
| Figura 16. Módulos a una frecuencia de 5.0hz y temperatura de 20°C | 94 |
| Figura 17. Módulos a una frecuencia de 10hz y temperatura de 20°C | 94 |
| Figura 18. Variación del módulo para el abscisado k0+100 | 95 |
| Figura 19. Variación del módulo para el abscisado k2+296 | 96 |
| Figura 20. Granulometría del material reciclado sin compactar | 100 |
| Figura 21. Contenido de asfalto del material reciclado sin compactar | 101 |
| Figura 22. Granulometría del pavimento rehabilitado | 105 |
| Figura 23. Contenido de asfalto del pavimento rehabilitado | 106 |
| Figura 24. Rendimiento para cada tipo de intervención | 111 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | Pág. |
|---|------|
| Fotografía 1 tren de trabajo utilizado en el estado de aguascalientes | 35 |
| Fotografía 2. Pavimento existente | 39 |
| Fotografía 3. Material fresado sin compactar | 39 |
| Fotografía 4. Perdida del agregado | 48 |
| Fotografía 5. Exudación en la carpeta existente | 49 |
| Fotografía 6. Desintegración de bordes en la carpeta existente | 50 |
| Fotografía 7. Descascaramiento en la carpeta existente | 51 |
| Fotografía 8. Abultamiento de la carpeta existente | 53 |
| Fotografía 9. Fisuras longitudinales en la carpeta existente | 54 |
| Fotografía 10. Fisuras transversales en la carpeta existente | 55 |
| Fotografía 11. Fisura de borde en la carpeta existente | 56 |
| Fotografía 12. Fisuras en bloque de la carpeta existente | 57 |
| Fotografía 13. Carpeta rehabilitada, municipio la escondida | 61 |
| Fotografía 14. Problemas durante la escarificación. | 62 |
| Fotografía 15. Descascaramiento del pavimento rehabilitado. | 64 |
| Fotografía 16. Fisuras en el pavimento rehabilitado. | 64 |
| Fotografía 17. Exudación del pavimento rehabilitado. | 65 |
| Fotografía 18. Abultamientos en el pavimento rehabilitado. | 66 |
| Fotografía 19. Reparcheo en pavimento rehabilitado. | 67 |
| Fotografía 20. Extracción de núcleos de la carpeta a rehabilitar. | 81 |
| Fotografía 21. Pannels extraídas en la carpeta rehabilitada. | 82 |
| Fotografía 22. Pavimento existente. Municipio la escondida | 85 |
| Fotografía 23. Ensayo de granulometría | 87 |
| Fotografía 24. Ensayo de emulsión asfáltica | 89 |
| Fotografía 25. Prensa marshall | 91 |
| Fotografía 26. Modulo dinámico | 92 |
| Fotografía 27. Escarificación de la carpeta existente | 97 |

| | |
|---|-----|
| Fotografía 28. Material reciclado sin compactar | 98 |
| Fotografía 29. Apariencia de la mezcla asfáltica | 99 |
| Fotografía 30. Pavimento rehabilitado. Municipio la escondida k 2+296 | 103 |
| Fotografía 31. Capas de la estructura del pavimento rehabilitado | 104 |
| Fotografía 32. Movilización de equipo | 112 |
| Fotografía 33. Rehabilitación de vías en cascos urbanos | 113 |
| Fotografía 34. Sistema de calentamiento por medio de llama abierta | 119 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del equipo

Anexo B. Cuantificación y clasificación de fallas

Anexo C. Formatos Utilizados

Anexo D. Costos de la investigación

GLOSARIO

Asfalto envejecido o deteriorado: Asfalto que ha perdido sus características viscoelásticas y se comporta como un asfalto rígido y frágil. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos envejecidos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos.

Asfalto: Solución coloidal que se da por la unión de los asfáltenos y máltenos. Material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras y autopistas. Este material es también utilizado como impermeabilizante.

Calentamiento del pavimento flexible en métodos de reciclaje: Calentamiento de la carpeta asfáltica envejecida para su posterior fresado, con el fin de la rehabilitación de la vía.

Calidad: Es el conjunto de propiedades que le confiere a un objeto, producto o servicio de la capacidad para satisfacer las necesidades implícitas o explícitas. Propiedad inherente de cualquier cosa que permite ser comparada con otra de su misma especie.

Capa reniveladora: Capa asfáltica reciclada que cumple la función de nivelar la superficie que soportará una nueva capa en la estructura de pavimento. Esta capa

se compacta monolíticamente para el buen desempeño de la capa asfáltica rehabilitada.

Desechos: Desperdicios o sobrantes de las actividades humanas. Se clasifica en gases, líquidos y sólidos; y por su origen, en orgánicos e inorgánicos.

Emulsión asfáltica: Mezcla de asfalto con emulsificantes, que con el agua forman una emulsión estable que permite colocar las carpetas asfálticas "en frío", sirve como riego de imprimación, como material para estabilización de suelos, y como recuperador de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica envejecida.

Fallas estructurales de un pavimento flexible: Son las fallas que se presentan en las capas estructurales de un pavimento flexible.

Fallas superficiales de un pavimento flexible: Son las fallas que se presentan en la capa superior del pavimento o capa de rodadura, presentándose por fatiga o por envejecimiento de los materiales.

Fresado del pavimento flexible: Es la remoción mecánica y controlada de una carpeta asfáltica, con el fin de obtener una superficie adecuada para su posterior tratamiento superficial.

Mantenimiento: Medidas rutinarias y/o periódicas que ayudan al pavimento a llegar a su vida útil, manteniendo en óptimas condiciones la movilidad del tránsito vehicular y peatonal.

Mezcla asfáltica: Es la combinación de asfalto y agregados pétreos en proporciones definidas. Estas proporciones determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como capa de rodadura o estructural en un pavimento.

Mezclas asfálticas recicladas: Mezclas asfálticas producto del fresado que se efectúa en las carpetas asfálticas existentes o envejecidas. Son utilizadas en las rehabilitaciones superficiales y/o estructurales de pavimentos flexibles.

Módulo resiliente: Parámetro que se utiliza para determinar las propiedades mecánicas de un material. Nos da una idea de la calidad de la capa y de la durabilidad que se obtiene al aplicar cargas cíclicas, lo cual origina un estado de tensión similar al de servicio real. Este ensayo es desarrollado para estudiar los efectos de la mezcla asfáltica que describe mejor el comportamiento bajo cargas dinámicas de ruedas.

Pavimentos flexibles: Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta de mezcla asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base.

Reciclaje superficial de pavimentos flexibles: Es la reutilización de mezclas asfálticas retiradas de carpetas envejecidas mediante un fresado, en donde corrige imperfecciones en la superficie con espesores hasta de 6.0 centímetros, añadiendo agregados nuevos, ligantes o modificadores.

Reconstrucción de un pavimento. Es el retiro total o parcial de los materiales existentes de la estructura de un pavimento, para la generación de una vía nueva. Reemplazo total o parcial de la estructura de un pavimento para crear una nueva estructura de pavimento.

Rehabilitación de vías: Conjunto de actividades o medidas que se realizan para recuperar la capacidad superficial y/o estructural de un pavimento. Procesos que generan la ampliación de los periodos de vida útil de un pavimento, donde requiere estudio de tránsito, materiales, y dimensionamiento estructural.

Rejuvenecedores de ligante: Tiene como función reacondicionar el asfalto envejecido o deteriorado y mejorar las propiedades del ligante, redispersando coloidalmente los asfaltenos que halla en exceso.

INTRODUCCION

En los últimos años, en un mundo cada vez más contaminado y con un deterioro creciente del medio ambiente, la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general de todos los sectores productivos del mundo.

Ante este reto, la industria de la construcción ha sido pionera en el desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclaje de los residuos en los procesos constructivos, y otros que son desechados después de cumplir su ciclo de vida, pero que pueden ser reutilizados; tal es el caso de los materiales producto de la rehabilitación de los pavimentos asfálticos.

La idea principal de este trabajo de investigación es el estudio de las ventajas del “reciclado *in situ*” en caliente de pavimentos flexibles, con el objeto de mitigar el impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos y la emisión de gases a la atmósfera en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, disminuir el consumo de nuevos materiales de construcción y aumentar los rendimientos de obra. Por otra parte se pretende hacer un acercamiento en cuanto a las especificaciones en el diseño y control de calidad en la fabricación de las mezclas asfálticas empleando esta tecnología, basado en la experiencia de otros países

1 PROBLEMA

1.1 LINEA

El proyecto de investigación a desarrollar corresponde a la línea de “Nuevos materiales para Carreteras”, del grupo de investigación INDETEC, según las líneas de investigación establecidas por el Programa de Ingeniería Civil, donde su objetivo general es: Investigar, desarrollar e implementar nuevas tecnologías en el campo de los materiales para carreteras garantizando la durabilidad y economía de los proyectos.

1.2 TITULO

Estudio de las ventajas del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La importancia de implementar nuevas tecnologías que ayuden a la preservación del medio ambiente y a la optimización de los procesos en la construcción y/o rehabilitación de carpetas asfálticas, ha llevado a que los avances en esta materia cada día sean más sofisticados y significativos. Entre las tecnologías que se han desarrollado, se encuentra el reciclado *in situ* en caliente de carpetas asfálticas.

Esta tecnología funciona a partir de un tren de trabajo constituido por una serie de maquinarias y procedimientos específicos.

Entre los beneficios que ofrece esta tecnología se encuentra la preservación del medio ambiente, la disminución en el consumo de nuevos materiales para la construcción de pavimentos flexibles, y el aumento de los rendimientos de obra. Así entonces, al reciclar por este método se logra disminuir el consumo de cemento asfáltico y de materiales pétreos; como también se reducen los volúmenes de desechos sólidos mejorando las condiciones del medioambiente.

Sin embargo, en Colombia y otros países en Latinoamérica, la construcción de nuevas vías, o la rehabilitación de las existentes, se lleva a cabo en su mayoría empleando materiales pétreos y ligantes nuevos para la fabricación de las mezclas asfálticas. Esta práctica requiere de la explotación de nuevas canteras o la sobreexplotación de las existentes; así como el consumo de grandes cantidades de cemento asfáltico, lo que conlleva a un negativo impacto ambiental.

Actualmente, las técnicas de reciclado están bastante desarrolladas en muchos países; sin embargo, en Colombia no se cuenta con la experiencia de estas nuevas tecnologías. La maquinaria y equipo necesario para su implementación son cada día más eficientes y especializados, lo que motiva a apostar por este tipo de tecnologías que cada vez cuentan con mayor aceptación en todo el mundo.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo podrían aprovecharse al máximo los materiales producto del reciclaje de pavimentos asfálticos con el fin de mitigar el impacto ambiental, reducir los costos de rehabilitación, y mejorar los rendimientos durante su ejecución?

1.5 JUSTIFICACIÓN

Por medio de la presente investigación se determinarán las ventajas y desventajas del método de reciclado *in situ* en caliente de mezclas asfálticas. Se reconocerán los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos. Se dará a conocer el estado actual del reciclado de pavimentos flexibles en Colombia, y se resaltarán la necesidad del desarrollo de nuevas tecnologías.

La importancia de esta investigación recae en el hecho de que hoy en día, con las tecnologías convencionales para la rehabilitación de pavimentos flexibles, no se está dando una completa solución a la problemática ambiental; por otro lado, los costos de obra resultan elevados y sus rendimientos no son los más óptimos. Es por esto que se pretende presentar una solución a estos problemas, implementando una tecnología de punta en el reciclado de pavimentos flexibles.

Inicialmente se considerarán las experiencias en otros países sobre el desarrollo de esta tecnología, con el fin de establecer las propiedades mecánicas y

desempeño del concreto asfáltico producto de su reutilización. Durante la etapa experimental se hará el seguimiento y auscultación de un tramo de vía ejecutado con esta tecnología de reciclaje en el estado de Aguascalientes, México. Se desarrollarán ensayos de laboratorio al concreto asfáltico envejecido, reciclado y al pavimento rehabilitado, con el fin de determinar su granulometría, el porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo, y módulos dinámicos.

Al finalizar la investigación del reciclado de mezclas asfálticas *in situ* en caliente, se analizarán sus beneficios ingenieriles, ambientales y económicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los beneficios del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las ventajas y desventajas del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles respecto a los otros métodos y en función de los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos.
- Identificar las falencias en la ejecución del reciclaje en caliente *in situ* en el estado de Aguascalientes, México.
- Establecer las características mecánicas de las mezclas asfálticas recicladas *in situ* en caliente en un tramo intervenido en el Estado de Aguascalientes (*México*) mediante ensayos de laboratorio.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO TEORICO - CONCEPTUAL

A lo largo de este capítulo, se presentarán los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión en la ejecución de rehabilitación mediante el reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

3.1.1 Estructura de un pavimento

Un pavimento flexible puede estar compuesto de las capas de subrasante, sub-base, base, carpeta y tratamiento superficial. Esta estructura debe estar diseñada de tal manera que soporte las cargas de los vehículos que transitan en el momento que se hace el diseño y el incremento que se estime durante el período de vida proyectado¹.(Figura 1)

¹ RIVERA, Gustavo. Reciclado de pavimentos en frío, empleando emulsiones asfálticas cationicas. Editorial Alfaomega, 1997.

Figura 1. Estructura de un pavimento



Fuente: adaptado por el autor de Gustavo Rivera, 2010.

3.1.2 Rehabilitación

La rehabilitación de vías consiste en el proceso de mejoramiento que garantice la prolongación de la vida del pavimento ya que ocurre un deterioro en las capas asfálticas y las bases granulares debido al acción del tránsito, el clima y el envejeciendo de los materiales, entre otros.

Por tal motivo la rehabilitación se puede clasificar en dos categorías como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de las rehabilitaciones

| REHABILITACION | Problema | | Possible Solución |
|----------------|-------------|--|--|
| | Superficial | Son problemas que se relacionan normalmente al envejecimiento del asfalto y al agrietamiento de la superficie del pavimento, generalmente dentro de los 50 a 100 milímetros de la carpeta asfáltica. | Sobrecarpetas Asfálticas Fresar y Reemplazar Reciclado de carpeta asfáltica |

| REHABILITACION | Problema | | Posible Solución |
|----------------|--------------------|--|---|
| | <i>Estructural</i> | Son problemas que se presentan en la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla de la capacidad estructural del pavimento relacionadas con deformaciones. | Reconstrucción total Construcción de capas adicionales Reciclado de carpeta asfáltica y capas granuladas profundo |

Fuente: adaptado por el autor de Wirtgen Group², 2010.

Adicionalmente se mencionan las medidas de rehabilitación superficial para mitigar el deterioro progresivo de la superficie de rodamiento, las cuales son:

Sobrecarpetas asfálticas. Es la construcción de carpetas asfálticas en caliente entre 40 y 50 mm sobre la superficie existente, esta se caracteriza por ser una solución simple ya que el tiempo de ejecución y el impacto al usuario es mínimo. Sin embargo, sobrecarpetas sucesivas aumentan las cotas de la superficie, lo que puede causar problemas en el sistema de drenaje y afecta el impacto ambiental ya que la explotación de recursos no renovables es muy alta.

Fresar y reemplazar. Este método remueve la capa deteriorada por el fisuramiento de la mezcla asfáltica y luego la reemplaza con una mezcla asfáltica nueva. El proceso es relativamente rápido debido a los altos rendimientos de la

² WIRTGEN GRUOP. Manual de Reciclado en Frío. 2 edición. Windhagen, Alemania: Noviembre de 2004.

maquinaria moderna de fresado. El problema se elimina con la nueva capa de asfalto y las cotas del pavimento se conservan.

Reciclaje de carpeta asfáltica existente. Es la reutilización de la carpeta asfáltica existente que incluye un procedimiento en donde la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada con un agente de reciclaje, con o sin incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, para posteriormente reacondicionar la mezcla asfáltica y finalmente ser compactada³.

A continuación se presentan las medidas para la rehabilitación estructural, identificadas en el Cuadro 1.

Reconstrucción total. Consiste en levantar el material deteriorado o existente para posteriormente realizar una nueva construcción de las capas granulares y la carpeta asfáltica a partir de nuevos materiales. Generalmente este método se lleva a cabo cuando se requieren mejoramientos en los estándares del trazado de una vía. Esta alternativa genera grandes costos, un enorme impacto ambiental y bajos rendimientos.

Construcción de capas adicionales. Cuando se determina que la reconstrucción total no es la alternativa más viable, se debe establecer un tipo de rehabilitación

³ MONTEJO FONSECA Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Colombia, Santafé de Bogotá, D.C. Editorial: Universidad Católica de Colombia. 1998. Segunda edición: p.591.

que no altere los espesores y la calidad de base y súbbase. Generalmente esta alternativa se basa en la construcción de sobrecarpetas asfálticas de gran espesor con el fin de mitigar el problema de falta de capacidad estructural del pavimento. Sin embargo, el incremento en las cotas de superficie habitualmente produce problemas de drenaje.

Reciclado profundo. Esta alternativa consiste en realizar el reciclaje en frío de las carpetas asfálticas y la estructura, para lo cual se debe fresar parte de esta, adicionarle agentes estabilizadores y agua (*en caso de requerirse*), homogenizar y compactar⁴. Esto con el fin de recuperar la mayor cantidad de material del pavimento existente.

Los agentes estabilizadores más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes como también en algunos casos es posible con cementos asfálticos de alto grado de penetración⁵.

Otra alternativa es la combinación de reciclado *in-situ* con reciclado en planta, el cual consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material recuperado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por

⁴IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Rehabilitación de la estructura de un pavimento. Diseño y comportamiento de base reciclada en frío. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

⁵INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997

medio de fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado⁶. El resultado de este reciclaje se puede emplear como capa de rodadura o base la cual se le debe sobreponer una nueva capa superficial.

3.1.3 Examen Superficial del pavimento

La metodología propuesta por la “Guía Metodológica para el Diseño de las Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras”, considera recomendable la adopción de algún índice que defina de manera numérica la condición general de la superficie del pavimento. Para la determinación del índice de deterioro de pavimentos actualmente se cuenta con el método VIZIR.

Método VIZIR. Sistema que clasifica y cuantifica una distinción de las fallas estructurales y funcionales. El método clasifica los deterioros de los pavimentos en dos categorías, A y B.

Las degradaciones de tipo A se caracterizan por condiciones de tipo estructural del pavimento, debido a deficiencias en capas de la estructural del pavimento o en su defecto de las capas asfálticas. Las fallas de tipo A comprenden las

⁶INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997.

deformaciones y los agrietamientos generalmente causados por la fatiga del pavimento.

Las degradaciones del tipo B, en su mayoría son de tipo funcional. Generalmente son deficiencias constructivas y condiciones locales particulares del tránsito. Los deterioros más frecuentes son los agrietamientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos, entre otros⁷.

Determinación del Índice de Deterioro Superficial, “Is”. La solución de los problemas que se manifiestan por medio de las degradaciones del tipo A depende de múltiples factores y, por lo tanto, el diagnóstico exigirá la consideración de aspectos tales como la capacidad portante, la calidad de los materiales existentes, el tránsito futuro, etc. Los deterioros de este tipo suelen generar trabajos importantes de rehabilitación del pavimento, los cuales traen implícito el paliativo para los defectos del tipo B. Así por ejemplo, el sello de grietas para impedir la entrada de agua no es necesario si se acoge a una operación de reciclado para remediar defectos de mayor importancia. De manera general, las degradaciones del tipo B solo intervienen en la solución en ausencia de las del tipo A. Por tal

⁷ MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomo II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002.

motivo, el índice visual global que califica el estado del pavimento solo tiene en cuenta las degradaciones del tipo A⁸.

El primer pasó en la determinación del índice global “Is”, consiste en el cálculo del índice de fisuración (If), el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada, se deberá tomar como representativo de la zona el mayor de los índices calculados.

En seguía, se calcula un índice de deformación (Id), el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. La combinación de “If” e “Id” da lugar a un primer índice de calificación de la calzada, el cual debe ser corregido en función de la extensión y calidad de los trabajos de bacheo.

Efectuada esta corrección, cuando corresponda, se obtiene el “Índice de deterioro superficial” (Is), el cual califica la calzada en la longitud escogida para el cálculo. El valor del Is varía entre 1 y 7, como se muestra en el

Cuadro 2. Sin embargo la valoración de fallas del tipo A no constituye un criterio suficiente para definir las acciones que requiere la calzada para su rehabilitación.

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Bogotá, 2002.

Cuadro 2. Calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento

| VALORES | DESCRIPCION DEL DETERIORO | RANGO DE CALIFICACION VIZIR |
|----------|---|-----------------------------|
| 1 y 2 | Pavimentos con agrietamientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario como: limpieza de bermas, cunetas, alcantarillas de tubo y puentes. | BUENO |
| 3 y 4 | Pavimentos con agrietamiento estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no figurados pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad como: sellos de fisuras, reparcheos, entre otros. | REGULAR |
| 5, 6 y 7 | Pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación. | DEFICIENTE |

Fuente: adaptado por el autor de Ing. Viviana G. Cerón Bermúdez⁹, 2010

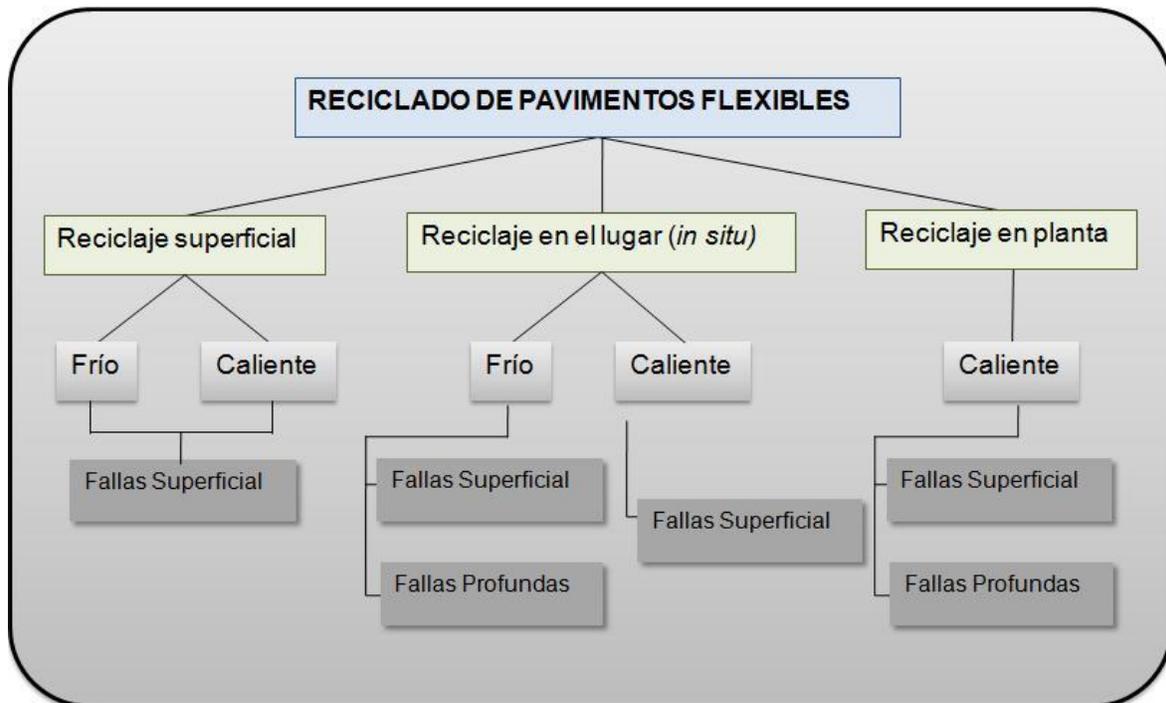
3.1.4 Reciclado De Pavimentos Flexibles

El reciclado de los pavimentos es una técnica de la construcción de vías, que consiste en un tratamiento que se le realiza a un pavimento existente o deteriorado, el cual puede emplearse como refuerzo estructural o carpeta de rodadura. Este procedimiento se caracteriza por tener bajos costos constructivos.

⁹ Ing. VIVIANA G. CERON BERMUDEZ. Evaluación y comparación de metodologías VIZIR y PCI sobre el tramo de vía en pavimento flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya – Crq Armenia. Universidad Nacional de Colombia. Programa de Ingeniería Civil. Manizales 2006

El reciclado de pavimentos flexibles se divide en tres tipos, los cuales se subdividen dependiendo el tipo de reciclaje que se deba aplicar, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Reciclado de Pavimentos Flexibles



Fuente: adaptado por el autor de Montejo, 2010.

Reciclaje superficial. Consiste en la rehabilitación mediante el retratamiento de la superficie del pavimento en bajos espesores generalmente no superiores a los 2.5 centímetros, en casos en que los deterioros del pavimento no sean atribuibles a deficiencias estructurales. El proceso puede adelantarse en caliente o en frío e incluye todo procedimiento en que la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada o no de un agente de reciclaje, con o sin la

incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, reacondicionada y recompactada.¹⁰

Dentro de las fallas superficiales que se pueden tratar con este tipo de reciclaje se encuentran: degradación de la carpeta por pérdidas de ligante o agregados pétreos, problemas de rotura y fatiga en la carpeta asfáltica y abultamientos producidos por mezclas asfálticas de baja estabilidad entre otras.

Reciclaje en el lugar (*in situ*). Este tipo de reciclado se puede definir como la reutilización y disgregación de las carpetas asfálticas y en ocasiones parte de la base granular en un pavimento existente. El proceso se puede adelantar en frío o en caliente dependiendo el tipo de falla que se pretenda rehabilitar. El reciclaje *in situ* en frío se puede clasificar en dos tipos: reciclaje superficial y reciclaje profundo o recuperación total de espesores (full depth reclamation)¹¹, mediante un tratamiento en el que se le adiciona un agente de reciclaje y en ocasiones nuevos materiales pétreos. Los agentes de reciclaje o aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cemento Portland, cal, cenizas volantes y eventualmente cementos asfálticos de alto grado de penetración.

¹⁰ MONTEJO F. Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras.. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997,p.274-275.

¹¹IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Experiencia del reciclaje de pavimentos en Colombia utilizando emulsiones asfálticas. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

El reciclaje *in situ* en caliente trata fallas de tipo superficial mediante la reutilización de la carpeta asfáltica después de ser fresada, y nuevamente colocada y compactada. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos y/o mezcla asfáltica nueva; en ocasiones se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas, generalmente cuando el material de fresado que se pretende reciclar es superior o igual al 30 por ciento o cuando su asfalto está muy envejecido. La operación es realizada completamente en el sitio de la intervención por medio de un tren de trabajo y puede tratar rehabilitaciones superficiales con espesores hasta seis (6) centímetros.¹²

Reciclaje en planta. Proceso mediante el cual los materiales recuperados de la carpeta asfáltica y/o base granular producto de la escarificación del pavimento existente, son transportados y mezclados en una planta central para la obtención de una nueva mezcla asfáltica en caliente, que puede ser utilizada como base asfáltica o carpeta de rodadura. Este tipo de reciclaje trata fallas tanto superficiales como profundas.

El proceso se adelanta en caliente, y para la obtención de la nueva mezcla se combinan materiales recuperados de un pavimento asfáltico y eventualmente de base granular, con asfalto y agregados nuevos y/o agentes de reciclaje,

¹² REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

dependiendo las condiciones en que se encuentra el material recuperado. En general, el proceso en planta es económicamente más costoso por metro cúbico de material, debido a los costos de transporte, que no existen en el reciclado *in situ*¹³.

3.1.5 Estado del arte del reciclado de pavimentos flexibles en Colombia

En Colombia actualmente se están empleando desde el punto de vista constructivo las técnicas de reciclaje *in situ* en frío y en planta, siendo la de mayor utilización la primera. Cada una de estas trata fallas específicas en donde se encuentran las que alteran la capacidad estructural y las que no la alteran. La selección de la alternativa será el resultado de todas las condiciones actuales de funcionalidad y capacidad estructural del pavimento existente.

Corresponde al Instituto Nacional de Vías del Ministerio de Transporte ejecutar las políticas y proyectos relacionados con la infraestructura vial a cargo de la Nación, en lo que se refiere a carreteras. La entidad ha establecido políticas, reglas y normas para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de la red vial

¹³ ALARCÓN, Jorge. Tesis Doctoral. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Enero de 2003.

nacional, de manera que ella presente las condiciones de calidad, seguridad y eficiencia¹⁴.

Las “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras”¹⁵ relacionan en el capítulo cuarto del documento de las especificaciones técnicas - INVIAS, referente a los pavimentos asfálticos, los artículos que involucran el reciclaje de pavimentos.

Cuadro 3. Especificaciones generales de construcción de carreteras

| NORMA | DESCRIPCIÓN |
|-----------------|--|
| Artículo 461-02 | “RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN FRIO EN EL LUGAR EMPLEANDO LIGANTES BITUMINOSOS.” |
| Artículo 462-02 | “RECICLADO EN CALIENTE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS” |

Fuente: adaptado por el autor de INVIAS, 2010.

En términos generales, sólo los pavimentos flexibles pueden ser reciclados *in-situ*. Los pavimentos rígidos contruidos de un hormigón de alta resistencia habitualmente son demolidos al final de su vida útil.

A comienzos de 1992 en Colombia se empezó a intensificar la técnica del reciclaje en frío utilizando emulsiones asfálticas como ligante. Por ende se ha venido

¹⁴MONTEJO, Alfonso. Reciclaje de Pavimentos. Primer encuentro nacional de pavimentos.

¹⁵INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras - INVIAS 2002. Capítulo cuarto, artículo 461-02 y 462-02.

ganando experiencia y conocimiento sobre la importancia del reciclado de pavimentos.

En la actualidad, el tratamiento *in-situ* de los materiales de pavimentos es de uso generalizado, debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a un costo muy inferior de los métodos de reconstrucción convencionales. Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda de construcción de nuevas carreteras. Como consecuencia de esto, el reciclado *in-situ* ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.¹⁶

En Colombia se ha implantado el sistema de reciclaje de pavimentos en frío para diversos proyectos, se pueden nombran algunas experiencias al respecto como: la vía Puertos López – Puerto Gaitán (Meta), Quibdó – Yuto (Choco), Medellín – Santuario (Antioquia), Cali - Loboguerrero (Valle del Cauca), Manizales - Mesones (Caldas), Autopista Bogotá – Villavicencio (Cundinamarca), entre otras. En la ciudad de Bogotá se ha llevado a cabo algunos trabajos de reciclaje en frío en vías principales, como: Av. Américas, Av. 68, Av. Boyacá, Av. Lara Bonilla. Cll 127 y en

¹⁶FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, FHWA. Department of Transportation. Pavement Preservation. Cold In place Asphalt Recycling and Hot In place Asphalt.

algunas vías de las localidades de: Engativá, Los Mártires, Kennedy, Usme, Bosa, entre otras¹⁷.

3.2 MARCO NORMATIVO

En el Cuadro 4 se presentan la normatividad con la cual se realizó el trabajo de reciclado *in situ* en caliente, en el estado de Aguascalientes (México), tanto técnica como ambiental, la normatividad Mexicana para determinar la calidad de la mezcla asfáltica colocada en la vía, y la norma Colombiana de ensayo para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas utilizada en esta investigación para evaluar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Cuadro 4. Normatividad relacionada en esta investigación

| NORMA | TITULO | DESCRIPCION |
|--|---|--|
| SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION | Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica | Determinar los procedimientos y características para el reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles |
| SCT N-CMT 4-05-003 | Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras | Determinar los métodos para la realización de ensayos para la calidad de mezclas asfálticas para carreteras. |
| SCT N-CSV-CAR-502001 | Practicas Ambientales Durante la Elaboración de Carpetas Asfálticas | |

¹⁷ CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007.

| NORMA | TITULO | DESCRIPCION |
|----------------|---|---|
| INV E-749 - 98 | Ensayo de Módulo Dinámico Elástico - Deformación Controlada | Determinar el método para la realización del ensayo de módulo dinámico en mezclas asfálticas. |

Fuente: adaptado por el autor de la Normatividad Mexicana¹⁸ y INVIAS, 2010.

3.3 MARCO TEMÁTICO

Para la realización de esta investigación se obtuvo información correspondiente al reciclado de pavimentos flexibles *in situ* en caliente. Debido a que esta tecnología no se encuentra actualmente disponible en Colombia, se tomó como referencia el trabajo realizado en el Estado de Aguascalientes (*México*), lugar donde se estaba implementando ésta tecnología.

3.4 RECICLAJE DE PAVIMENTOS IN SITU EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Se entiende como reciclado de mezclas asfálticas en caliente a su reutilización después de ser fresadas, y nuevamente colocadas y compactadas. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos y/o mezcla asfáltica nueva; en ocasiones se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Las mezclas asfálticas recicladas que son diseñadas adecuadamente logran alcanzar un comportamiento similar a las fabricadas con materiales nuevos. La operación es realizada

¹⁸ SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Csv. Conservación. México: 2007

completamente en el sitio de trabajo por medio de un tren de trabajo y puede tratar rehabilitaciones superficiales con espesores hasta seis (6) centímetros. Por tanto, esta técnica presenta numerosos beneficios entre los que se destacan los medios ambientales¹⁹.

Cuando el material de fresado que se pretende reciclar es superior o igual al treinta (30) por ciento o cuando su asfalto está muy envejecido, se deben utilizar agentes rejuvenecedores que lo restauren. Las fallas en un concreto asfáltico deteriorado que se relacionan en la Tabla 1 pueden ser eliminadas mediante el reciclaje *in situ* en caliente.

Tabla 1. Fallas tratadas con la tecnología

| Síntomas | Solución con el reciclado |
|---|--|
| Fisuras en la carpeta asfáltica | Las fisuras son eliminadas |
| Perdida de adherencia en el agregado pétreo | Mezclado y recubierto con ligante |
| Desniveles y resaltos hasta 6cm en la carpeta asfáltica | Escarificación y renivelación de la carpeta asfáltica |
| Perdida del drenaje superficial | El bombeo y las mezclas drenantes son reacondicionadas |
| Perdida de viscoelasticidad del asfalto | Restablecida por medio de rejuvenecedores |
| Cambio en la granulometría | La gradación es restablecida |
| Perdida de transitabilidad y confort | Mejora la resistencia al deslizamiento |

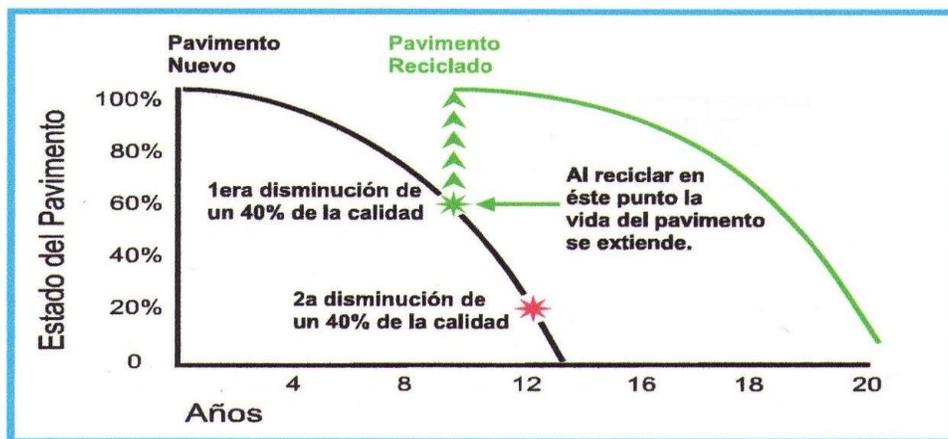
Fuente: adaptado por el autor de Repaving Cutler, 2010.

¹⁹ REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

El deterioro del pavimento está altamente influenciado por condiciones climáticas severas, alto volumen de tráfico y cargas excesivas, así como también por la calidad de su construcción y su rehabilitación. Los pavimentos se diseñan para tener una vida útil y proporcionar un determinado nivel de servicio durante el período proyectado. Con el paso del tiempo, los pavimentos sufren deterioros o fallas provocadas por el tráfico o por el medio ambiente, que hacen necesaria su conservación, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción²⁰.

Como se muestra en la Figura 3, el deterioro de los pavimentos de asfalto se acelera después de varios años de servicio, pero una rehabilitación a tiempo con tratamientos como la adición de una capa de rodadura o el reciclaje pueden devolver la calidad del pavimento y extender la vida útil de la carretera.

Figura 3. Deterioro del pavimentos asfáltico



Fuente: acceso en internet: Banco Mundial, 2010.

20 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos. www.ingeniería.uady.mxhttp://www.ingeniería.uady.mx/revista/volumen12/mantenimiento_de_pavimentos.pdf. México. Última revisión Octubre de 2009.

El procedimiento completo para la ejecución de esta tecnología contempla la utilización de un tren de trabajo como el presentado en la Figura 4. Este tren de trabajo consta de un pre-calentador (*equipo 1*), un calentador/fresador (*equipo 2*), vertimiento de nuevo material (*equipo 3*), equipo mezclador (*equipo 4*), pavimentadora (*equipo 5*), y compactadores (*equipo 6*)²¹. La ejecución de estos procedimientos tiene que cumplir con la normatividad vigente de recuperación en caliente de carpetas asfálticas para la correcta aplicación de la tecnología.

²¹MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling. www.martec.ca. Canadá. Última revisión Febrero de 2009.

Figura 4. Proceso del método completo



Fuente: Martec Recycling, 2010.

Figura 5. Proceso del método utilizado en Aguascalientes, México



Fuente: Adaptado por el autor de Martec Recycling, 2010.

3.5 PROCESO DE RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES UTILIZADO EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES (MÉXICO).

En el Estado de Aguascalientes, se está implementando una tecnología de reciclado *in situ* en caliente de pavimentos asfálticos para la rehabilitación de las vías existentes. La principal aplicación que se le está dando al material reciclado es la de construir una carpeta reniveladora para posteriormente extender sobre ella una nueva carpeta asfáltica de rodadura compuesta de materiales nuevos. Este trabajo se realiza con una modificación al tren de trabajo completo, el cual se presenta en la Figura 5.

El proceso comienza con el pre-calentador avanzando delante de la recicladora; cuando se terminada de suavizar la carpeta asfáltica, la recicladora culmina el calentamiento y es allí donde se comienza el ciclo de reciclado, adición de agente de reciclaje y posteriormente el tendido simultáneo de la carpeta reniveladora (*material reciclado*) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*). Para asegurar que la unión entre carpetas sea la adecuada, la recicladora mantiene la temperatura durante el proceso con el fin de realizar una junta monolítica entre las carpetas.

La rehabilitación de la carpeta existente o envejecida por medio del reciclado en *in situ* en caliente llevado a cabo en el Estado de Aguascalientes se ilustra en la Figura 6.

Figura 6. Rehabilitación de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

La aplicación de esta tecnología de rehabilitación de pavimentos flexibles la realiza la Secretaría de Obras Públicas (SOP) de Aguascalientes. Este organismo es el encargado de la construcción y/o rehabilitación de las carreteras estatales que se encuentran en el Estado. La SOP para la realización de las rehabilitaciones se rige mediante la normatividad establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT) correspondiente a la Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica²² (SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION).

²² SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Recuperación en caliente de carpetas asfálticas. SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION. México: 2007.

A continuación se muestra las etapas de la rehabilitación, y un paralelo entre la normatividad y el procedimiento llevado a cabo por la SOP en el Estado de Aguascalientes.

Cuadro 5. Etapas de la rehabilitación

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|---|---|
| <p>Etapa 1. Calentamiento de la superficie</p> | <p>G.4.1. La superficie de la carpeta existente será calentada a través del movimiento continuo de calentadores radiantes para permitir la posterior recuperación del material sin romper el agregado en la mezcla asfáltica, manteniendo la temperatura de la carpeta entre ciento cinco (105) y doscientos treinta (230) grados Celsius.</p> <p>G.4.1. Los trabajos de calentamiento de la carpeta serán aplicados por medio de un cofre cerrado el cual se extenderá mas allá de diez (10) centímetros del ancho de la recuperación a ambos lados, de manera tal que la penetración del calor sea uniforme sin causar un diferencial de ablandamiento de la parte superior. El material existente en la superficie no deberá ser expuesto a una flama directa.</p> <p>G.4.2 La intensidad de calor será controlada a través del ajuste apropiado de la flama en una condición estable que no cause emisiones visibles de asfalto carbonizado, de tal manera que el asfalto no sea carbonizado en más de cero coma un (0,1) porciento.</p> | <p>Dentro de la Secretaria de Obras Públicas, se lleva a cabo esta etapa en dos niveles, como primer paso se realiza un precalentamiento (<i>equipo 1</i>), iniciando un suavizado; posteriormente se ejecuta un calentamiento de la superficie final de la carpeta (<i>equipo 3</i>).(<i>Figura 5</i>)</p> <p>Manteniendo la temperatura de la carpeta asfáltica entre ciento cuarenta y cinco (145) y ciento setenta y cinco (175) grados Celsius, para realizar el fresado de la carpeta existente.</p> <p>La ejecución del calentamiento final se da por medio de la recicladora que está equipada con una plataforma de 3,30 X 3,90 metros de calentado. (<i>equipo 3</i>)</p> <p>Los trabajos de calentamiento (<i>precalentamiento y calentamiento final</i>) de la carpeta existente son mediante una flama directa.</p> <p>La norma no establece una temperatura específica para el precalentamiento; esta indica el intervalo de temperatura que debe estar la carpeta para ser fresada</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|--|---|
| <p>Etapa 2. Fresado de carpeta existente</p> | <p>G.5.1 La superficie de la carpeta previamente calentada será inmediatamente cortada. La profundidad mínima del recorte será en promedio de dos (2) centímetros por pasada del equipo de acuerdo con lo establecido en el proyecto o por la secretaria.</p> <p>G.5.2 El recorte de la carpeta se hará con una tolerancia de más menos cero coma seis ($\pm 0,6$) centímetros respecto a la profundidad o al plano de corte que indique el proyecto o por la Secretaría.</p> <p>G.5.3 La recuperación se realizará siguiendo una trayectoria paralela al eje de la carretera, iniciando y terminando en líneas normales a dicho eje.</p> <p>G.5.4 El recorte se realizará con los cuidados necesarios para que los materiales pétreos recuperados no sean pulverizados, fracturados o rotos.</p> | <p>El fresado de la carpeta se realiza cuando la carpeta asfáltica existente presenta temperaturas entre ciento cuarenta y cinco (145) y ciento setenta y cinco (175) grados Celsius, rango en el cual se puede fresar.</p> <p>Las profundidades de fresado de la carpeta existente se realizan entre uno como siete (1,7) y dos como cinco (2,5) centímetros (<i>equipo 3</i>).</p> <p>El sistema de escarificación es a través de dientes con punta de carburo de tungsteno, distribuidas en secciones de treinta (30) centímetros que son controladas individualmente por diafragmas, cortan el pavimento en plano de nivelación sin dañar las partículas de los agregados de la mezcla asfáltica existente.</p> |
| | <p>G.7.1 El material recuperado, los materiales pétreos nuevos, los materiales asfálticos y los aditivos que se empleen en la elaboración de las mezclas asfálticas, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir un producto homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la secretaria, utilizando el equipo de recuperación</p> | <p>Se aplica una emulsión asfáltica o agente rejuvenecedor al material fresado para restaurar la viscoelasticidad del asfalto envejecido. (<i>equipo 3</i>)</p> <p>El sistema de aplicación es por medio de cuatro copas giratorias posicionadas a lo ancho de la recicladora las cuales dispersan y agregan la emulsión o rejuvenecedor sobre el material fresado y suelto.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|--|--|
| Etapa 3. Aplicación agente de reciclaje | <p>G.7.2 El diseño de la mezcla será responsabilidad del Contratista de Obra, considerando que para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, determinará el proporcionamiento adecuado mediante un diseño de mezclas de granulometría densa en caliente para el caso de carpetas o considerando lo indicado en la clausula F. de la Norma N CMT 4 02 003, materiales para <i>Bases tratadas para el caso de las bases asfálticas.</i></p> | <p>Según la norma N-CMT-4-05-003/08 (<i>Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras</i>) numeral B.1.1, la mezcla asfáltica de granulometría densa en caliente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzos de pavimentos existentes.</p> <p>Para un proporcionamiento adecuado de la emulsión asfáltica se realizará mediante un diseño de mezclas de granulometría densa en caliente.</p> <p>La norma N-CMT-4-05-003/08 (<i>Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras</i>) en el numeral D.1 establece que el diseño de la mezclas asfáltica se realizará de acuerdo con los procedimientos descritos en el manual M-MMP-4-05-034 (<i>Método Marshall para Mezclas Asfálticas de granulometría Densa</i>).</p> |
| | <p>G.8.2 El contratista de obra determinará, mediante la curva <i>viscosidad-temperatura</i> del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.</p> | <p>Colocación de material reciclado para forma una carpeta reniveladora que cuenta con un espesor entre uno como siete (1,7) y dos como cinco (2,5) centímetros (<i>equipo 3</i>).</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|---|--|---|
| Etapa 4. Tendido de la mezcla asfáltica reciclada | <p>G.8.8. En el caso de que el tendido se realice con la maquina recuperadora, la mezcla se extenderá en una sola capa, con un espesor tal que el equipo sea capaz de compactar.</p> | <p>La plataforma de la recicladora cuenta con una zona que reúne el material fresado después de la aplicación de la emulsión asfáltica o rejuvenecedor, y transporta dicha mezcla hacia un pequeño camellón central bajo la recicladora.</p> <p>El material reciclado rejuvenecido es redistribuido en frente la malla de reciclado de cuatro secciones y posteriormente es tendido para formar la carpeta reniveladora. El tendido se realiza mientras esta mezcla aun esta a una temperatura mayor o igual a ciento diez (110) grados Celsius.</p> <p>La carpeta de rodadura de mezcla asfáltica en caliente nueva, es aplicada inmediatamente para lograr la unión monolítica entre la carpeta reciclada y la carpeta de rodadura.</p> |
| Etapa 5. Tendido de la mezcla asfáltica nueva | <p>G.8.1 El tendido se podrá realizar con el equipo de recuperación o utilizando una pavimentadora autopropulsada, de acuerdo con lo establecido en el proyecto o por la Secretaría, extendiendo la mezcla de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme.</p> | <p>La nueva mezcla asfáltica adicional es vaciada en la tolva de la recicladora y trasladada hasta la plancha pavimentadora vibratoria de cuatro secciones que se encuentra en el costado posterior de la recicladora. Esta plancha coloca la carpeta nueva sobre la carpeta reciclada.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|--|--|--|
| <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Etapa 5. Tendido de la mezcla asfáltica nueva</p> | <p>Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.</p> <p>G.8.2 El contratista de obra determinará, mediante la curva <i>viscosidad-temperatura</i> del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.</p> | <p>El tendido y aplicación de la carpeta asfáltica nueva (<i>equipo 2</i>), con un espesor de dos coma cinco (2,5) centímetros se realiza mientras la temperatura de la carpeta asfáltica reciclada se encuentra igual o por encima de ciento diez (110) grados Celsius, para garantizar la unión monolítica en caliente entre las dos carpetas (<i>equipo 3</i>).</p> <p>La recicladora calienta también la unión entre la carpeta asfáltica reciclada y nueva para asegurar una junta con máxima densidad.</p> <p>Se debe tener máximo cuidado en el momento del traslape de dos franjas longitudinales de carpetas asfálticas ya que si no se realiza un procedimiento manual de junteo, se puede presentar problemas de agrietamiento y fisuras al paso del tráfico.</p> |
| | <p>G.9.4 La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.</p> | <p>La compactación de la carpeta reciclada y la carpeta de rodadura se hará conjuntamente.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|------------------------------|---|---|
| Etapa 6. Compactación | <p>G.9.5 El uso de compactadores vibratorios solo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro (4) centímetros de espesor.</p> <p>G.9.6 La compactación se terminará cuando la mezcla tenga temperatura igual a la mínima establecida en la curva <i>Viscosidad- Temperatura</i> del material asfáltico utilizado</p> | <p>La compactación con esta tecnología se realiza por medio de un cilindro de compactación vibratorio y un compactador neumático.</p> |

Fuente: adaptado por el autor de SCT, 2010.

El anterior procedimiento descrito se realiza en un solo tren de trabajo como se ilustra en la Fotografía 1 y la ficha técnica del equipo se presenta en el ANEXO A

Fotografía 1 Tren de trabajo utilizado en el Estado de Aguascalientes



Fuente: el autor, 2010.

Para identificar los beneficios y desventajas que se presentan durante la ejecución de esta tecnología en el Estado de Aguascalientes, se llevó a cabo un seguimiento que comprendía una auscultación visual a las obras de conservación de algunas carreteras rehabilitadas por la Secretaria de Obras Publicas (SOP) como son:

- La Escondida; Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida,
- Avenida Aguascalientes; tramo Av. López Mateus puente a calle Salvador Quesada L.,
- Avenida 45 Norte,
- Bulevar Juan Pablo II; Tramo de Centro Neurosiquiatrico a carretera. Villa Hidalgo,
- Vía Mahatma Gandhi; Tramo de Siglo Puente a Carretera 45 Sur.

Dentro del seguimiento se realizaron extracciones de núcleos y toma de muestras de la mezcla asfáltica al tramo La Escondida; (*Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida*), con el fin de para evaluar las características mecánicas de mezclas asfálticas a partir de ensayos de laboratorio.

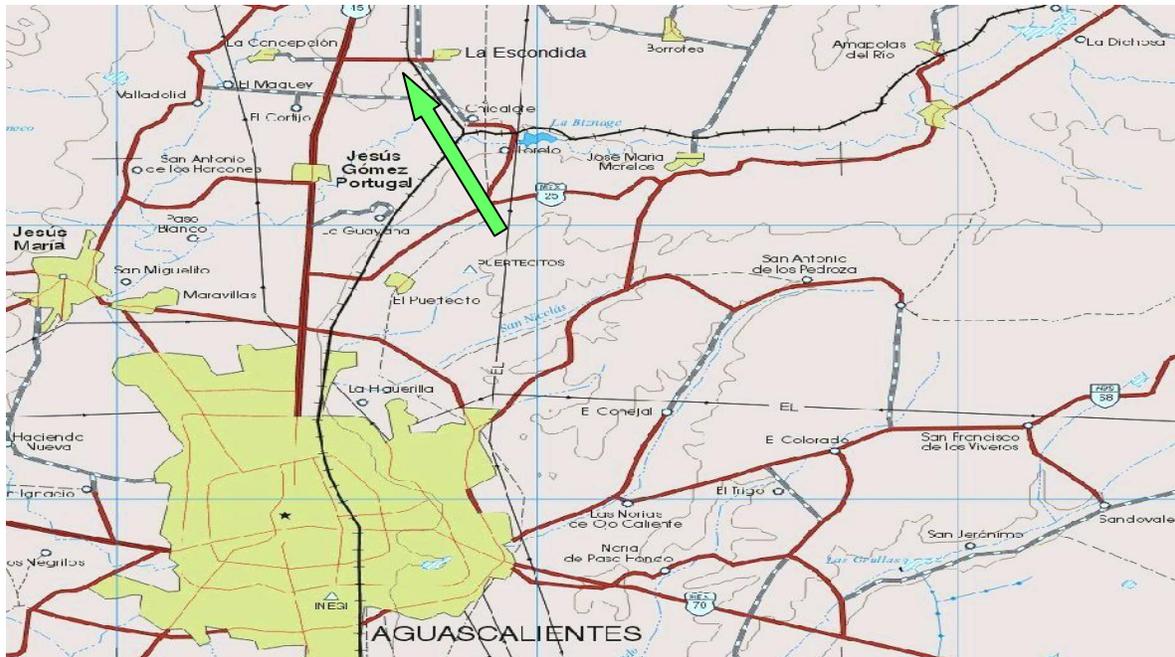
El tramo estudiado, el cual fue intervenido por la SOP en el Estado de Aguascalientes, corresponde al km 0+00 al 2+346 de la vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida. (*Figura 7 y Figura 8*)

Figura 7. Ubicación del estado de Aguascalientes – México



Fuente: acceso en internet: gobierno de Aguascalientes, México, 2010.

Figura 8. Ubicación de la vía rehabilitada.



Fuente: acceso en internet: gobierno de Aguascalientes, México, 2010.

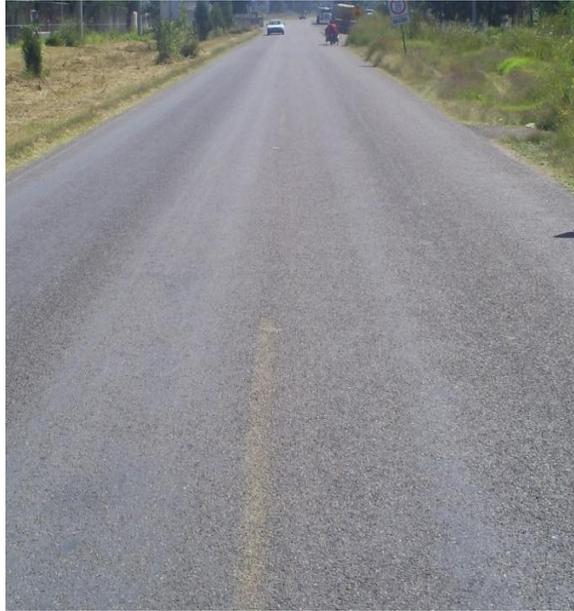
Los ensayos de laboratorios realizados a los núcleos y muestras de la mezcla asfáltica se agruparon en tres etapas en función del momento de muestreo, así: el material extraído antes de la intervención, material tomado durante el proceso de reciclado, y el material extraído después de haber culminado los trabajos de conservación. Los ensayos realizados a las muestras en cada etapa se relacionan a continuación:

- **Etapa “Antes” (Pavimento existen Fotografía 2):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje de asfalto,
 - Estabilidad y flujo,
 - Módulos Dinámicos.

- **Etapa “Durante” (Material fresado sin compactar, Fotografía 3):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje de emulsión asfáltica,
 - Estabilidad y flujo,
 - Módulos Dinámicos.

- **Etapa “Después” (Pavimento rehabilitado):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje Asfalto.
 - Estabilidad y flujo.

Fotografía 2. Pavimento existente



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 3. Material fresado sin compactar



Fuente: el autor, 2010.

Los ensayos de Granulometría y porcentaje de asfalto de las mezclas asfálticas se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de pavimentos de la Secretaría de Obras Publicas de Aguascalientes (*SOP*); en los laboratorios de la Universidad de La Salle de Bogotá se realizaron los ensayos de Estabilidad y Flujo Marshall; y en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se realizaron los Módulos Dinámicos Elásticos.

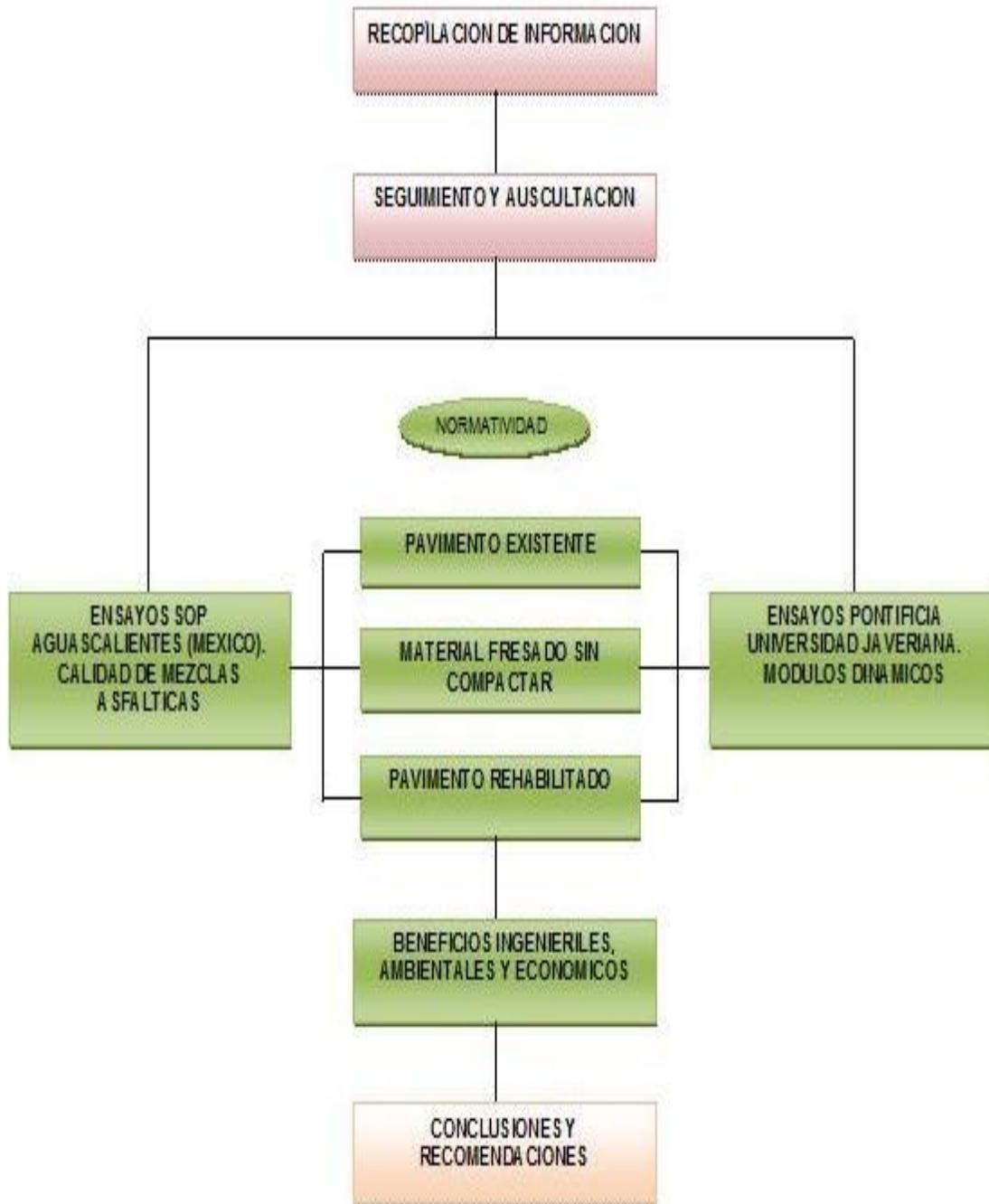
3.6 DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR

La investigación que se realizó corresponde al tipo de investigación pre-experimenta: Mirar el antes, “durante” y el después del fenómeno. Según Sabino “Un experimento consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto.”²³

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta principalmente tres fases metodológicas, las cuales se presentan en la Figura 9. Estas fases son: una primera fase preliminar donde se realizó la búsqueda del material bibliográfico, una segunda fase donde se realizó el trabajo de campo y los ensayos de laboratorio, y una fase final donde se encontraron los beneficios y desventajas de la tecnología aplicada en Aguascalientes.

²³ SABINO, Carlos. El proceso de investigación. Buenos Aires: 1978.

Figura 9. Diagrama metodológico



Fuente: el autor, 2010.

3.6.1 Fase preliminar

En esta fase se realizó la búsqueda del material bibliográfico necesario para la adecuada realización de la investigación, esto con el fin de establecer los parámetros adecuados para el correcto estudio de los beneficios de la tecnología del reciclaje *in situ* en caliente.

3.6.2 Fase Trabajo de campo y ensayos de laboratorio

En esta fase se realizaron nueve muestreos, tres por cada etapa del estudio. Con el material extraído se realizaron los ensayos de laboratorio que se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de ensayos de laboratorio

| Etapa | Numero de muestras | Ensayos | | |
|-------------------------|--------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| | | Granulometría | Porcentaje asfalto | Módulos dinámicos |
| Pavimento existente | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Reciclado sin compactar | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Pavimento rehabilitado | 3 | 3 | 3 | - |

Fuente: el autor, 2010.

3.6.3 Fase beneficios y desventajas

Con la investigación de campo y los resultados obtenidos por medio de los ensayos de laboratorio se analizaron los beneficios y desventajas de la tecnología, y las falencias de la ejecución de este procedimiento realizado por la SOP en el Estado de Aguascalientes. Por último se resalta la importancia del desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclado de pavimentos flexibles en Colombia.

3.7 OBJETO DE ESTUDIO

Determinar los beneficios de la tecnología del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles para la rehabilitación de carreteras.

3.8 INSTRUMENTOS

En el desarrollo de esta investigación se tomaron como base los formatos utilizados en la SOP y los establecidos por la Pontificia Universidad Javeriana para el ensayo de Módulo Dinámico.

3.9 VARIABLES

A continuación se presentan las variables metodológicas de la investigación.

(Cuadro 6)

Cuadro 6. Variables de la investigación

| CATEGORÍA DE ANÁLISIS | CONSTANTES | VARIABLES | INDICADORES |
|--|------------------------|-----------------------------------|---|
| Beneficios del reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles. | Pavimento existente | Calidad de mezclas asfálticas | Granulometría, Porcentaje de asfalto, Estabilidad y Flujo, Módulo Dinámico, Características del pavimento rehabilitado. |
| | Material reciclado | | |
| | Pavimento rehabilitado | Estado del pavimento rehabilitado | |

Fuente: el autor, 2010.

3.10 HIPOTESIS

El reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles es la tecnología ingenieril, económica, y ambiental, más adecuada para la rehabilitación de las vías terrestres.

3.11 COSTOS

Los costos de la presente investigación fueron de dos millones ciento treinta y nueve mil ochocientos treinta y un pesos \$2.139.831 La relación de estos costos se presenta en ANEXO D.

4 ALCANCE Y LIMITACION

4.1 ALCANCE

El alcance del proyecto de grado fue determinar los beneficios del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles. Para esto se identificaron las bondades ingenieriles, ambientales y económicas mediante el trabajo de seguimiento, auscultación, ensayos de laboratorios, y análisis. Se escogió un tramo en ejecución en el Estado de Aguascalientes (México), y se recolectaron muestras del concreto asfáltico antes de la intervención, durante ésta, y después de los trabajos; posteriormente se analizó la granulometría, el porcentaje de asfalto, y los módulos dinámicos del material recuperado. Al término de este proyecto de grado se pretende incentivar a que otros investigadores realicen estudios de factibilidad para implantar esta tecnología en Colombia.

4.2 LIMITACION

Para el desarrollo de la investigación se tiene como principal factor limitante que al contenido de asfalto en el material reciclado no se caracterizará reológicamente ya que en los laboratorios de la SOP y de la Universidad de La Salle no se cuenta con el equipo (reómetro de corte dinámico) para realizar este ensayo.

5 TRABAJO INGENIERIL

5.1 SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION

El objetivo general de esta investigación fue el determinar los beneficios de esta tecnología que se implemento para el reciclaje de pavimentos flexibles. Como parte del estudio se realizó el seguimiento y auscultación de algunas vías rehabilitadas por la SOP en el estado de Aguascalientes (*Figura 7*) utilizando la tecnología de reciclaje *in situ* en caliente después de dos meses y un año de haber sido intervenidas. Este análisis se complementó con un trabajo de laboratorio donde se estudió la calidad y características mecánicas de las mezclas asfálticas del pavimento existente, material reciclado, y pavimento rehabilitado, resultados que se presentan en el Capítulo 5.2.

5.1.1 Estado del pavimento existente

Con el fin de establecer en qué estado se encontraba las vías, fue necesario realizar un estudio previo y una evaluación superficial del pavimento para identificar las fallas de la carpeta a rehabilitar.

La SOP ha determinado que los pavimentos a rehabilitar con la tecnología de

reciclado *in situ* en caliente sean solo aquellos que presenten fallas de tipo superficial, debido a que con los equipos que cuentan actualmente sólo logran escarificar la carpeta asfáltica hasta una profundidad máxima de dos coma cinco (2,5) centímetros, impidiendo rehabilitar las estructuras con otros tipos de fallas. Así entonces, la tecnología de reciclaje a utilizarse para la rehabilitación de un pavimento con fallas estructurales sería la de reciclaje *in situ* en frío o el reciclaje en caliente en planta. La SOP estableció el tipo de fallas superficiales en una vía donde se podría emplear el reciclaje *in situ* en caliente.

En las vías en las cuales se realizó el seguimiento se detectaron las siguientes fallas establecidas por la SOP para la rehabilitación de la carpeta asfáltica empleando esta tecnología.

Fallas por desintegración

Es la desintegración superficial de la mezcla asfáltica que se puede presentar por pérdida de ligante, desprendimiento del agregado, afloramiento de asfalto, y/o destrucción de los bordes del pavimento; todo esto debido a la acción del tránsito, ausencia de confinamiento lateral, deficiencia en la compactación, exceso de contenido de asfalto en la mezcla, entre otros²⁴. Durante el seguimiento de las vías rehabilitadas por la SOP se identificaron las siguientes fallas por

²⁴ UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos.

desintegración:

Perdida del agregado: Desintegración superficial de la carpeta asfáltica que se manifiesta por la pérdida del asfalto y desprendimiento del agregado, lo que incrementa la rugosidad de la carpeta de rodadura y expone a los agregados a la acción de los agentes climáticos. Las causas por las que se presentan estas fallas son debidas a la calidad del ligante asfáltico, acentuándose en asfaltos envejecidos o endurecidos, a agregados contaminados o muy absorbentes, a los defectos en la construcción, o en algunos casos a la acción de agentes agresivos como solventes, agua, entre otros. En la Fotografía 4 se presenta este tipo de falla en una de las vías rehabilitadas por la SOP en el estado de Aguascalientes.

Fotografía 4. Perdida del agregado



Fuente: el autor, 2010.

Exudación: Este es otro tipo de falla contemplado por la SOP en la cual se puede emplear la tecnología del reciclado *in situ* en caliente. Sin embargo, no fue posible encontrar este tipo de falla en los tramos auscultados. La exudación es el afloramiento del asfalto en la superficie del pavimento, formando una capa brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa. Este tipo de falla disminuye la resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos. Sus causas principales son el contenido excesivo de asfalto en la mezcla, el material de sello en las fisuras, y el bajo contenido de vacíos. Este tipo de falla se presenta en la Fotografía 5 a modo de ejemplo²⁵.

Fotografía 5. Exudación en la carpeta existente



Fuente: www.google.com/imagenes 2010.

²⁵ MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomó II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002

Desintegración de bordes: Es la destrucción progresiva de los bordes del pavimento por acción del tránsito, diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma; Este daño permite la filtración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro. Frecuentemente se relaciona con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños, ausencia de liga entre calzadas, bermas no pavimentadas o construidas por separado falta de confinamiento lateral ej. Sardinel (Fotografía 6).

Fotografía 6. Desintegración de bordes en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Descascaramiento: Son cavidades en forma redondeada con bordes bien marcados que resultan del desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes. Las causas más

frecuentes es limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales, espesores insuficientes de la capa de rodadura asfáltica, riego de liga deficiente y mezcla asfáltica muy permeable. (Fotografía 7)

Fotografía 7. Descascaramiento en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fallas por deformación

Las fallas por deformación son producidas frecuentemente por la capacidad estructural del pavimento. Aunque el reciclado *in situ* en caliente solo puede utilizarse cuando se presentan fallas superficiales, es posible controlar esta deformación cuando presenta un nivel de severidad bajo, mitigando el deterioro progresivo del pavimento. Sin embargo debido a la falla presentada llegara el

momento de realizar una construcción y/o reconstrucción de la estructura del pavimento. Dentro de esta categoría se encuentran las fallas por abultamiento

Abultamientos de baja severidad: Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias, fallas que se caracterizan por presentar irregularidades en el perfil y serpenteo de la demarcación de la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras. Las causas son generalmente 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; el exceso de asfalto, falta de vacíos con aire, acción del tránsito y altas temperaturas son otras causas para que se presente estas fallas²⁶. (*Fotografía 8*)

Cuando se presenta una baja severidad causa cierta vibración en el vehículo sin llegar a generar gran incomodidad al conductor, una severidad moderada puede llegar a causar una vibración significativa en el vehículo. Sin embargo una severidad alta causa vibración excesiva y continua del vehículo generando gran incomodidad, riesgo a la seguridad, y obliga a una reducción de la velocidad

²⁶UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos.

Fotografía 8. Abultamiento de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fallas por fisuración

Las fisuras en pavimentos flexibles son discontinuidades en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito a transversales a él. Estas son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en la fibra inferior de las capas asfálticas de la estructura que superan los esfuerzos admisibles del material. La localización de las fisuras pueden ser un buen indicativo de las causas que las generó; por ejemplo, aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con la resistencia a la fatiga del material²⁷. Algunas de estas fallas por fisuración se encontraron en el seguimiento y auscultación que se realizó en las vías del estado

²⁷ CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006

de Aguascalientes, a continuación se hace una descripción de cada una de ellas.

Fisuras longitudinales y transversales: Son fracturas del pavimento que se presentan paralelo y trasversal al eje de la vía (*Fotografía 9 y Figura 10*). Las causas más comunes para estas fisuras son:

Fotografía 9. Fisuras longitudinales en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

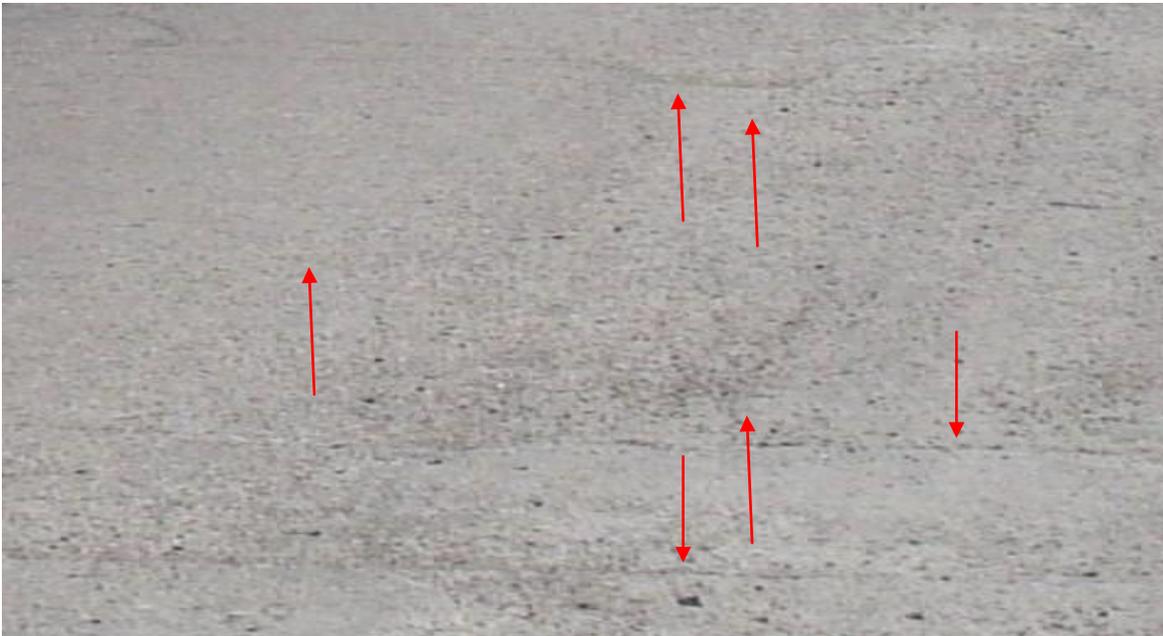
- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto; ocurre en presencia de bajas temperaturas o gradientes térmicos generalmente superiores a 30°C,
- Reflejo de las grietas en las capas superiores, generalmente las que se presentan en los materiales estabilizados,
- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en la huella del tránsito, y

se caracterizan por ser fisuras longitudinales,

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura, o ausencia del riego de liga.

Se presentan en las zonas de contacto entre la estructura y el terraplén por la diferencia de rigideces entre los materiales. Estas fallas se caracterizan por presentar fisuras transversales en el pavimento flexible.

Fotografía 10. Fisuras transversales en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fisuras de borde: Fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada. Se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada. Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con un ancho de hasta 0.6 m.
(Fotografía 11)

Fotografía 11. Fisura de borde en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fisuras en bloque: Cuando se presentan este tipo de daños, la superficie de la carpeta asfáltica es dividida en bloques caracterizada en una serie de fisuras interconectadas que la dividen en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar de tamaño de unos 30 cm x 30 cm a 3 m x 3 m. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que éste último aparece en áreas sometidas a altas frecuencias de carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas que son poco solicitadas (*Fotografía 12*).

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. Otra causa es el reflejo de las grietas de contracción en capas inferiores de materiales estabilizados con ligantes hidráulicos. Por último se encuentra la combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.

Fotografía 12. Fisuras en bloque de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Piel de cocodrilo: Son series de fisuras interconectadas con patrones irregulares, frecuentemente 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 la cargas. Las piezas que se forman por lo general tienen un diámetro promedio menor a treinta (30) centímetros.

Estas fisuras también se puede presentar en zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con fallas estructurales (aquellas generadas por altos volúmenes de tránsito o por deficiencia del espesor de las capas).

Las causas más frecuente de las fallas por fatiga en la estructura o de la carpeta asfáltica se deben principalmente a²⁸:

- Espesor insuficiente de la estructura,
- Deformaciones en la subrasante, y subrasantes expansivas,
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga debido a la 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 asfalto en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración, deficiencia de asfalto en la mezcla,
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

²⁸ CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006.

Es de aclarar que para hacer un adecuado seguimiento de los pavimentos, es necesario contar con el equipo apropiado. Debido a que en esta investigación no se contaba con la información acerca del estado de la carpeta existente, debido a la carencia de recursos económicos y el tiempo de seguimiento era muy corto, se optó por realizar una inspección visual del pavimento para establecer a grandes rasgos el estado de la carpeta asfáltica existente.

5.1.2 Características de la carpeta rehabilitada

Al término del proceso de rehabilitación se procedió a realizar un seguimiento del estado de la carpeta asfáltica rehabilitada por medio de auscultación visual. El control que la SOP realiza a las vías existentes y rehabilitadas consiste en la medición de gestión del pavimento de acuerdo al tiempo de deterioro de las carpetas asfálticas, mediante un equipo llamado perfilógrafo láser de alto rendimiento, esto con el fin de establecer como se ha comportado la carpeta después de la ejecución de los trabajos. El equipo de medición de gestión de pavimentos está preparado para:

- Registro de perfiles longitudinales y transversales,
- Calculo de índices de regularidad superficial (IRI),
- Medida y registro de la textura de los pavimentos,
- Levantamiento de fallas.

El seguimiento a la carpeta rehabilitada realizado en esta investigación se efectuó después de dos meses y un año de haberse realizado la intervención. (Anexo B)

5.1.3 Estado de la carpeta rehabilitada a los dos meses

La rehabilitación de las vías realizada por medio del reciclado *in situ* en caliente presentaba ciertas características que pueden servir para establecer si la tecnología está cumpliendo con las necesidades del usuario. Es importante anotar que la probabilidad de encontrar fallas en tan corto tiempo es relativamente baja; sin embargo, el hecho de detectar fallas en la carpeta puede llegar a ser un buen indicativo de la efectividad de la tecnología utilizada. Las características observadas después de dos meses de intervención fueron:

Carpeta uniforme y con buena superficie de rodadura. La carpeta rehabilitada presenta una buena uniformidad en su superficie, lo que se traduce en un buen confort del usuario al transitar por la vía y menores tiempos de desplazamiento. Esto puede significar que la aplicación de esta tecnología está dando buenos resultados (*Fotografía 13*).

Fotografía 13. Carpeta rehabilitada, municipio la Escondida Km 0+000



Fuente: el autor, 2010.

Áreas sin reciclar. Durante la ejecución del fresado se detectó que el operario del equipo de fresado dejaba áreas sin escarificar, resultando solamente la carpeta asfáltica nueva sobre la carpeta asfáltica antigua. Al no fresarse la carpeta asfáltica antigua, se está colocando una carpeta asfáltica nueva con espesor no homogéneo sobre un material que puede presentar fallas superficiales y estar desnivelado, lo que conlleva a que el reciclado no sea uniforme a lo largo de la vía como se muestra en la (*Fotografía 14*). Este problema se presenta comúnmente en áreas laterales de las calzadas.

Fotografía 14. Problemas durante la escarificación. Municipio la Escondida Km 1+300



Fuente: el autor, 2010.

Otras características. Dentro de otras características observadas, se puede destacar la carencia de obras de drenaje superficial en la mayoría de las vías auscultadas. Aunque esta región presenta periodos muy cortos de lluvia durante todo el año, la insuficiencia de drenajes superficiales puede llegar a implicar un deterioro acelerado de la estructura del pavimento que se activa durante estos periodos de lluvia.

5.1.4 Estado de la carpeta rehabilitada al año de ser intervenida

Las características observadas después de dos meses de la intervención no es un claro indicio del buen comportamiento de la rehabilitación. Es por esto que para

complementar esta auscultación se realizó un recorrido por las diferentes vías del estado de Aguascalientes después de un año de ser rehabilitadas con el reciclado *in situ* en caliente. En general las vías presentan una serie de fallas lo que puede indicar que la tecnología este presentado algún problema ya sea en el diseño de las mezclas asfálticas o en el método constructivo empleado. Las características observadas después de un año de la intervención fueron:

Descascaramiento. El método constructivo se basa en que una carpeta nueva esta soportada en un capa asfáltica reniveladora reciclada, las cuales se compactan monolíticamente. Unas de las causas del descascaramiento puede ser la falta de riego de liga entre las dos capas, un espesor insuficiente en la capa de rodadura o que la mezcla asfáltica sea muy permeable. Por otra parte la escases de obras de drenaje puede repercutir en un deterioro acelerado de las carpetas asfálticas (*Fotografía 15*).

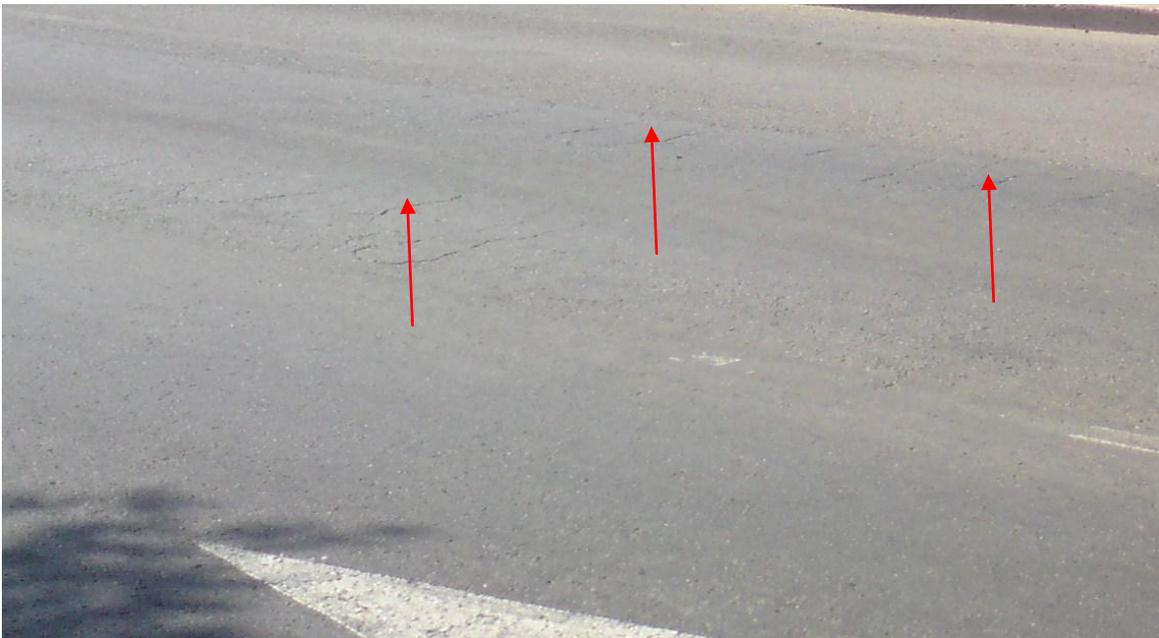
Fisuras transversales. Esta falla en el pavimento rehabilitado se puede presentar debido a la diferencia de rigideces entre la capa reniveladora y la capa de rodadura. Adicionalmente el espesor de la capa nueva o de rodadura y la posible rigidización en la mezcla asfáltica reciclada por la pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler probablemente en el proceso de fresado y reutilización del material existente, puede llegar a ser las causas de esta falla (*Fotografía 16*).

Fotografía 15. Descascaramiento del pavimento rehabilitado. Corregimiento de Villa Hidalgo, Blv Juan Pablo II K1+368



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 16. Fisuras en el pavimento rehabilitado. Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador Quesada L. Km 4+210



Fuente: el autor, 2010.

Exudación y abultamientos. Esta falla se puede estar presentando debido a que el contenido de emulsión asfáltica aplicada para restablecer las propiedades del asfalto del material reciclado es muy alto. Esto se aprecia en los contenidos de asfalto que nos arrojó los ensayos de laboratorio capítulo 5.2.2. La exudación en el pavimento rehabilitado igualmente puede deberse a exceso de asfalto en las mezclas asfálticas, lo que puede repercutir en la disminución de la resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos (*Fotografía 17*).

Adicionalmente se están presentando abultamientos en algunas zonas de las vías rehabilitadas por medio de esta tecnología. Estos abultamientos probablemente obedecen al exceso de asfalto o quizás a la falta de vacíos con aire en la mezcla asfáltica reciclada (*Fotografía 18*).

Fotografía 17. Exudación del pavimento rehabilitado. Municipio la Escondida K 2+294



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 18. Abultamientos en el pavimento rehabilitado. Aguascalientes, Ags, Carr.45 Norte
K1+158



Fuente: el autor, 2010.

Intervenciones superficiales. A causa de las diferentes fallas que se han presentado en el pavimento rehabilitado, la SOP ha realizado intervenciones superficiales como sellos de grietas, reparcheos (*Fotografía 19*), entre otras. El seguimiento y auscultación se realizó al reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles aplicado en el estado de Aguascalientes.

Fotografía 19. Reparcheo en pavimento rehabilitado. Aguascalientes, Ags, Carr.45 Norte K2+453



Fuente: el autor, 2010.

5.1.5 Cuantificación y clasificación de las fallas encontradas después de la rehabilitación.

Para la realización de este estudio se empleó el método VIZIR, con el fin de determinar el índice de deterioro superficial y el estado actual del pavimento, después de un año de la rehabilitación ejecutada por medio del reciclado in situ en caliente. A continuación se presenta los valores obtenidos, de acuerdo a los cálculos realizados en el ANEXO B:

La Escondida; Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida.

Para la cuantificación de los deterioros en esta vía se tomaron catorce (14) unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros. En la Tabla 3 se presentan los tipos de fallas.

Tabla 3. Cuantificación de los deterioros. Vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 800,56 | 158,45 | | 959,01 | 5,92 | 42,84 |
| Fisuras por bloque | 193,30 | | | 193,3 | 1,19 | 8,64 |
| Desprendimiento de agregado | 191,90 | 168,20 | | 360,1 | 2,22 | 16,09 |
| Exudación | 319,64 | 45,00 | | 364,64 | 2,25 | 16,29 |
| Descascaramiento | 114,70 | | | 114,7 | 0,71 | 5,12 |
| Abultamientos | 113,12 | | | 113,12 | 0,70 | 5,05 |
| Desintegración de bordes | 86,50 | | | 86,5 | 0,53 | 3,86 |
| Reparcheos | 47,00 | | | 47 | 0,29 | 2,10 |
| Total | | | | 2238,37 | 13,82 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Como se muestra en la tabla anterior, el porcentaje de daño que presenta la vía es del trece como ochenta y dos (13,82) por ciento y este a su vez indica que la falla que ocupa mayor porcentaje son las fisuras longitudinales y trasversales con el cuarenta y dos coma ochenta y cuatro (42,84) por ciento, seguido de la exudación con el dieciséis coma veinte nueve (16,29) por ciento y como tercer daño de importancia se encuentra el desprendimiento de agregado con el dieciséis

coma cero nueve (16,09) por ciento.

Para establecer la clasificación de los deterioros de la vía, se calculó el índice de deterioro superficial y su posterior calificación, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los deterioros. Vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Abscisa | | Is | Calificación |
|----------------|--------------|-----------|---------------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 2 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 3 | Regular |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 3 | Regular |
| K 0+800 | K 1+000 | 2 | Bueno |
| K 1+000 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+400 | 2 | Bueno |
| K 1+400 | K 1+600 | 3 | Regular |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 0 | Bueno |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 2 | Bueno |
| K 2+400 | K 2+600 | 2 | Bueno |
| K 2+600 | K 2+700 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

Con base en los resultados obtenidos de la cuantificación y clasificación de las fallas, (Tabla 5) se pudo establecer el porcentaje del estado de la vía. El cual presentó un setenta coma treinta y siete (70,37) por ciento de superficie en buen estado y un veintinueve coma sesenta y tres (29,63) por ciento en estado regular, teniendo en cuenta que la vía fue rehabilitada aproximadamente hace doce (12)

meses.

Tabla 5. Estado de la vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 10 | 1900 | 70,37 |
| Regular | 4 | 800 | 29,63 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | 14 | 2700 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Avenida Aguascalientes; tramo Av. López Mateus (puente) a calle Salvador Quesada L.

En esta vía se tomaron quince (15) unidades de muestreo cada una con una longitud de trescientos (300) metros. En la Tabla 6 se presentan los tipos de fallas.

Tabla 6. Cuantificación de los deterioros. Avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Area total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|---------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 840,00 | 1905,00 | | 2745,00 | 7,63 | 34,53 |
| Fisuras por bloque | 1316,00 | 245,00 | | 1561,00 | 4,34 | 19,64 |
| Desprendimiento de agregado | 367,00 | 2092,80 | | 2459,80 | 6,83 | 30,94 |
| Exudación | 546,00 | 34,00 | | 580,00 | 1,61 | 7,30 |
| Descascaramiento | 347,00 | | | 347,00 | 0,96 | 4,37 |
| Reparcheos | 256,60 | | | 256,60 | 0,71 | 3,23 |
| Total | | | | 7949,4 | 22,08 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

En la avenida Aguascalientes, el área afectada es de veintidós coma cero ocho (22,08) por ciento, arrojando que los daños más representativos son: las fisuras longitudinales y transversales con el treinta y cuatro coma cincuenta tres (34,53) por ciento y el desprendimiento de agregado con el treinta coma noventa y cuatro (30,94) por ciento.

Tabla 7. Clasificación de los deterioros. Avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| ABSCISA | | Is | CALIFICACION |
|---------|---------|----|--------------|
| INICIAL | FINAL | | |
| K 0+000 | K 0+300 | 2 | Bueno |
| K 0+300 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+900 | 2 | Bueno |
| K 0+900 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+500 | 2 | Bueno |
| K 1+500 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+100 | 2 | Bueno |
| K 2+100 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+700 | 3 | Regular |
| K 2+700 | K 3+000 | 3 | Regular |
| K 3+000 | K 3+300 | 2 | Bueno |
| K 3+300 | K 3+600 | 3 | Regular |
| K 3+600 | K 3+900 | 3 | Regular |
| K 3+900 | K 4+200 | 3 | Regular |
| K 4+200 | K 4+500 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

A partir de los índices de deterioro superficial y su posterior calificación se encontró que de quince (15) muestreos realizados, ocho (8) de ellos alcanzaron una calificación buena y el resto una calificación regular (*Tabla 7*), lo que indica que el cuarenta y seis coma sesenta y siete (46,67) por ciento de la vía se

encuentra en condiciones para realizarle tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad. (Tabla 8)

Tabla 8. Estado avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 8 | 2400 | 53,33 |
| Regular | 7 | 2100 | 46,67 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 15 | 4500 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Carrera 45 Norte.

En la Tabla 9 se presentan los tipos de fallas encontrados en la vía, en donde se tomaron trece (13) unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros.

Tabla 9 Cuantificación de los deterioros. Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 852,20 | 480,60 | | 1332,80 | 6,66 | 30,13 |
| Fisuras por bloque | 384,40 | 356,50 | | 740,90 | 3,70 | 16,75 |
| Desprendimiento de agregado | 460,86 | 932,85 | | 1393,71 | 6,97 | 31,51 |
| Exudación | 150,70 | 234,80 | | 385,50 | 1,93 | 8,72 |
| Piel de cocodrilo | 146,70 | | | 146,70 | 0,73 | 3,32 |
| Abultamientos | 56,80 | | | 56,80 | 0,28 | 1,28 |

| Tipo de daño | Gravedad | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--------------|----------|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | |
| Reparcheos | 179,25 | | 179,25 | 0,90 | 4,05 |
| Depresión | 187,70 | | 187,70 | 0,94 | 4,24 |
| Total | | | 4423,36 | 22,12 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Como se muestra en la tabla anterior se puede establecer que la vía cuenta con un 22,12 por ciento de área afectada. Del total de este porcentaje, se encontró que el desprendimiento de agregado ocupa el 31,51 por ciento, siendo la falla más representativa, no obstante se detectaron deterioros de tipo estructural debido a abultamiento, depresiones y baches.

A diferencia de las otras vías en la carrera 45 se detectó en la abscisa 1+200 a 1+600 un índice de deterioro superficial de cuatro (4), lo que repercute en que este tramo se encuentra en el límite del estado regular (*Tabla 10*). Como resultado general el 44,00 por ciento de la vía requiere tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad. (*Tabla 11*)

Tabla 10 Clasificación de los deterioros. Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 2 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 2 | Bueno |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 3 | Regular |
| K 0+800 | K 1+000 | 2 | Bueno |
| K 1+000 | K 1+200 | 2 | Bueno |

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 1+200 | K 1+400 | 4 | Regular |
| K 1+400 | K 1+600 | 4 | Regular |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 3 | Regular |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+500 | 3 | Regular |

Fuente: el autor, 2010.

Tabla 11. Estado Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 7 | 1400 | 56,00 |
| Regular | 6 | 1100 | 44,00 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 13 | 2500 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Bulevar Juan Pablo II; Tramo de Centro Neurosiquiatrico a carretera Villa Hidalgo.

Para la cuantificación y clasificación de los deterioros, se tomaron trece 13 unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros, como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12. Cuantificación de los deterioros Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 467,30 | 589,50 | | 1056,8 | 7,05 | 34,24 |
| Fisuras por bloque | 633,50 | 3,60 | | 637,1 | 4,25 | 20,64 |
| Desprendimiento de agregado | 365,00 | 135,40 | | 500,4 | 3,34 | 16,21 |
| Exudación | 159,20 | | | 159,2 | 1,06 | 5,16 |
| Descascaramiento | 80,90 | 80,40 | | 161,3 | 1,08 | 5,23 |
| Piel de cocodrilo | 67,90 | | | 67,9 | 0,45 | 2,20 |
| Abultamientos | 30,40 | | | 30,4 | 0,20 | 0,98 |
| Desintegración de bordes | 333,10 | 89,40 | | 422,5 | 2,82 | 13,69 |
| Depresión | 50,90 | | | 50,9 | 0,34 | 1,65 |
| Total | | | | 3086,5 | 20,58 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

La vía Bulevar Juan Pablo II, presentó un área de afectación que corresponde al veinte coma cincuenta y ocho (20,58) por ciento, de la cual se desprende un siete coma cero cinco (7,05) por ciento a causa de las fisuras longitudinales y transversales. Se puede observar que este problema se presentó como característica general de las anteriores vías.

Según los datos obtenidos que se muestran en la Tabla 13 y Tabla 14, se puede concluir que solo el treinta y seis (36,0) por ciento necesita de una rehabilitación de mediana intensidad y el restante presenta un pavimento en condiciones óptimas de desempeño donde probablemente puede requerir acciones de mantenimiento rutinario.

Tabla 13 Clasificación de los deterioros del Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 1 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 2 | Bueno |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 2 | Bueno |
| K 0+800 | K 1+000 | 3 | Regular |
| K 1+000 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+400 | 2 | Bueno |
| K 1+400 | K 1+600 | 2 | Bueno |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 3 | Regular |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+500 | 4 | Regular |

Tabla 14. Estado del Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 8 | 1600 | 64,00 |
| Regular | 5 | 900 | 36,00 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 13 | 2500 | 100,00 |

Carretera Mahatma Gandhi; Tramo de Siglo (Puente) a Carretera 45 Sur.

En la última carretera auscultada, se tomaron quince (15) unidades de muestreo cada una con una longitud de trescientos (300) metros, en la Tabla 15 se muestra la cuantificación de fallas que se presentaron.

Tabla 15. Cuantificación de los deterioros. Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|-------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 630,20 | 38,50 | | 668,70 | 1,90 | 37,25 |
| Fisuras por bloque | 96,70 | | | 96,70 | 0,27 | 5,39 |
| Desprendimiento de agregado | 679,30 | 14,50 | | 693,80 | 1,97 | 38,65 |
| Exudación | 99,30 | 14,70 | | 114,00 | 0,32 | 6,35 |
| Descascaramiento | 73,10 | | | 73,10 | 0,21 | 4,07 |
| Abultamientos | 137,20 | | | 137,20 | 0,39 | 7,64 |
| Desintegración de bordes | 11,50 | | | 11,50 | 0,03 | 0,64 |
| Total | | | | 1795 | 5,10 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Al igual que las otras vías el desprendimiento de agregado y fisuras longitudinales y transversales ocupan la mayor parte del área afectación. Sin embargo, tan solo el cinco coma diez (5,10) por ciento con respecto al área total presenta afectación de deterioro del pavimento.

El pavimento de la vía auscultada presenta un setenta y nueve coma cincuenta y cinco (79,55) por ciento en estado bueno, un veinte coma cuarenta y cinco (20,45) por ciento en estado regular y cero (0) por ciento en estado deficiente, con esto podemos indicar, que en comparación con las otras vías auscultadas, está se encuentra en mejores condiciones (*Tabla 16 y Tabla 17*).

Tabla 16. Clasificación de los deterioros. Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+300 | 2 | Bueno |
| K 0+300 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+900 | 2 | Bueno |
| K 0+900 | K 1+200 | 2 | Bueno |
| K 1+200 | K 1+500 | 2 | Bueno |
| K 1+500 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+100 | 0 | Bueno |
| K 2+100 | K 2+400 | 2 | Bueno |
| K 2+400 | K 2+700 | 3 | Regular |
| K 2+700 | K 3+000 | 2 | Bueno |
| K 3+000 | K 3+300 | 3 | Regular |
| K 3+300 | K 3+600 | 2 | Bueno |
| K 3+600 | K 3+900 | 3 | Regular |
| K 3+900 | K 4+200 | 2 | Bueno |
| K 4+200 | K 4+400 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

Tabla 17 Estado de la Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 12 | 3500 | 79,55 |
| Regular | 3 | 900 | 20,45 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | 15 | 4400 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

A continuación se presenta el resultado general del seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas por medio del reciclado in situ en caliente en el estado de Aguascalientes, México. (Tabla 18)

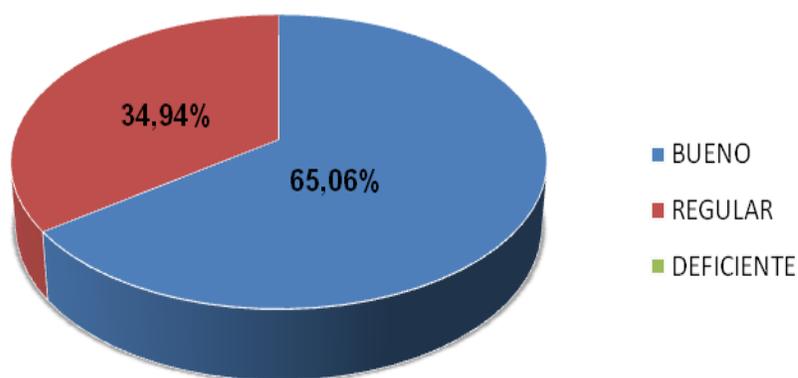
Tabla 18. Resultado General del seguimiento y auscultación

| Estado | Longitud (m) | Porcentaje % |
|---------------|---------------------|---------------------|
| Bueno | 10800 | 65,06 |
| Regular | 5800 | 34,94 |
| Deficiente | 0 | 0 |
| Total | 16600,00 | 100 |

Fuente: el autor, 2010.

De las cinco vías estudiadas, el sesenta y cinco coma cero seis (65,06) por ciento presenta un estado en buenas condiciones, donde probablemente se requieran acciones de mantenimientos rutinarios, por otra parte el treinta y cuatro coma noventa y cuatro (34,94) por ciento de la superficie se encuentra en estado regular, generando mantenimientos de media intensidad que mitiguen el deterioro progresivo de los pavimentos existentes. (Figura 10)

Figura 10. Porcentaje de deterioro de las vías rehabilitadas



Fuente: el autor, 2010.

Cabe mencionar que ninguna de las vías auscultadas presenta un estado deficiente, aunque el estado regular es muy elevado considerando que las rehabilitaciones se realizaron aproximadamente hace 12 meses.

Es importante mencionar que los deterioros se están presentando de manera temprana, lo que genera costos extras en la rehabilitación y mantenimiento de las vías.

5.2 TRABAJO EN CAMPO Y LABORATORIO

El trabajo de seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas por medio de esta tecnología se complementó con ensayos de laboratorio que se realizaron a la mezcla asfáltica existente, a la reciclada sin compactar, y al pavimento rehabilitado. El tramo ejecutado por la SOP en el Estado de Aguascalientes, corresponde al km 0+00 al 2+346 de la vía la Escondida; entre la autopista 45 y el municipio La Escondida (*Figura 8*). Estos ensayos se realizaron con el fin de establecer las características de las mezclas asfálticas empleadas para la recuperación en caliente de carpetas asfálticas. Los formatos utilizados se muestran en el ANEXO C.

5.2.1 Extracción de muestras

Para la realización de los ensayos de laboratorios se tomaron muestras en tres puntos diferentes a lo largo de la vía, en donde se hicieron extracciones de núcleos de cuatro (4) pulgadas de diámetro y panelas de treinta (30) por treinta (30) centímetros (*Fotografía 20 y Fotografía 21*), en los siguientes abscisados:

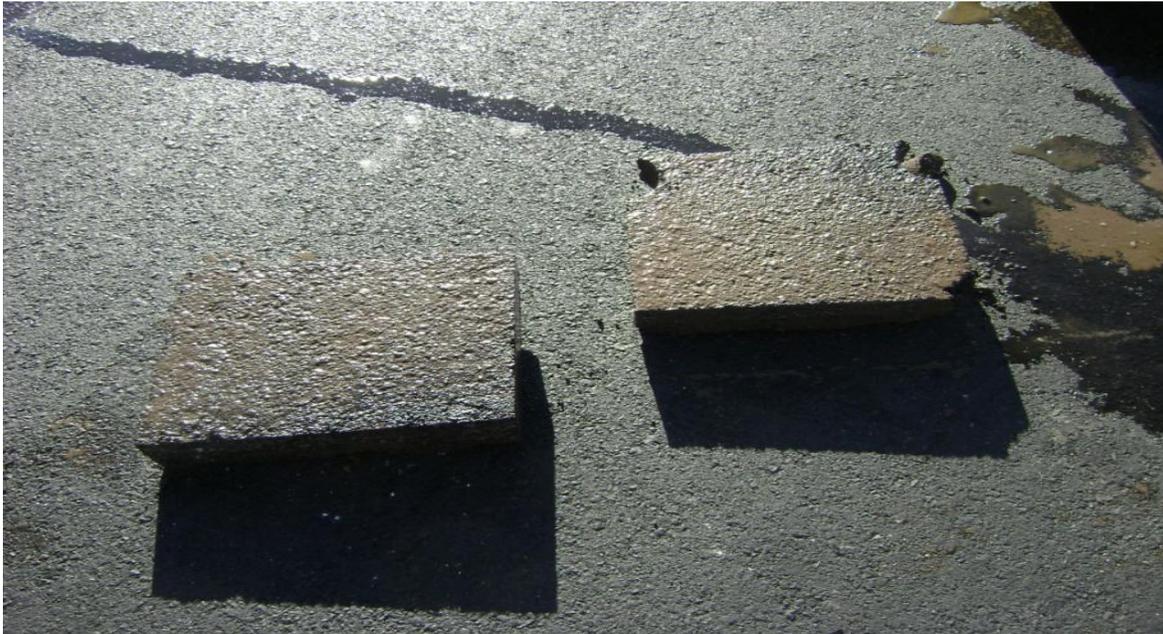
- K 0+100 (Calzada Derecha),
- K 1+300 (Centro del ancho de corona),
- K 2+296 (Calzada izquierda).

Fotografía 20. Extracción de núcleos de la carpeta a rehabilitar. Municipio la Escondida K 1+300



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 21. Panelas extraídas en la carpeta rehabilitada. Municipio la Escondida K 1+300



Fuente: el autor, 2010.

En la Tabla 19 se presenta el tipo de muestreo que se realizó en las diferentes etapas de la rehabilitación para llevar a cabo un adecuado seguimiento de las mezclas asfálticas en laboratorio.

Tabla 19. Relación de extracción de muestras

| Abscisado | Etapa | Extracciones | |
|-----------|-------------------------|--------------|---------|
| | | Núcleos | Panelas |
| 0+100 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |
| 1+300 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |
| 2+296 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |

Fuente: el autor, 2010

5.2.2 Ensayos de laboratorios

Con el fin de darle un aporte significativo a esta investigación acerca del reciclaje *in situ* en caliente, se decidió realizar ensayos de laboratorio a la mezcla asfáltica antes de ser intervenida, a la mezcla asfáltica reciclada sin compactar, y a la mezcla rehabilitada. Los resultados de laboratorio sirvieron para establecer las características del material reciclado y su cumplimiento dentro de las especificaciones de la SCT. A partir de estos resultados se pueden establecer juicios acerca de la calidad de la mezcla asfáltica aplicando esta tecnología para la rehabilitación de pavimentos. Los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla 20.

El análisis granulométrico y el porcentaje de asfalto de la mezclas se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de pavimentos de la Secretaria de Obras Publicas de Aguascalientes (*SOP*); en los laboratorios de la Universidad de La Salle de Bogotá se realizaron los ensayos de Estabilidad y Flujo Marshall; y en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se realizaron los Módulos Dinámicos Elásticos. Para los ensayos realizados en Colombia, se envió un número limitado de material asfáltico, debido a que el transporte de las muestras es muy costoso.

Tabla 20. Resultados de los ensayos de laboratorio

| Km | Etapas | Granulometría ¹ | Porcentaje de asfalto ² | Estabilidad Marshall ³ | Flujo Marshall ⁴ | Módulo dinámico ⁵ (20Cº) |
|-------|--------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 0+100 | Pe | Cumple | 9.81 | | | 8689 Mpa |
| | Mr | No cumple | 8.93 | 1760 kg | 3.3 mm | |
| | Pr | No Cumple | 6.83 | | | 9097 Mpa |
| 1+300 | Pe | No cumple | 12.6 | 2370 kg | 5.08 mm | |
| | Mr | No cumple | 9.63 | | | |
| | Pr | No cumple | 8.64 | 2510 kg | 6.35 mm | |
| 2+296 | Pe | Cumple | 7.48 | | | 9384 Mpa |
| | Mr | Cumple | 10.0 | 1700 kg | 3.81mm | |
| | Pr | Cumple | 6.57 | | | 7007 Mpa |

Fuente: el autor, 2010

Pe: Pavimento existente, **Mr:** Material reciclado sin compactar, **Pr:** Pavimento rehabilitado.

¹ De acuerdo con la gradación para mezclas asfálticas densas en caliente AC-20 (Especificación de la SCT, calidad de mezclas asfálticas en caliente).

² Porcentaje óptimo de asfalto, este valor está comúnmente entre 6% y 7% para mezclas asfálticas densas en caliente AC-20.

³ Mayor a 816 kg (Especificación de la SCT calidad de mezclas asfálticas densas en caliente).

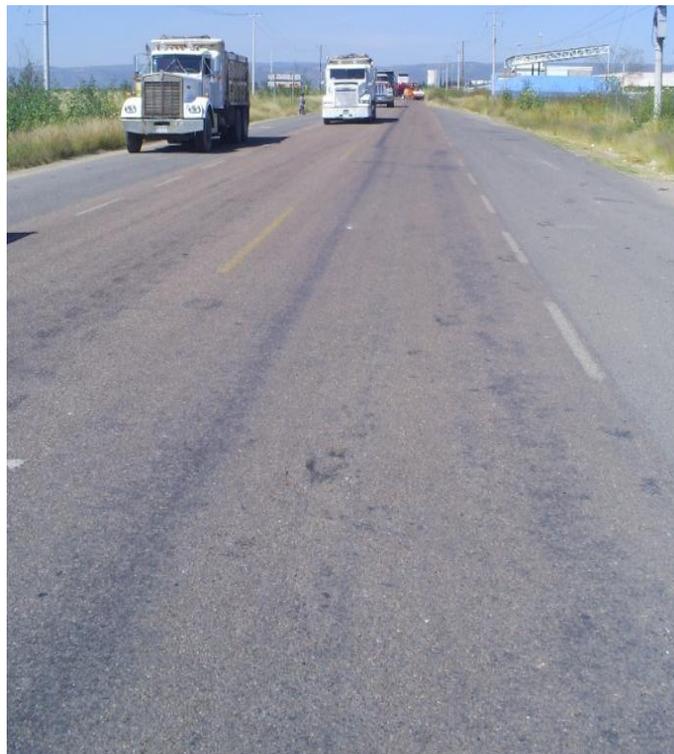
⁴ Entre 2 y 3.5 mm (Especificación de la SCT calidad de mezclas asfálticas densas en caliente).

⁵ Módulo promedio de 7000 Mpa para una frecuencia de 10,00 Hz.

5.2.2.1 Pavimento existente

Al pavimento existente (*Fotografía 22*) se le realizaron los ensayos correspondientes a la granulometría, el porcentaje de asfalto, la Estabilidad y el Flujo Marshall, y el Módulo dinámico, con el fin de establecer las propiedades de la carpeta asfáltica existente la cual fue intervenida con esta tecnología.

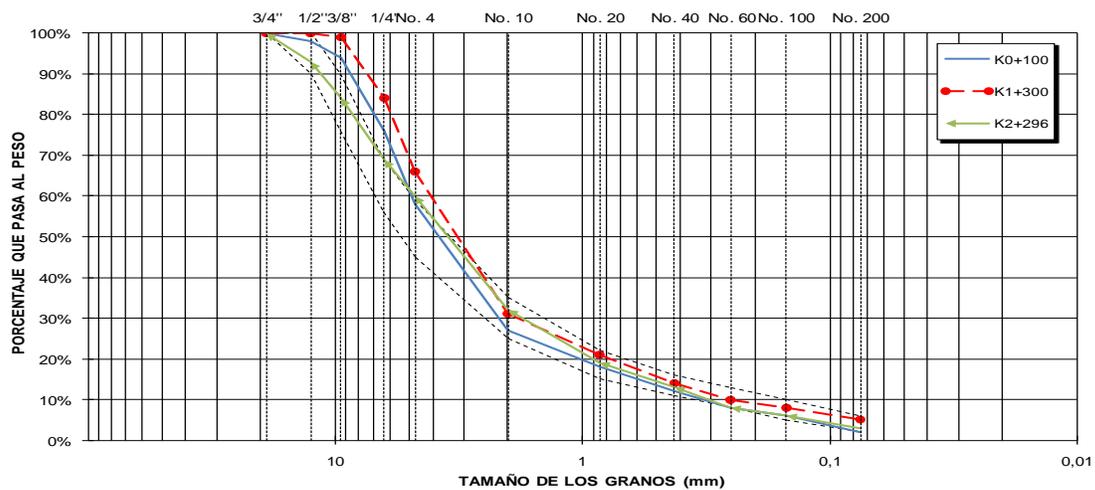
Fotografía 22. Pavimento existente. Municipio la Escondida K 0+100



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: La Figura 11 presenta las curvas granulométricas de las tres mezclas asfálticas extraídas al pavimento existente, se puede concluir que el agregado grueso de la mezcla asfáltica se encuentra levemente fracturado. Como resultado solo una de las tres mezclas cumplen con la gradación especificada para mezclas tipo AC-20. Para poder restablecer la granulometría se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de mejorar la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar. Si se llegara a establecer que la granulometría de la mezcla asfáltica a intervenir es irregular en todo su trayecto. Cuando se pretende rehabilitar por medio del reciclado *in situ* en caliente, se debe realizar el análisis al material pétreo del pavimento existente para determinar las características y pre-establecer un diseño de carpeta reniveladora adecuada. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos de la SOP (*Fotografía 23*) y los resultados se presentan en el ANEXO C.

Figura 11. Granulometría del pavimento existente. Municipio la Escondida



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 23. Ensayo de Granulometría

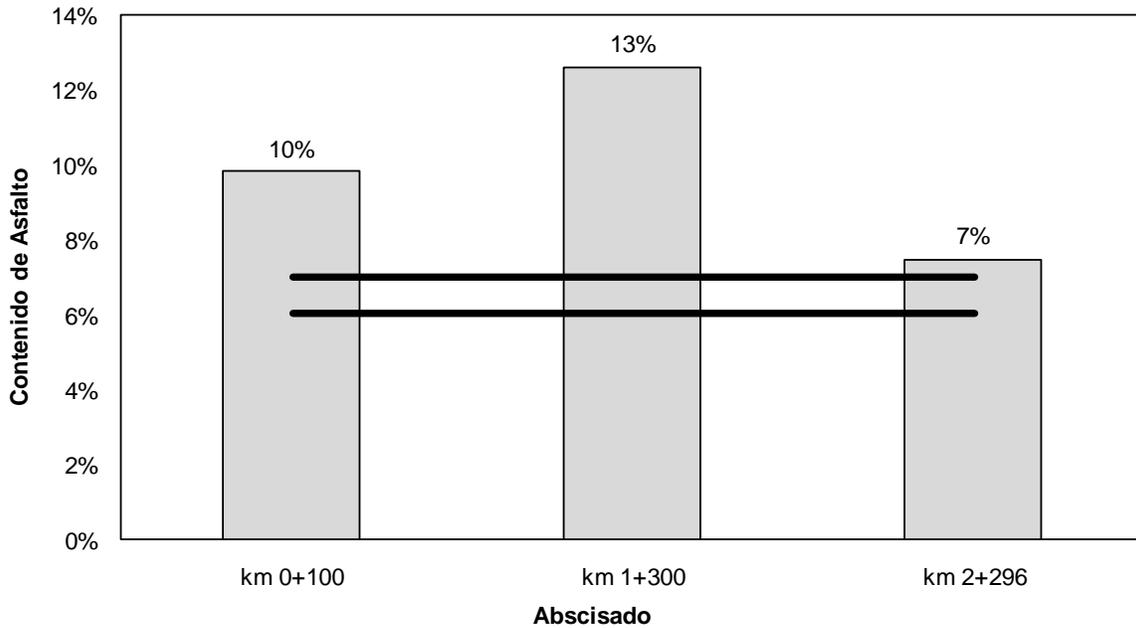


Fuente: el autor, 2010.

Porcentaje de asfalto: Las mezclas asfálticas encontradas en el tramo intervenido por la SOP, y auscultado en esta investigación, correspondieron al tipo de mezcla asfáltica densa en caliente (AC-20); este tipo de mezcla asfáltica especificada por la SCT es comúnmente utilizada en el Estado de Aguascalientes para capas de rodadura, y su contenido de asfalto generalmente oscila entre un seis (6) y siete (7) por ciento de acuerdo con el diseño Marshall. La Figura 12 presenta el porcentaje de asfalto de la mezcla existente determinado en laboratorio siguiendo la norma SCT N-CMT 4-05-003. En esta figura se observa que el porcentaje de asfalto en las tres muestras extraídas está por encima del intervalo antes mencionado. Se puede concluir que el pavimento existente tiene un exceso de asfalto, lo que puede repercutir en fallas superficiales en el pavimento.

Cuando una mezcla asfáltica a rehabilitar presenta exceso de asfalto se puede corregir aumentando el porcentaje del material granular, esto con el fin de que el material reciclado extraído del pavimento existente cumpla con la calidad de mezclas asfálticas para la rehabilitación de vías. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos de la SOP (Fotografía 24) y los resultados se presentan en el ANEXO C

Figura 12. Contenido de asfalto en el pavimento existente



Fuente: el autor, 2010.

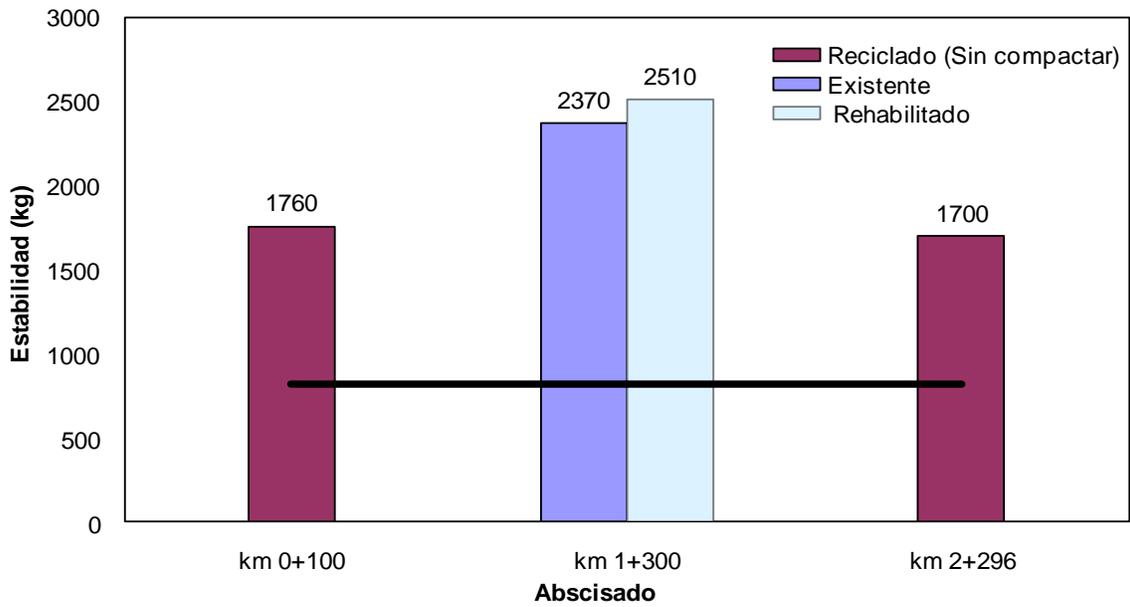
Fotografía 24. Determinación del porcentaje de asfalto



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: Por medio de los ensayos realizados al pavimento existe se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de estabilidad para mezclas asfálticas densas en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT (*barra color azul en la Figura 13*). Un buen comportamiento en la estabilidad de una mezcla asfáltica disminuye la probabilidad que se presenten fallas tempranas por deformación plástica como ahuellamientos, corrimientos y/o ondulaciones.

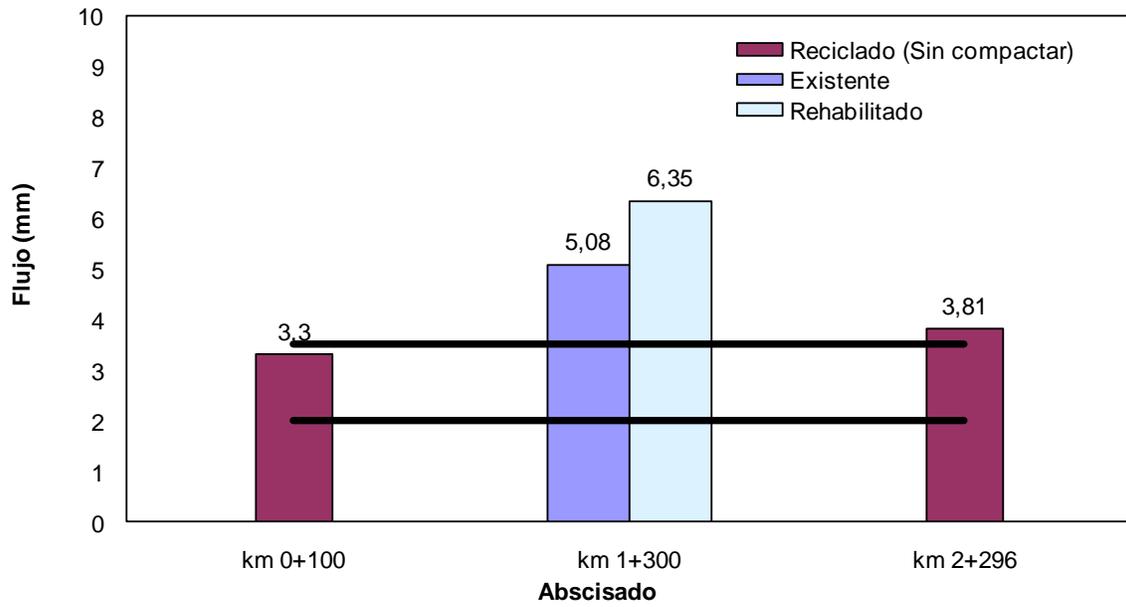
Figura 13. Estabilidad Marshall de las carpetas asfálticas



Fuente: el autor, 2010

La Figura 14 (*barra azul*) nos indica que el flujo correspondiente a la mezcla asfáltica existente no se encuentra dentro del intervalo establecido por la SCT, ya que es superior al valor admisible. Una mezcla asfáltica con un flujo por encima del valor máximo especificado es más susceptible a sufrir deformaciones permanentes que una que cumpla con las especificaciones. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos del programa de ingeniería civil de la Universidad de la Sallé. (*Fotografía 25*)

Figura 14. Flujo Marshall de las carpetas asfálticas



Fuente: el autor, 2010

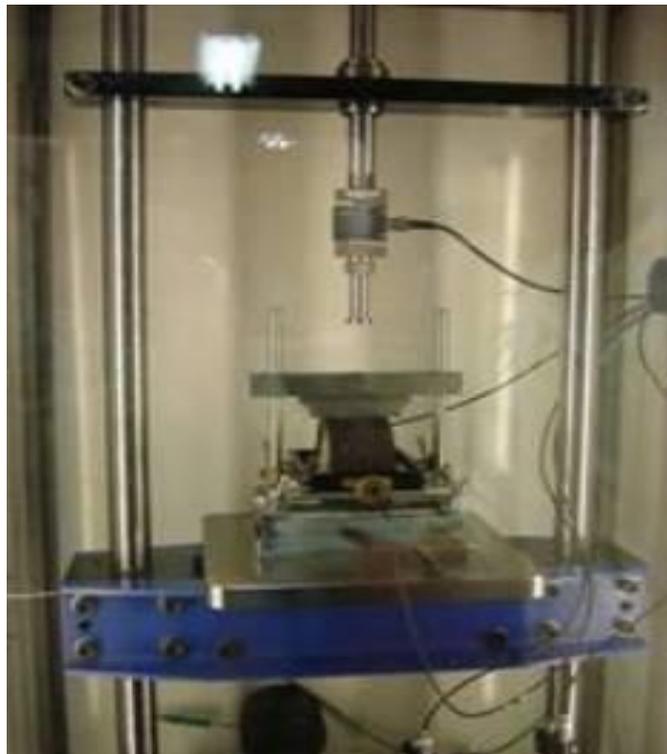
Fotografía 25. Prensa Marshall



Fuente: el autor, 2010

Módulo dinámico elástico - Deformación controlada: Este ensayo fue realizado en los laboratorios de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Javeriana (*Fotografía 26*), con el propósito de complementar el trabajo de laboratorio. Por lo tanto, se tuvo que traer un número limitado de muestras a Colombia ya que el transporte de grandes cantidades de muestras asfálticas es muy costoso. Este procedimiento se le realizó a la mezcla asfáltica para medir su módulo resiliente y determinar su comportamiento a diferentes frecuencias de carga a una temperatura constante de 20°C.

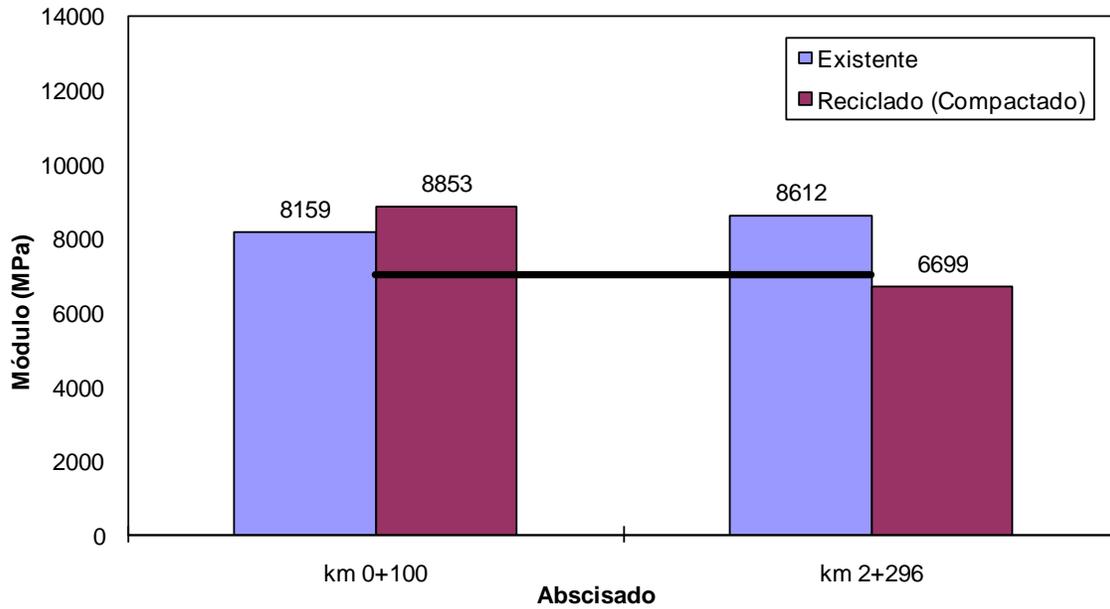
Fotografía 26. Ensayo de Modulo Dinámico



Fuente: el autor, 2010

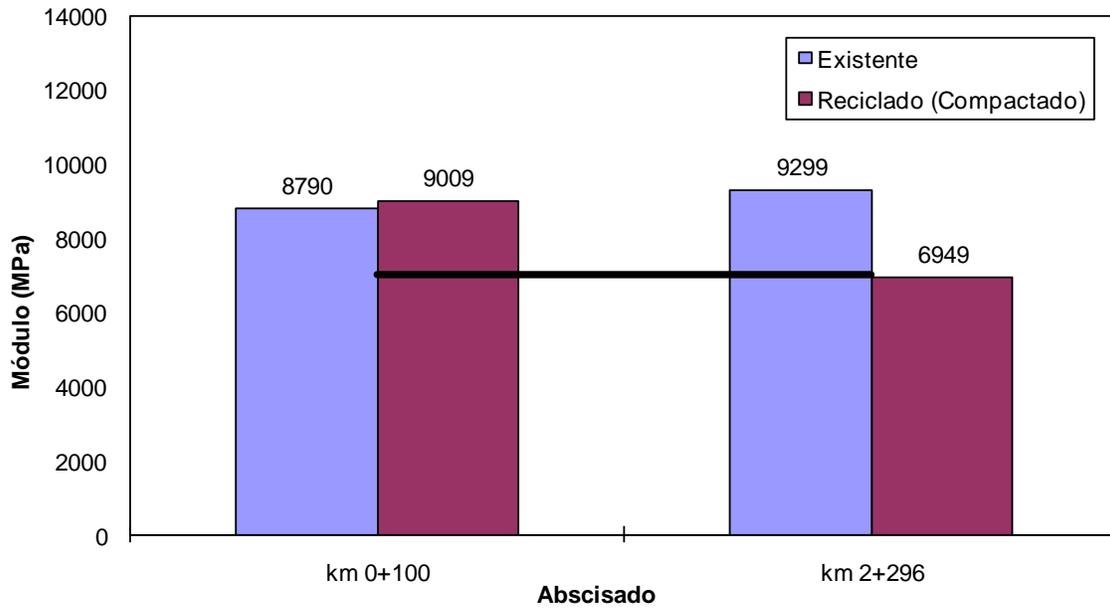
El Modulo dinámico debe cumplir con lo especificado en el libro M-MMP-4-05-023/02 resiliencia de cementos asfálticos. En la barra color azul en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se presenta que los valores son superiores al valor típico, como se indica en las figuras mencionadas. Esto podría indicar que el pavimento existente está en buenas condiciones de rigidez.

Figura 15. Módulos a una frecuencia de 2.5Hz y temperatura de 20°C



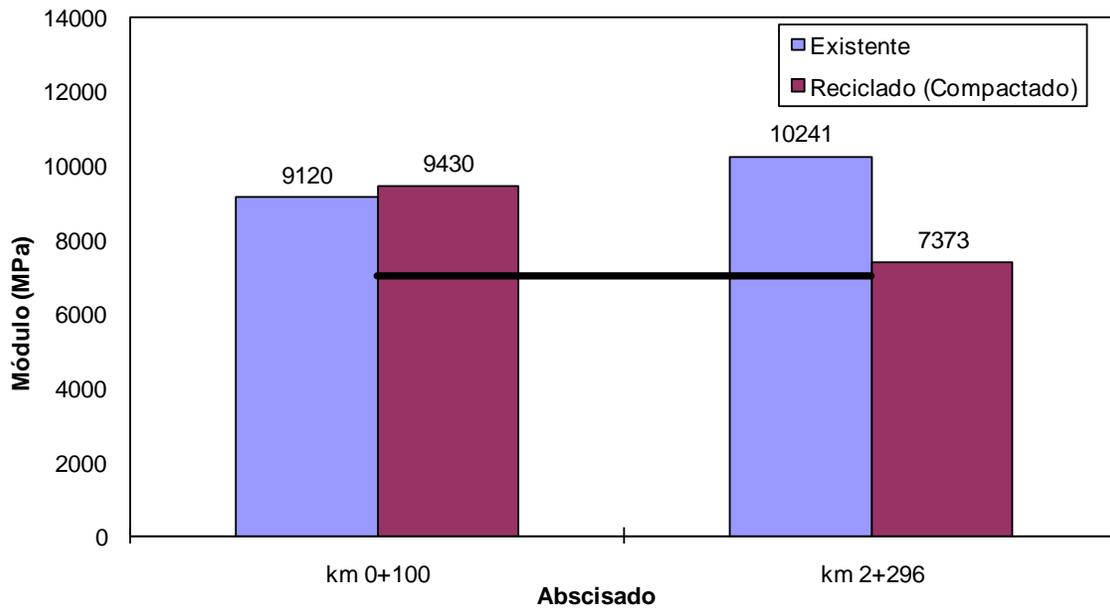
Fuente: el autor, 2010

Figura 16. Módulos a una frecuencia de 5.0Hz y temperatura de 20°C



Fuente: el autor, 2010

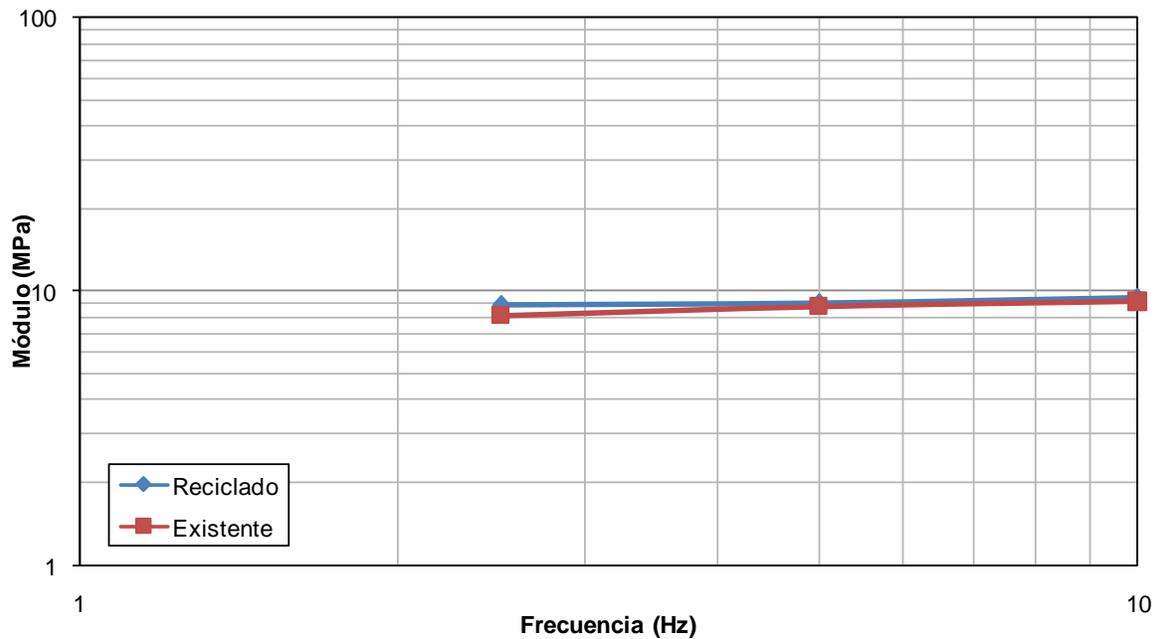
Figura 17. Módulos a una frecuencia de 10Hz y temperatura de 20°C



Fuente: el autor, 2010

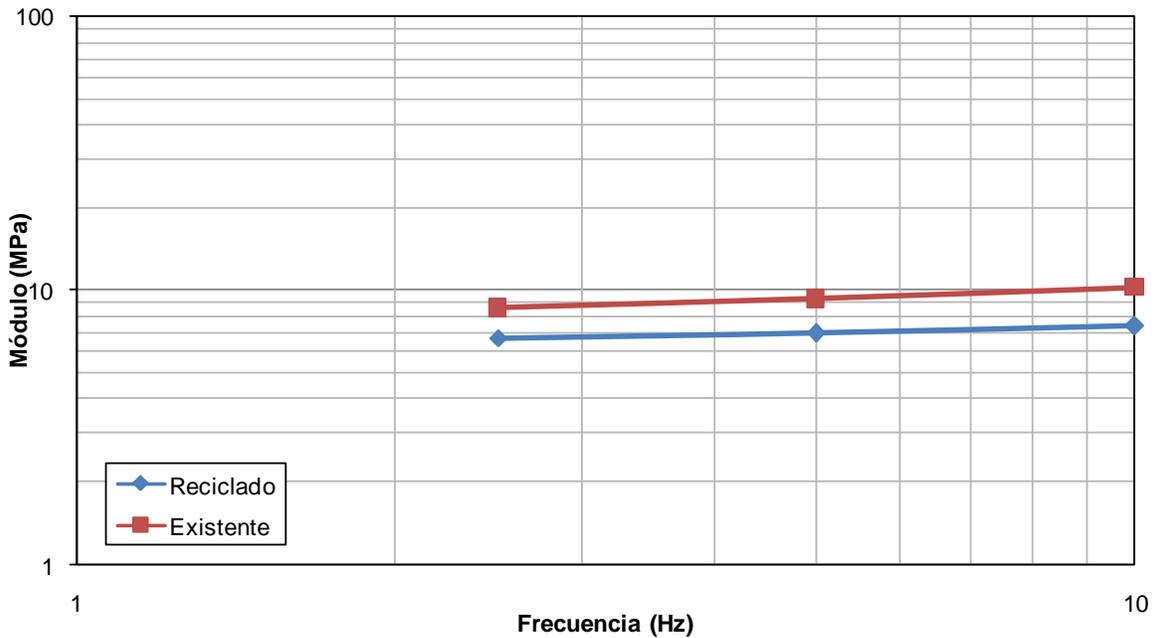
En la Figura 18 se presenta una comparación entre el módulo dinámico de la mezcla asfáltica antes de ser intervenida (*existente*) y la mezcla asfáltica reciclada (*carpeta reniveladora*) con el método de reciclado *in situ* en caliente. En esta figura se observa que el módulo dinámico de la mezcla asfáltica reciclada mejoró en aproximadamente un 5% respecto a la mezcla antes de ser modificada por el método. Sin embargo, esta misma comparación que se presenta para las muestras extraídas en el abscisado K2+296 (*Figura 19*), presenta un comportamiento contrario al anteriormente descrito; lo anterior significa que en vez de mejorar el módulo de la mezcla asfáltica después de ser intervenida, este decayó en aproximadamente un treinta y cinco (35) por ciento.

Figura 18. Variación del Módulo para el abscisado K0+100



Fuente: el autor, 2010

Figura 19. Variación del Módulo para el abscisado K2+296



Fuente: el autor, 2010

5.2.2.2 Material reciclado sin compactar

El material reciclado sin compactar es el producto del fresado de la carpeta existente, la cual va a ser rehabilitada. A este material se le añade emulsión asfáltica o rejuvenecedores en proporciones determinadas con el fin de mejorar las características del asfalto envejecido, y en ocasiones se agrega material pétreo nuevo para restablecer las características granulométricas. En la Fotografía 27 se muestra la comparación entre la carpeta existente y la carpeta fresada sin el material reciclado.

Fotografía 27. Escarificación de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010

Para el estudio del material reciclado sin compactar (*Fotografía 28*) se tomaron tres muestras en diferentes puntos de la vía donde la SOP realizó la intervención; de esta forma se analizaron las características más significativas del material intervenido utilizando el reciclado *in situ* en caliente.

Con base al análisis del material reciclado en la vía intervenida por la SOP se detectó que el material reciclado sin compactar variaba significativamente; esto puede deberse a los siguientes factores:

- Una temperatura de precalentado y fresado muy alta,

- Diferencias en la granulometría de la carpeta existente,
- Bajos contenidos del ligante y/o ligante envejecido,
- Control de calidad en la ejecución de la tecnología,
- Intervenciones anteriores realizadas a la vía.

De acuerdo con la reglamentación de Los Estados Unidos de México, la carpeta reniveladora conformada por el material reciclado, debe cumplir con un diseño para mezcla densa en caliente, contemplado en el capítulo “N-CSV-CAR-3-02 008/03 CSV. CONSERVACION” relacionado con la recuperación en caliente de carpetas asfálticas. Es por esto que, como conclusión de la presente investigación, es oportuno realizar una frecuencia de muestreo de la mezcla asfáltica existente de acuerdo a lo recomendado por la especificación vigente, para establecer con anticipación las características del material pétreo y del ligante asfáltico.

Fotografía 28. Material reciclado sin compactar



Fuente: el autor, 2010

A la fecha de este estudio no fue posible contar con el diseño de la carpeta niveladora conformada por el material reciclado. Es importante conocer estas características ya que determina las condiciones óptimas para la mezcla asfáltica.

En las muestras extraídas se observó que las partículas en la mezcla asfáltica tenían un buen recubrimiento por el ligante asfáltico (*Fotografía 29*). Al material reciclado sin compactar se le realizaron los ensayos correspondientes a granulometría, porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo Marshall, y módulos dinámicos. Los anteriores ensayos se realizaron con el fin de establecer las propiedades del material reciclado antes de ser compactado en la vía que fue intervenida con esta tecnología.

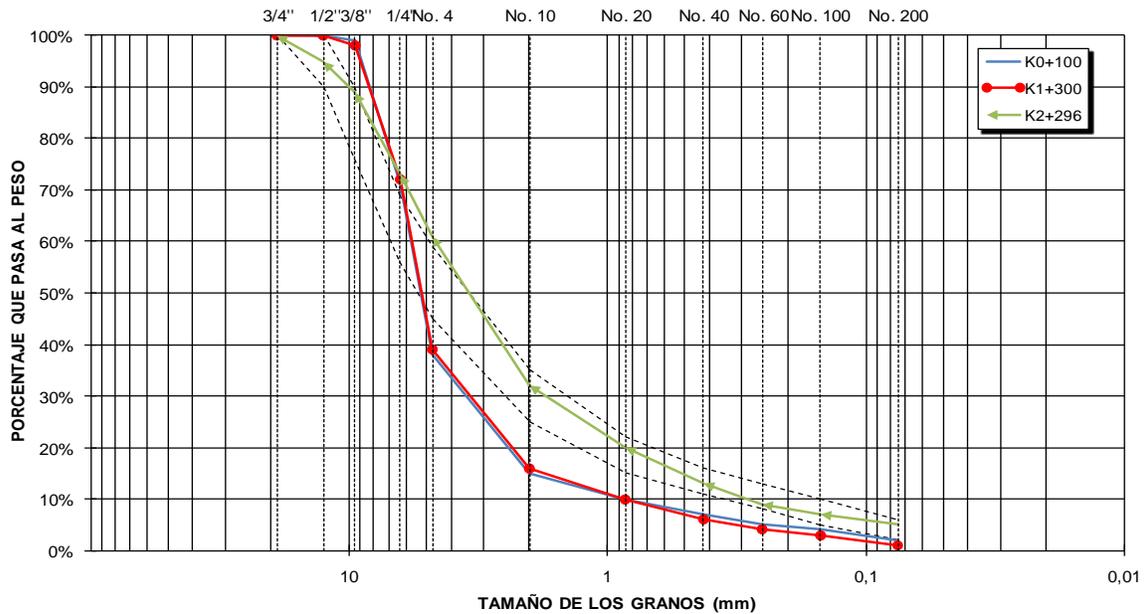
Fotografía 29. Apariencia de la mezcla asfáltica



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: La Figura 20 presenta las curvas granulométricas de las tres mezclas asfálticas extraídas al material reciclado sin compactar, se puede concluir que se presenta poco material fino y fracturamiento del agregado grueso, por lo cual se aprecia una granulometría con tendencia a ser uniforme en las tres muestras. Se establece que dos granulometrías no cumplen con la gradación especificada para mezclas asfálticas densas en caliente tipo AC-20. Por lo anterior se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de restablecer la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar.

Figura 20. Granulometría del material reciclado sin compactar

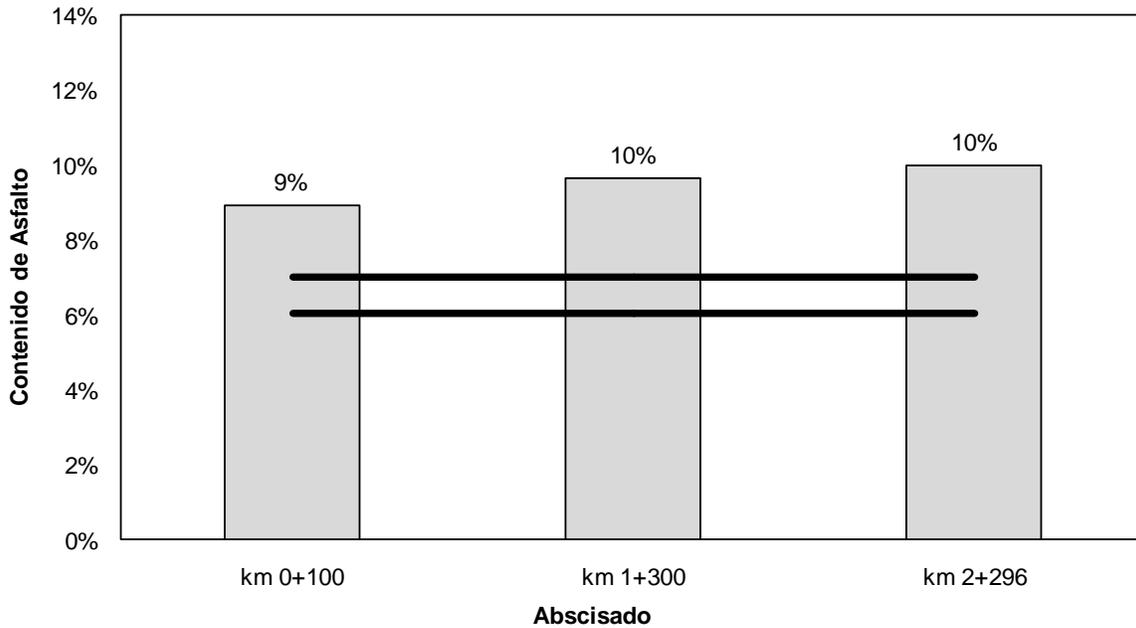


Fuente: el autor, 2010

Porcentaje de asfalto: En la Figura 21 se presenta el porcentaje de asfalto del material reciclado sin compactar. En esta figura se observa que el porcentaje de

asfalto de las tres muestras extraídas, está muy por encima de los valores óptimos para este tipo de mezcla (*intervalo mencionado en el aparte 5.2.2.1*). Por lo anterior se puede concluir que el material reciclado sin compactar tiene un exceso de asfalto, lo que puede repercutir en fallas superficiales en el pavimento. Esto quizás se deba en la dosificación de la emulsión asfáltica para restablecer las propiedades mecánicas del asfalto contenido en el material pétreo.

Figura 21. Contenido de asfalto del material reciclado sin compactar



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: El material extraído antes de ser compactado en obra, fue llevado al laboratorio y compactado en briquetas de dos y media (2 ½) pulgadas de altura por cuatro (4) pulgadas de diámetro. Mediante estos ensayos realizados se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de

estabilidad para mezcla asfáltica densa en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT, como se muestra en la Figura 13 (*barra color violeta*).

La Figura 14 indica que el flujo correspondiente a la muestra extraída en el K0+100, aunque cumple, está muy cercano al límite superior. Para la muestra extraída en el K2+296, el flujo se encuentra por encima de los valores especificados por la SCT, lo que puede repercutir en posibles deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica.

Módulo dinámico elástico - Deformación controlada: Los ensayos se realizaron a probetas de mezcla asfáltica reciclada compactada en laboratorio. El módulo dinámico de las mezclas asfáltica reciclada obtenida en el K0 +100 (*barra color violeta en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17*) presentó valores superiores al valor típico; sin embargo para la muestra extraída en el K2+296, los módulos presentaron valores ligeramente inferiores a este valor típico. Esto podría ser un indicio de que el material reciclado compactado varía en sus condiciones de rigidez a lo largo de la intervención.

5.2.2.3 Pavimento rehabilitado

El pavimento rehabilitado, (*Fotografía 30*) se le realizó los ensayos correspondientes a granulometría, porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo Marshall, con el fin de establecer las propiedades de las mezclas asfálticas del pavimento rehabilitado en la vía que fue intervenida con esta tecnología.

Fotografía 30. Pavimento rehabilitado. Municipio la Escondida K 2+296



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: El análisis granulométrico se realizó a panelas extraídas a la mezcla asfáltica compactada (*Fotografía 31*). Las cuales estaban conformadas por tres capas asfálticas, así: mezcla asfáltica existente, mezcla asfáltica reciclada (*carpeta reniveladora*) y mezclas asfáltica nueva (*carpeta de rodadura*). En el

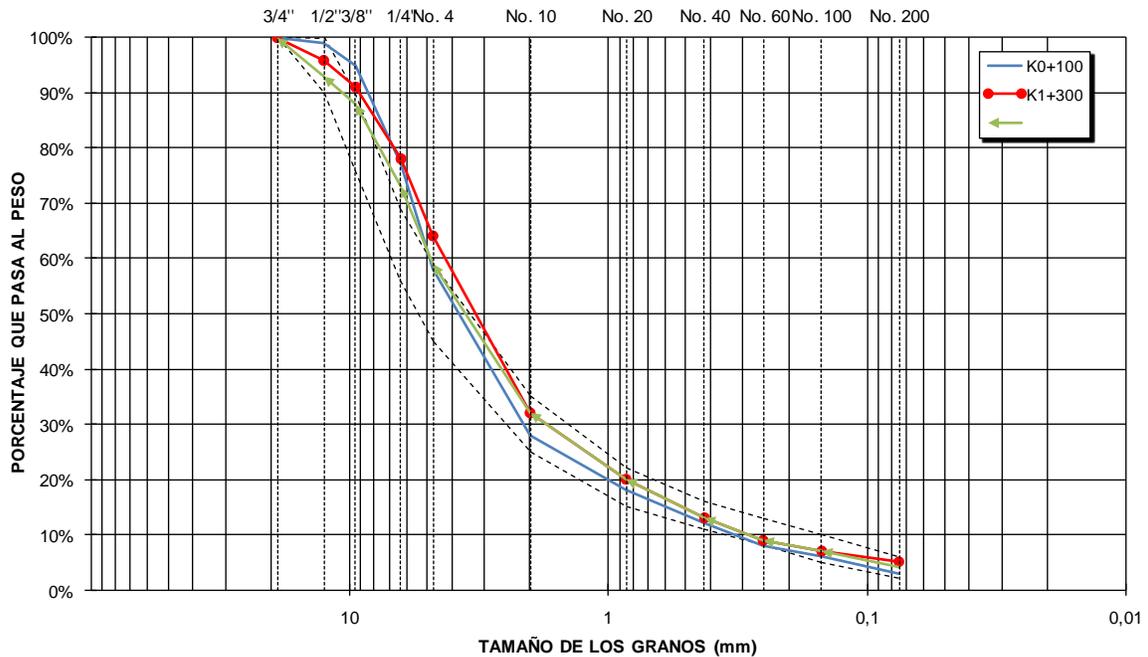
muestreo se tomó todo el espesor de la estructura del pavimento, por consiguiente se mezclaron las granulometrías de la tres capas asfálticas que conforman la estructura del pavimento. Es de aclarar que este resultado no es representativo de las carpetas asfálticas ya que cada capa se debe analizar por separado, debido a que sus propiedades mecánicas son diferentes y la capacidad estructural difiere entre capas, por tal razón si una de la capas no cumple con lo especificado en la norma de la SCT, se puede presentar fallas en el mezcla asfáltica debido a que la distribución de esfuerzos no es la correcta, la Figura 22 presenta las curvas granulométricas de las tres muestras extraídas después de la intervención. En estas se puede apreciar que hay una leve ausencia de partículas gruesas en el conjunto de las mezclas. Con estos resultados se puede analizar que la granulometría en dos de los tres puntos muestreados no cumple con la curva granulométrica especificada por la SCT para mezclas asfálticas tipo AC-20.

Fotografía 31. Capas de la estructura del pavimento rehabilitado



Fuente: el autor, 2010

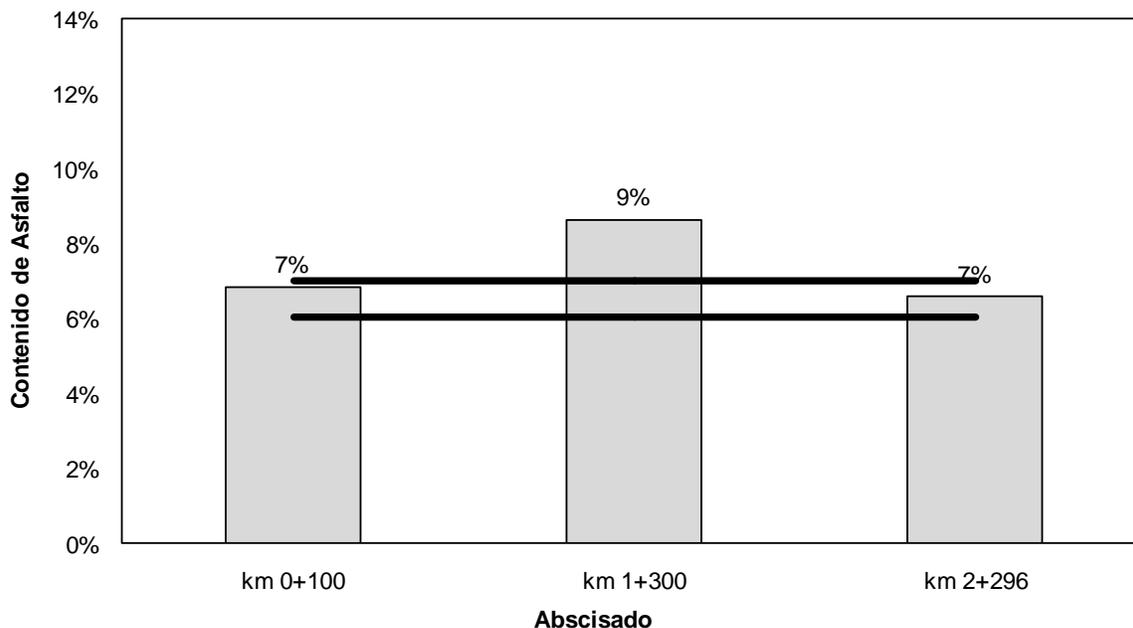
Figura 22. Granulometría del pavimento rehabilitado



Fuente: el autor, 2010

Porcentaje de asfalto: Al realizar el muestreo de la carpeta final, se pueden apreciar las capas asfálticas de la estructura del pavimento (*Fotografía 31*). En esta se observa una textura muy brillante de la carpeta rehabilitada. En la Figura 23 se presenta el porcentaje de asfalto del conjunto de las mezclas asfálticas después de la intervención. En esta figura se observa que el porcentaje de asfalto de dos de las muestras extraídas está dentro de los valores óptimos para este tipo de mezcla (*intervalo mencionado en el aparte 5.2.2.1*).

Figura 23. Contenido de asfalto del pavimento rehabilitado



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: Estos ensayos se realizaron a núcleos extraídos conformados por las tres capas asfálticas mencionadas anteriormente. Mediante estos ensayos se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de estabilidad para mezcla asfáltica densa en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT (*barra verde en la Figura 13*).

La Figura 14 (*barra verde*) indica que el flujo de las mezclas asfálticas compactadas está muy por encima del parámetro máximo establecido por la SCT, esto puede repercutir en posibles deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica rehabilitada.

5.2.3 Material asfáltico nuevo

La aplicación de esta tecnología utilizada en Aguascalientes, es que el material asfáltico reciclado sirva como carpeta reniveladora para la colocación de una carpeta de rodadura conformada por material asfáltico nuevo. Para esta mezcla asfáltica se pudo contar con el diseño de acuerdo con lo estipulado en la norma vigente para la recuperación en caliente de carpetas asfálticas, como se muestra en la Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 21. Diseño de la carpeta nueva (tipo AC-20)

| Km | Muestra | Espesores (cm) | Granulometría | Porcentaje de asfalto | Porcentaje de asfalto proyectado |
|-------|---------------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 0+100 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | | |
| 1+300 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | 6.55 | 6.00 |
| 2+296 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | | |

Fuente: Adaptado de SOP, 2010

Tabla 22. Diseño Marshall

| Características del espécimen | Especificación | Cumple |
|-------------------------------|----------------|-----------|
| P.E. Km/m ³ | 2308 | |
| Estabilidad (Kg) | 1183 | 816 MIN |
| Flujo (mm) | 3.5 | 2.0 – 3.5 |
| Vacios (%) | 2.85 | 3.0 – 5.0 |
| V.A.M (%) | 16.63 | 14 MIN |
| V.F.A (%) | 82.86 | 65 -75 |

Fuente: Adaptado de SOP, 2010

6 BENEFICIOS Y DESVENTAJAS

El reciclado *in situ* en caliente es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Esta tecnología que actualmente se desarrolla en el estado de Aguascalientes presenta beneficios entre los que encontramos los ingenieriles, ambientales y económicos. Sin embargo en el estado de Aguascalientes se están presentando ciertas fallas tempranas en el pavimento rehabilitado minimizando el buen desempeño de la tecnología. A continuación se presentara los beneficios otorgados por la tecnología y el proceso llevado a cabo en Aguascalientes.

6.1 BENEFICIOS

La rehabilitación de vías por medio del reciclado en *situ* en caliente brinda ciertos beneficios que mejoran los rendimientos, costos y preservación del medio ambiente, entre otros. Estos se pueden obtener cumpliendo con las normas y especificaciones en cuanto a la calidad en las mezclas asfálticas y en la ejecución de los trabajos. En esta investigación se han clasificado los beneficios en tres categorías, ingenieriles, ambientales y económicos.

6.1.1 Beneficios ingenieriles

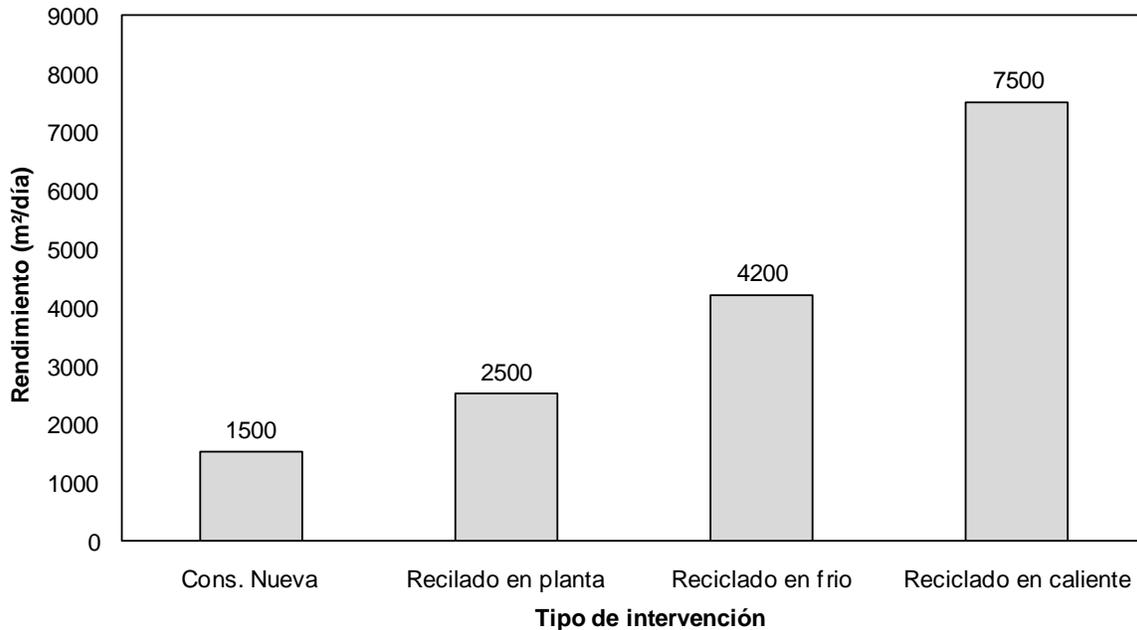
El reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles en general es un método óptimo para el rendimiento en la rehabilitación de vías, ya que es una tecnología rápida y eficaz para la ejecución de los trabajos. A continuación se presentan los beneficios ingenieriles que ofrece esta tecnología.

Incremento significativo en los rendimientos de construcción en las obras de rehabilitación. El reciclaje de pavimentos flexibles por medio de esta tecnología generalmente trabaja profundidades hasta de 6 cm con una tasa de producción que varía entre cuatro mil (4000) y diez mil (10000) metros cuadrados en un turno de diez (10) horas de trabajo continuo teniendo en cuenta la configuración del tren de reciclaje. Sin embargo en el estado de Aguascalientes, el reciclaje se realiza a profundidades que varían entre uno coma siete (1.7) y dos coma cinco (2.5) centímetros, con rendimientos del orden de siete mil quinientos (7500) metros cuadrados en un turno de 10 horas, dependiendo de las condiciones de la carretera, del clima y la mano de obra, la cual puede estar entre quince a dieciocho hombres por jornada.

Además el material reciclado por medio de esta tecnología corresponde a un porcentaje entre el treinta y cincuenta por ciento del total de la capa rehabilitada. En la Figura 24 se hace una comparación de los rendimientos aproximados de las

diferentes metodologías de reciclado para la rehabilitación de vías.

Figura 24. Rendimiento para cada tipo de intervención



Fuente: Montejo, 2010

Facilidad en la movilización del equipo. La movilización que requiere los equipos y materiales utilizados para la rehabilitación de una vía por algunas de la tecnologías utilizadas actualmente, generan grandes costos, lapsos de tiempos muy prolongados y dificultades en el transporte. Es por esto que una de las principales características de la tecnología aplicada en el Estado de Aguascalientes es la fácil movilización de los equipos a una velocidad aproximada de diecinueve coma dos (19.2) kilómetros por hora, entre los sitios de trabajo. Esto se debe a que las dos unidades principales de la recicladora se pueden conducir por separado, y el único costo que se genera es el combustible para el traslado. (Fotografía 32)

Fotografía 32. Movilización de equipo



Fuente: el autor, 2010

Disminución en la interrupción del tráfico. Con el seguimiento y auscultación a las vías rehabilitadas por la SOP en el Estado de Aguascalientes, se pudo apreciar que se disminuye la interrupción del tráfico en el casco urbano, debido a que las reparaciones se realizan en un solo carril. Además, genera a los usuarios cómodas maniobras de desvío, mejor control del tráfico existente y una eficiente seguridad del tránsito.

A diferencia de otros métodos de rehabilitación superficial de pavimentos flexibles, esta tecnología ofrece lapsos de tiempos cortos tanto en la ejecución de los trabajos como en el curado de la carpeta asfáltica rehabilitada, agilizando la apertura al tránsito (*Fotografía 33*).

Fotografía 33. Rehabilitación de vías en cascos urbanos



Fuente: el autor, 2010

Conservación de las características geométricas de las vías.

Independientemente del tren de trabajo que se utilice para el reciclado *in situ* en caliente, este se caracteriza por mantener la geometría del pavimento existente, la cual es particularmente importante en curvas, cruces, y en puentes. Además conserva la seguridad de los vehículos, debido a que se evita superficies deslizantes y desniveladas, y conservando la rugosidad de la superficie para el tránsito de vehículos. Sin embargo de acuerdo al numeral 5.1 del presente trabajo, se evidencian fallas en los pavimentos rehabilitados, generando nuevas intervenciones en la carpeta rehabilitada. Cabe destacar que las fallas presentadas en el estado de Aguascalientes no garantizan que esta tecnología sea ineficaz.

6.1.2 Beneficios ambientales

Los aportes ambientales que genera esta tecnología durante la rehabilitación de vías son: contribuir en la disminución significativa de la explotación de recursos naturales no renovables, la emisión de gases producto de la fabricación de nuevas mezclas asfálticas y la reducción de volúmenes de residuos sólidos. Todo esto con el fin de ayudar en la preservación del medio ambiente.

Disminución de la explotación de canteras. El establecer un diseño de mezcla reciclada para esta tecnología contribuye a la conservación ambiental ya que disminuye la cantidad de material asfáltico y pétreo entre un treinta (30) y cincuenta (50) por ciento, ayudando a conservar recursos naturales no renovables. Además el establecer un diseño de mezcla apropiado puede llegar a tener un comportamiento igual o superior a las mezclas asfálticas tradicionales.

El método utilizado en Aguascalientes se basa en construir una carpeta reniveladora a partir de materiales reciclados para soportar una carpeta de rodadura la cual está diseñada con materiales nuevos. Por tal motivo el reciclaje de material pétreo y asfáltico para la carpeta reniveladora es prácticamente del cien (100) por ciento.

Disminución de la emisión de gases a la atmosfera.

La fabricación de una mezcla asfáltica en caliente por medio de una planta de asfaltos genera emisión de gases a la atmosfera, produciendo contaminantes como: material particulado (Mp), dióxido de azufre (SO₂), y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las cantidades admisibles de estos contaminantes para plantas nuevas son de 150 mg/m³, 500 mg/m³, y 500 mg/m³ respectivamente; los valores admisibles para plantas existentes son de 250 mg/m³, 550 mg/m³, y 550 mg/m³ respectivamente²⁹.

Por lo anterior la emisión de gases generados por una planta de asfaltos implica un impacto ambiental enorme, esto sin contar la emisión de ruido y otros factores que intervienen en la producción de mezclas asfálticas. El reciclado *in situ* en caliente, aunque genera emisión de gases a la atmosfera en comparación con la elaboración de una mezcla asfáltica nueva, reduce significativamente las emisiones y la producción de contaminantes.

Para la reducción significativa en la emisión y producción de gases a la atmosfera, el tren de trabajo utilizado debe contar con un equipo mezclador (*Figura 4*), con el fin de realizar la mezcla asfáltica que sirva como carpeta de rodadura o lo

²⁹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Normatividad ambiental de emisión de gases y material particulado a la atmósfera.
[www.alcaldiabogota.gov.co.http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425](http://www.alcaldiabogota.gov.co/http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425).
Última revisión Noviembre de 2009

especificado en el proyecto. Sin embargo la rehabilitación llevada a cabo en Aguascalientes no cuentan con este equipo, lo que implica la fabricación de una mezcla asfáltica de dos coma cinco (2.5) centímetros en una planta de asfaltos que sirva como carpeta de rodadura.

Reducción del volumen de residuos sólidos. Dentro de los beneficios ambientales encontrados por esta tecnología, este es quizás el más importante, ya que disminuye el vertimiento de residuos sólidos producto de la rehabilitación de vías en un cien (100) por ciento, ayudando a tener un mejor control en su disposición y de esta forma contribuir en la disminución del impacto ambiental.

6.1.3 Beneficios económicos

Los métodos que actualmente se utilizan para la rehabilitación de vías generan grandes costos económicos. En Colombia aún no cuentan con la tecnología óptima para la realización de estos trabajos. Uno de los mayores beneficios del reciclado *in situ* en caliente es la disminución en los costos de rehabilitación. Sin embargo, es de aclarar que la inversión inicial en la adquisición de los equipos es bastante elevada, pero se estima que la retribución de la inversión se recupera en pocos años debido a los rendimientos de obra.

Montajes operacionales de importancia. Al realizar el reciclado *in situ* se tiene la principal ventaja de evitar montajes de estructura de gran escala, ya que cuenta con un tren de trabajo que está organizado de tal forma que la intervención se ejecute de forma eficiente, así como realizar el reciclado y distribución de carpeta asfáltica en un mismo tiempo. En cambio algunos métodos utilizados como el reciclado en caliente en planta, requieren el montaje de grandes estructuras.

Acarreo significativo de materiales. La mayoría de los métodos de rehabilitación superficial de pavimentos requieren acarreo significativo de materiales, en donde los costos de transporte y colocación de material se incrementan. Por el contrario, esta tecnología de reciclado reduce el acarreo de materiales y los costos, debido a la reutilización del cien (100) por ciento del material producto del fresado y/o escarificado de la carpeta existente.

Ahorro en costo y tiempo. La tecnología del reciclaje *in situ* en caliente de pavimentos flexible ofrece ahorros aproximados hasta un treinta y cinco (35) por ciento en costos y cincuenta (50) por ciento en tiempo, comparado con otros métodos convencionales de rehabilitación. No obstante se están presentando costos extras después de la rehabilitación en el proceso llevado en el Estado de Aguascalientes, producto de intervenciones de mediana intensidad que se le han realizado a la superficie de la carpeta.

6.2 DESVENTAJAS

La tecnología en general presenta grandes ventajas en el desarrollo de las rehabilitaciones superficiales de pavimentos flexibles, sin embargo en el proceso llevado a cabo en Aguascalientes se detectaron algunas desventajas relacionadas directamente con el equipo utilizado.

Calentamiento de la superficie del pavimento: En el estado de Aguascalientes se ha implementado esta tecnología con un equipo que ha sido diseñado y manufacturado para trabajar a flama directa, lo que repercute en la emisión de gases a la atmosfera. Es por esto que la norma N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION (*Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica*) señala que durante la recuperación de carpetas asfálticas en caliente se utilice calentadores radiantes, para evitar el sobrecalentamiento de la carpeta existente y su posible daño, como también evitar las emisiones de gases a la atmosfera. (*Fotografía 34*)

Compactación monolítica en caliente. De acuerdo a la norma N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION (*Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica*), numeral G.8.8, señala que el tendido de la mezcla asfáltica por medio de la maquina recuperadora se debe extender en una sola capa, por tal motivo probablemente una de las desventajas encontradas es la utilización de una compactación monolítica en caliente entre la carpeta reniveladora (*material*

reciclado) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*), las cuales quizás no estén presentando la adherencia necesaria, como se puede ver con la falla de descascaramiento presentada en el numeral 5.1.4 del presente trabajo. A diferencia de otros métodos de reciclaje *in situ* en caliente utilizan la mezcla del material nuevo y el reciclado para diseñar una sola carpeta y así tener un solo procedimiento de compactación y disminuir los riegos de falla entre capas.

Fotografía 34. Sistema de calentamiento por medio de flama directa



Fuente: el autor, 2010

7 CONCLUSIONES

Se identificó que la tecnología reciclado *in situ* en caliente aporta beneficios ingenieriles, ambientales y económicos como son: reducción en la utilización de nuevos materiales no renovables, disminución de la emisión de gases a la atmósfera por efecto de la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, incremento significativo en los rendimientos de construcción y fácil movilización del equipo, reducción en los costos de construcción, disminución en la interrupción del tráfico, entre otros.

Dentro de las ventajas que presenta esta tecnología, se puede destacar que se intervienen en su mayoría síntomas de deterioro de una carpeta asfáltica como: eliminación de la presencia de grietas, restablecimiento de las propiedades del material ligante, nivelación de baches, huecos y monturas, reacondicionamiento de drenajes y coronas, restablecimiento de la flexibilidad del pavimento frágil y desgastado, restablecimiento de un contenido adecuado de asfalto y gradación de agregados, y mejoras en la seguridad de la vía.

Mediante el seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas en el Estado de Aguascalientes (*México*), donde la SOP está implementando un tipo de tren de trabajo para la aplicación de la tecnología del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles, se detectó después de un año de realizada la intervención de

presencia de fallas tempranas como: fisuras longitudinales y transversales, fisuras por bloque, desprendimiento de agregado, descascaramientos, exudación, entre otras. Con lo anterior se puede inferir que las rehabilitaciones no están siendo efectivas posiblemente debido a la configuración del equipo y falta de control en la ejecución de los trabajos. A pesar de esto, no se puede establecer que la tecnología de reciclado *in situ* en caliente no funcione como proceso de rehabilitación, ni cumpla con los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos antes mencionados.

Como parte de la auscultación realizada, de las cinco vías estudiadas, se encontró que después de un año de haber sido intervenidas, aproximadamente el sesenta y cinco por ciento de la longitud inspeccionada presenta un estado en buenas condiciones, donde probablemente se requieran acciones de mantenimientos rutinarios, y el treinta y cinco por ciento restante de la superficie que se encuentra en regular estado requerirá mantenimientos de media intensidad que mitiguen el deterioro progresivo de los pavimentos.

Dentro de las fallencias encontradas en la aplicación de la tecnología realizada en el estado de Aguascalientes, México, se encuentra que el equipo utilizado trabaja a flama directa para calentar la superficie del pavimento y poder ser fresado, lo que repercute en la emisión de gases a la atmosfera y el sobrecalentamiento de la carpeta existente. En la literatura revisada se encontró que en otros países el equipo trabaja con un sistema de calentadores radiantes; por otro lado, la

implementación de una compactación monolítica en caliente de la carpeta reniveladora (*material reciclado*) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*) no garantiza la homogeneidad en la compactación y la disminución del riesgo de fallas entre carpetas.

En cuanto a las propiedades mecánicas evaluadas a las mezclas asfálticas mediante estabilidad y flujo Marshall, y módulos dinámicos, se pudo observar que la estabilidad de las mezclas asfálticas era alta a pesar de presentar flujos elevados. Por otro lado, el módulo dinámico en una de las muestras de material reciclado incrementaba respecto a la mezcla asfáltica existente, mientras que la otra decrecía. Es oportuno resaltar que el número de ensayos realizados a las mezclas asfálticas no fue el adecuado para llegar a una conclusión representativa en cuanto a las características de las mezclas asfálticas recicladas. Por otra parte, no se compararon estos resultados con el diseño de la mezcla densa en caliente de la carpeta reciclada, ya que no fue posible obtener información acerca de este diseño.

A pesar de no tener el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica reciclada, se pudo apreciar en las muestras extraídas que estas presentan un alto contenido de asfalto respecto a los intervalos promedios para una mezcla densa en caliente. Este elevado porcentaje puede ser el causante de que el pavimento rehabilitado presente exudación.

En cuanto a las granulometrías, se encontró que estas no cumplen con la gradación especificada para mezclas asfálticas densas en caliente tipo AC-20. Por lo anterior se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de restablecer la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar. Es por esto que es oportuno realizar una frecuencia de muestreo de la mezcla asfáltica existente de acuerdo a lo recomendado por la especificación vigente, para establecer con anticipación las características del material pétreo y del ligante asfáltico.

Con base en la revisión bibliográfica, se encontró que los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos que ofrece la tecnología del reciclado *in situ* en caliente son mayores respecto a los que ofrecen las otras tecnologías que actualmente se utilizan en Colombia. De acuerdo a lo anterior, cabe resaltar la importancia de implementar tecnologías de punta que conserve el medio ambiente, aumente los rendimientos y minimice los costos durante la ejecución de las rehabilitaciones de vías, con el fin de optimizar los trabajos realizados.

8 RECOMENDACIONES

Con base en el seguimiento y auscultación de la aplicación de la tecnología del reciclaje en *situ* en caliente de pavimentos flexibles en el estado de Aguascalientes México, es recomendable que la SOP revise el método constructivo con el cual están colocando una carpeta de rodadura de mezcla asfáltica nueva sobre la carpeta reniveladora de material reciclado, ya que al colocar una sola capa de material homogéneo de igual rigidez pueden disminuir los riegos de falla entre capas. Esto se puede lograr implementando un tercer módulo al tren de trabajo que cumpla las funciones de mezclado y dosificación, controlando las temperaturas óptimas tanto en el mezclado como en su posterior extendido, de acuerdo con lo recomendado en la literatura para este método.

En cuanto al desempeño de la tecnología es constructivo y ambientalmente recomendable utilizar un equipo que caliente la carpeta existente con un sistema de calentadores radiantes, en lugar de utilizar el equipo de flama directa con el que cuenta la SOP en el Estado Aguascalientes. De igual forma, sería oportuno realizar un seguimiento y auscultación a la vía previo a la rehabilitación, con el objeto de determinar el tipo de fallas superficiales y/o estructurales, y así establecer si la tecnología satisface las necesidades de la vía.

9 BIBLIOGRAFIA

ALARCÓN, Jorge. Tesis Doctoral. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Enero de 2003.

CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007.

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006.

CORONADO, Jorge. Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras. Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN). Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Guatemala: 2000.

DERLI, Macagnan. Wirten Group. Tecnologías para la construcción y rehabilitación de pavimentos. Alemania: Agosto de 2007.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. Presentación Reciclaje de Pavimentos INVIAS. Encuentro Pavimentos 2007.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, FHWA. Department of Transportation. Pavement Preservation. Cold In place Asphalt Recycling and Hot In place Asphalt Recycling. Publication No FHWA-IF-06-012/011 Estados Unidos: Noviembre de 2005.

INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras - INVIAS 2002. Capítulo cuarto, artículo 461-02 y 462-02.

MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling. www.martec.ca. Canadá. Última revisión Febrero de 2009.

MILIARIUM. Reciclado de Firmes. 2004. www.miliarium.es.
[http://www.miliarium.es/Premios2004/Reciclado Firmes/Reciclado Firmes.pdf](http://www.miliarium.es/Premios2004/Reciclado_Firmes/Reciclado_Firmes.pdf).
Última revisión Agosto de 2009.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Normatividad ambiental de emisión de

gases y material particulado a la atmósfera.

[www.alcaldiabogota.gov.co.http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425). Última revisión Noviembre de 2009.

MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomo II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002.

MONTEJO, Alfonso. Reciclaje de Pavimentos. Primer encuentro nacional de pavimentos.

<http://tycho.escuelaing.edu.co/ecinfo2/educontinuada/EncuentroPavimentos/001PresentacionINVIAS.pdf>. Última revisión Julio de 2009.

PAVIMENTOS. División de Investigaciones y Asesorías. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia 1997

REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology.www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

RIVERA, Gustavo. Reciclado de pavimentos en frío, empleando emulsiones asfálticas cationicas. Editorial Alfaomega, 1997.

RUIZ, Rosa. Estructura para la presentación escrita de informes del Proyecto Integrador. En: ASESORÍA METODOLÓGICA presentación de informes del Proyecto Integrador. Bogotá: U.S.B, 2003.

SABINO, Carlos. El proceso de investigación. Buenos Aires: 1978

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Recuperación en caliente de carpetas asfálticas. SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION. México: 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos. www.ingeniería.uady.mxhttp://www.ingeniería.uady.mx/revista/volumen12/mantenimiento_de_pavimentos.pdf. México. Última revisión Octubre de 2009.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos www.ufpso.edu.co http://www.ufpso.edu.co/ftp/pdf/documentos/charla_fallas_pavimentos_flexibles.pdf. Última revisión septiembre de 2009.

WIRTGEN GRUOP. Manual de Reciclado en Frío. 2 edición. Windhagen, Alemania: Noviembre de 2004.

IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Experiencia del reciclaje de pavimentos en Colombia utilizando emulsiones asfálticas. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Rehabilitación de la estructura de un pavimento. Diseño y comportamiento de base reciclada en frío. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

XIV SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Universidad del Cauca (Popayán – Colombia). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2003.

ANEXO A- FICHA INFORMATIVA DEL EQUIPO

Características y datos técnicos del equipo de precalentado y recicladora para el proceso de “reciclado in situ” en caliente de pavimentos flexibles. Fabricado por Cutler Repaving, Inc.

Pre-calentador

| Característica | Medida |
|-------------------------------------|------------|
| Largo | 11.73 m |
| Ancho | 3.60m |
| Altura | 2.64 m |
| Peso (con carga) | 8200 kg |
| Capacidad de gas | 5678 lts |
| Capacidad de diesel | 473 lts |
| Velocidad de traslado | 19.2 km/hr |
| Velocidad de trabajo | 3.20 m/min |
| Capacidad de motor (trabajo pesado) | 270 h.p |
| Velocidad de motor | 1800 rpm |
| Aceite hidráulico | 208 lts |
| Anticongelante | 26.50 lts |

Recicladora

| Características | Medida |
|-------------------------------------|--------------|
| Largo | 17.07 m |
| Altura | 3.35 a 3.96m |
| Peso (con carga) | 2.44 m |
| Capacidad de gas | 37500 kg |
| Capacidad de diesel | 3785 lts |
| Velocidad de traslado | 795 lts |
| Velocidad de trabajo | 19.2 km/hr |
| Capacidad de motor (trabajo pesado) | 3.20 m/min |
| Velocidad de motor | 1800 rpm |
| Aceite hidráulico | 606 lts |

ANEXO B. CUANTIFICACION Y CLASIFICACION DE LAS FALLAS

ANEXO C. FORMATOS UTILIZADOS

El Seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas se realizó con base al formato diseñado. El ensayo de granulometría para las mezclas asfálticas se realizó con base a los formatos que la SOP tiene para la determinación de calidad de mezclas asfálticas en caliente. El formato de módulo dinámico elástico se tomó con base el estipulado por el laboratorio de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana

FORMATO REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION

| | | | | | |
|--|--|---|-----------------|--|--|
|  UNIVERSIDAD DE LA SALLE <small>Educare para Formar, Docere y Servire</small> | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  SOP <small>SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS</small> | |
| Fecha: | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 1 | |
| Hora: | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | | Actividad | | | |
| Ubicación | | Constructor | | | |
| Longitud tramo | | Absisado | | | |
| Ancho tramo | | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
| | | | | | |
| Página 1 | | | | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| | | | | | |

FORMATO CALIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS



SOP
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

Obra:
 Ubicación:
 Folio:

| | |
|--------------|--|
| Codigo | |
| Asunto | |
| Responsable | |
| Genera | |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

Registro Muestra No. Muestreó
 Procedencia
 Tendido en

F. muestreo
 F. reporte

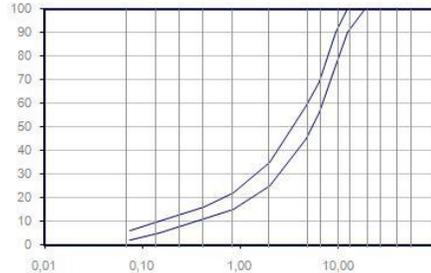
TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

Origen y tratamiento previo. Triturado Semitriturado Cribado Mezclado Tamaño nominal

Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) $\Sigma L \leq 1'000,000$ $\Sigma L > 1'000,000$

CARACTERISTICAS GRANULOMÉTRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | | |
| Unidad | | | 6 | | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | | |
| Pérdida de estabilidad. | % | | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | | |
| Equivalente de Arena. | % | | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | | |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | | |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | | |
| Estabilidad. | Kg | | | |
| Flujo. | mm | | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio
Vo.Bo.
Ing. Víctor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio

FORMATO ENSAYO MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO



LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS
 FORMATO AF3-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
 Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
 Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5373 Fax: Ext. 5373

| ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - DEFORMACIÓN CONTROLADA | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|-------------------|--------------|---------------------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
| INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF3-01 | | | | | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-98 | | | |
| CODIGO ORDEN: 110-09 | | | PROYECTO: ---- | | | | | |
| Referencia: _____ | | | | | Fecha Recepción: _____ | | | |
| Descripción: _____ | | | | | Fecha de Ensayo: _____ | | | |
| Localización: _____ | | | | | | | | |
| Muestra: _____ | | | | | | | | |
| DEFORMACIÓN OBJETIVO: | | | | | | | | |
| BRIQUETA | TEMP. (°C) | FREC. (Hz) | ESFUERZO (kPa) | MÓDULO (MPa) | | Variación % | Módulo Promedio (MPa) | OBSERVACIONES |
| | | | | Diámetro 1 | Diámetro 2 | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

OBSERVACIONES

EJECUTÓ: LABORATORISTA
CALCULÓ: *ECNOLÓGÓ DE LABORATORIO
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

ANEXO D COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN

RECURSOS MATERIALES

Los recursos materiales que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Concepto | Unidad | Cantidad | Vr. Unitario | Vr. Total |
|---------------------------|--------|----------|--------------|--------------|
| Discos Compactos | Unidad | 5 | \$ 1.000,00 | \$ 5.000,00 |
| Fotocopias | Unidad | 200 | \$ 100,00 | \$ 20.000,00 |
| Impresiones (Cartuchos) | Global | 1 | \$ 30.000,00 | \$ 30.000,00 |
| Resma de papel | Global | 1 | \$ 40.000,00 | \$ 40.000,00 |
| Total recursos materiales | | | | \$ 95.000,00 |

RECURSOS INSTITUCIONALES

Los recursos institucionales que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

- Laboratorio de pavimentos SOP (Aguascalientes – México)
- Laboratorio de Ingeniería Civil Pontifica Universidad Javeriana

RECURSOS TECNOLÓGICOS

Los recursos tecnológicos que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Concepto | Unidad | Cantidad | Vr. Unitario | Vr. Total |
|-----------------------------|--------|----------|-----------------|-----------------|
| Computador | Unidad | 1 | \$ 1.000.000,00 | \$ 1.000.000,00 |
| Impresora | Unidad | 1 | \$ 250.000,00 | \$ 250.000,00 |
| Cámara Digital | Unidad | 1 | \$ 350.000,00 | \$ 350.000,00 |
| Total recursos Tecnológicos | | | | \$ 1.600.000,00 |

RECURSOS HUMANOS

Los recursos humanos que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Cargo | Encargado | No Hora | Vr. Total |
|------------------------|------------------------------|---------|---------------|
| Investigador | Estudiante proyecto de grado | 80 | |
| Coinvestigador | Director temático* | 20 | \$ 120.000,00 |
| | Asesora metodologica** | 20 | \$ 148.148,00 |
| Total recursos humanos | | | \$ 268.148,00 |

*Valor asumido por la Universidad de La Salle, según Acuerdo No. 175 de noviembre 20 del 2007

**Valor asumido por la Universidad de La Salle, según contrato laboral.

RECURSOS FINANCIEROS

La totalidad de recursos financieros a utilizar para el desarrollo de la presente investigación son:

| Item | Fuentes de financiación | | |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | Universidad de la Salle. Facultad de | Estudiante | Total |
| Materiales | \$ 47.500,00 | \$ 47.500,00 | \$ 95.000,00 |
| Tecnológicos | \$ 800.000,00 | \$ 800.000,00 | \$ 1.600.000,00 |
| Humanos | \$ 134.074,00 | \$ 134.074,00 | \$ 268.148,00 |
| Subtotal | \$ 981.574,00 | \$ 981.574,00 | \$ 1.963.148,00 |
| Imprevistos (9%) | \$ 88.341,66 | \$ 88.341,66 | \$ 176.683,32 |
| Total | \$ 1.069.915,66 | \$ 1.069.915,66 | \$ 2.139.831,32 |
| Total recursos financieros | | | \$ 2.139.831,32 |



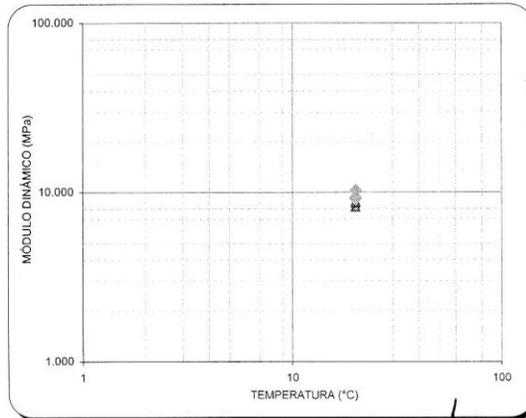
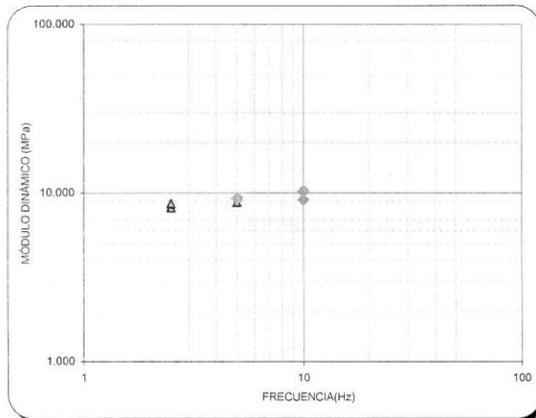
ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - DEFORMACIÓN CONTROLADA

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF3-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-98

| | |
|---|------------------------------------|
| CODIGO ORDEN: 110-09 | PROYECTO: ---- |
| Referencia: 110-3-4 | Fecha Recepción: 2009-03-30 |
| Descripción: Briquetas tipo Marshall | Fecha de Ensayo: 2006-06-18 |
| Localización: ---- | |
| Muestra: Mezcla asfáltica en caliente tipo AC-20 antes del reciclaje | |

| DEFORMACIÓN OBJETIVO: 5µm | | | | MÓDULO (MPa) | | Variación % | Módulo Promedio (MPa) | OBSERVACIONES |
|---------------------------|------------|------------|----------------|--------------|------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| BRIQUETA | TEMP. (°C) | FREC. (Hz) | ESFUERZO (kPa) | Diámetro 1 | Diámetro 2 | | | |
| 3 | 20 | 2,50 | 404,2 | 8.304 | 8.014 | -3,5 | 8.159 | Resultado Aceptado |
| 4 | 20 | 2,50 | 440,4 | 8.948 | 8.275 | -7,5 | 8.612 | Resultado Aceptado |
| 3 | 20 | 5,00 | 446,4 | 8.814 | 8.765 | -0,6 | 8.790 | Resultado Aceptado |
| 4 | 20 | 5,00 | 462,1 | 9.460 | 9.137 | -3,4 | 9.299 | Resultado Aceptado |
| 3 | 20 | 10,00 | 459,1 | 9.022 | 9.218 | 2,2 | 9.120 | Resultado Aceptado |
| 4 | 20 | 10,00 | 488,3 | 10.084 | 10.397 | 3,1 | 10.241 | Resultado Aceptado |

Nota 1: La prueba se realiza sobre los dos diámetros perpendiculares. El valor del Módulo corresponde al promedio de los dos valores, con una variación permisible entre -20 y +10% respecto a la primera medida.



OBSERVACIONES _____

LEONARDO ROMERO
 EJECUTÓ: LABORATORISTA

[Signature]
 CALCULÓ: TECNOLÓGICO DE LABORATORIO

[Signature]
 REVISÓ: ING. DE LABORATORIO



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | |
|-------------|---|----------|
| Registro | Muestra No. | Muestreó |
| Procedencia | MEZCLA NUEVA | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45. | |

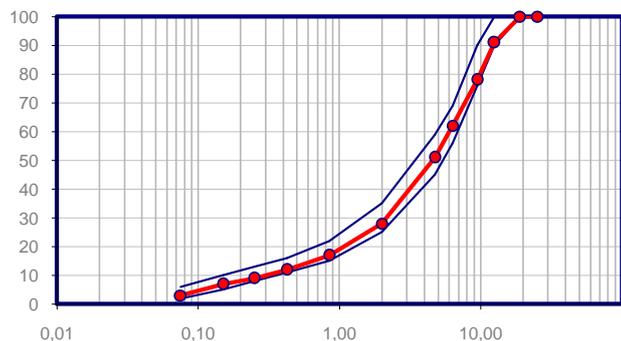
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 06-oct-08 |
| F. reporte | 03-nov-08 |

TIPO DE MEZCLA. (AC-20)

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|----|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 1" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | 100 | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 91 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 78 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 62 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 51 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 28 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 17 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 12 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 9 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 7 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 3 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | |
|----------------------------------|-----|
| Densidad relativa. | s/u |
| Perdida de estabilidad. | % |
| Desgaste de los angeles. | % |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % |
| Equivalente de Arena. | % |

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | |
|---|---|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % |

| | |
|-----------------|------|
| PROYECTO | |
| | 6,55 |
| | 6,15 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Peso específico. | Kg/m3 |
| Estabilidad. | Kg |
| Flujo. | mm |
| Vacios respecto a la mezcla. | % |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % |
| Vacios llenos de asfalto. | % |

| | | |
|-----------------------|--------|-------|
| ESPECIFICACION | | 2308 |
| | 816MIN | 1183 |
| 2 | 3,5 | 3,5 |
| 3 | 5 | 2,85 |
| | 14 MIN | 16,63 |
| 65 | 75 | 82,86 |

OBSERVACIONES.

LA MEZCLA ASFALTICA ANALIZADA ES ACEPTABLE, SE RECOMIENDA APEGARSE A SU ESTUDIO MARSHALL DE PROYECTO PRESENTADO CON RESPECTO AL POR CIENTO DEL CONTENIDO DE ASFALTO

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio

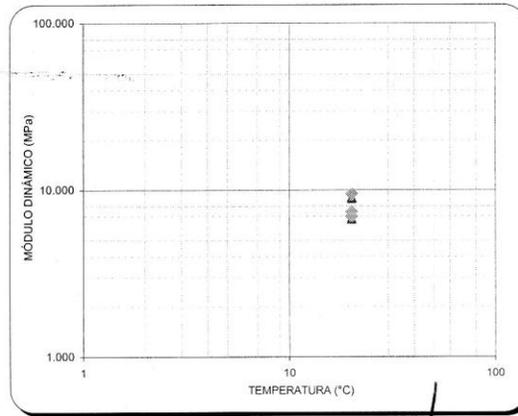
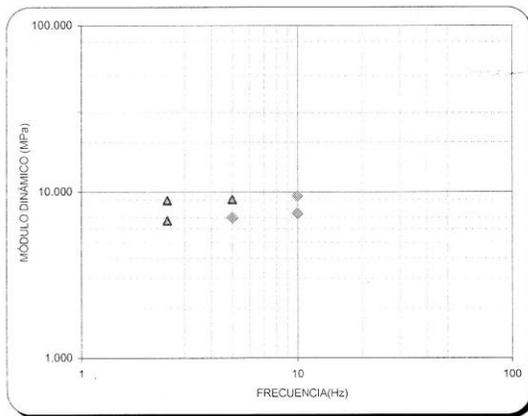


ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - DEFORMACIÓN CONTROLADA
INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF3-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-98

| | |
|---|------------------------------------|
| CODIGO ORDEN: 110-09 | PROYECTO: ---- |
| Referencia: 110-1-2 | Fecha Recepción: 2009-03-30 |
| Descripción: Briquetas tipo Marshall | Fecha de Ensayo: 2006-06-18 |
| Localización: ---- | |
| Muestra: Mezcla asfáltica reciclada en caliente tipo AC-20 | |

| DEFORMACIÓN OBJETIVO: 5µm | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|------------|----------------|--------------|------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| BRIQUETA | TEMP. (°C) | FREC. (Hz) | ESFUERZO (kPa) | MÓDULO (MPa) | | Variación % | Módulo Promedio (MPa) | OBSERVACIONES |
| | | | | Diámetro 1 | Diámetro 2 | | | |
| 1 | 20 | 2,50 | 378,0 | 9.295 | 8.411 | -9,5 | 8.853 | Resultado Aceptado |
| 2 | 20 | 2,50 | 334,5 | 6.954 | 6.444 | -7,3 | 6.699 | Resultado Aceptado |
| 1 | 20 | 5,00 | 474,8 | 9.290 | 8.728 | -6,0 | 9.009 | Resultado Aceptado |
| 2 | 20 | 5,00 | 345,9 | 7.167 | 6.731 | -6,1 | 6.949 | Resultado Aceptado |
| 1 | 20 | 10,00 | 430,8 | 9.673 | 9.186 | -5,0 | 9.430 | Resultado Aceptado |
| 2 | 20 | 10,00 | 360,6 | 7.408 | 7.338 | -0,9 | 7.373 | Resultado Aceptado |

Nota 1: La prueba se realiza sobre los dos diámetros perpendiculares. El valor del Módulo corresponde al promedio de los dos valores, con una variación permisible entre -20 y +10% respecto a la primera medida.



OBSERVACIONES _____

LEONARDO ROMERO
EJECUTÓ: LABORATORISTA

CALCULO: TECNÓLOGO DE LABORATORIO

REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 3a | Muestreó | 3a |
| Procedencia | PAVIMENTO EXISTENTE | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 2+296 (Calz. Izquierda) | | | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

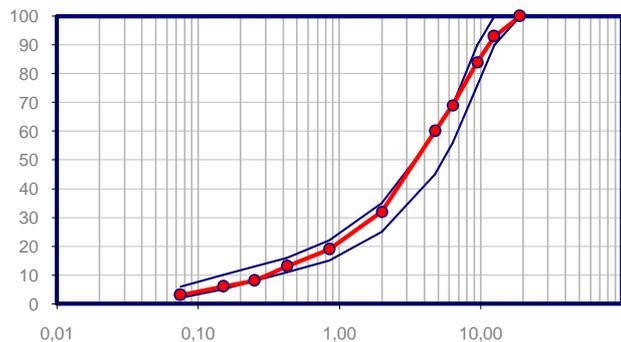
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 03-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|-------------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 93 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 84 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 69 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 60 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 32 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 19 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 13 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 8 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 6 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 3 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|--------|--|--|
| Densidad relativa. | Unidad | | |
| Perdida de estabilidad. | s/u | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 7,48 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 6,96 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 1b | Muestreó | 1b |
| Procedencia | MATERIAL RECICLADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 0+100 (Calz. Derecha) | | | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

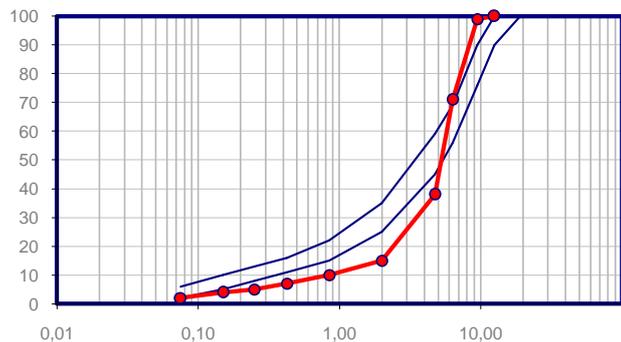
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 06-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 1/2" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 100 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 99 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 71 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 38 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 15 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 10 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 7 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 5 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 4 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 2 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|--------|--|--|
| Densidad relativa. | Unidad | | |
| Perdida de estabilidad. | s/u | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 8,46 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 7,77 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|--|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 2b | Muestreó | 2b |
| Procedencia | MATERIAL RECICLADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 1+300 (Calz. Centro) | | | |

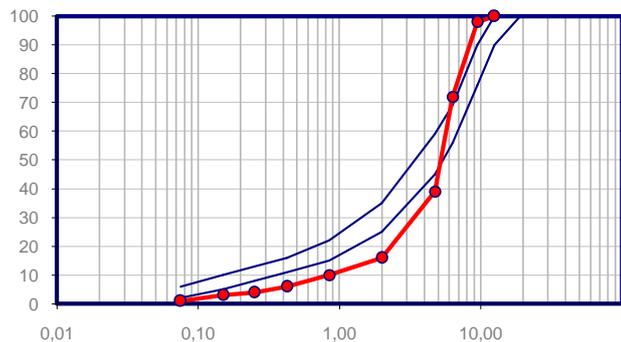
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 06-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 100 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 98 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 72 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 39 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 16 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 10 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 6 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 4 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 3 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 1 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 9,63 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 8,78 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE REICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 3b | Muestreó | 3b |
| Procedencia | MATERIAL REICLADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 2+296 (Calz. Izquierda) | | | |

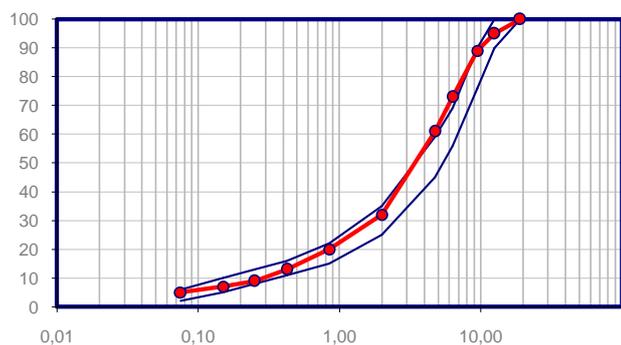
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 06-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|-------------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 95 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 89 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 73 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 61 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 32 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 20 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 13 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 9 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 7 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 5 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|-------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 10,00 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 9,09 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | | |
|--------------------------------------|-------|----------|----------|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| Estabilidad. | Kg | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| Flujo. | mm | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |

OBSERVACIONES.

Revisó

Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.

Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 1c | Muestreó | 1c |
| Procedencia | PAVIMENTO REHABILITADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 0+100 (Calz. Derecha) | | | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

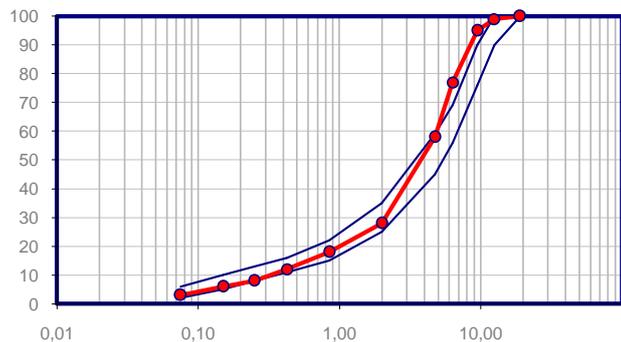
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 13-nov-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 99 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 95 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 77 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 58 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 28 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 18 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 12 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 8 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 6 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 3 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 6,83 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 6,39 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|--|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 2c | Muestreó | 2c |
| Procedencia | PAVIMENTO REHABILITADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 1+300 (Calz. Centro) | | | |

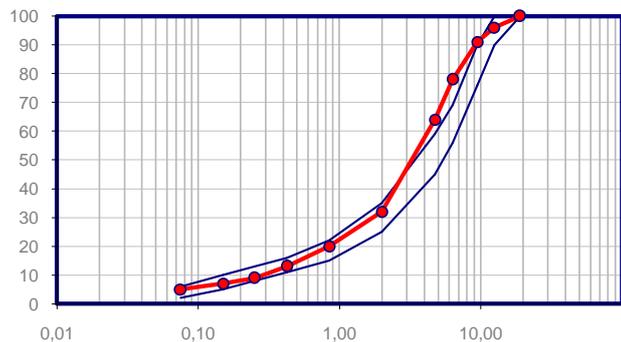
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 13-nov-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|-------------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 96 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 91 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 78 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 64 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 32 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 20 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 13 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 9 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 7 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 5 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 8,64 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 7,95 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 3c | Muestreó | 3c |
| Procedencia | PAVIMENTO REHABILITADO | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 2+296 (Calz. Izquierda) | | | |

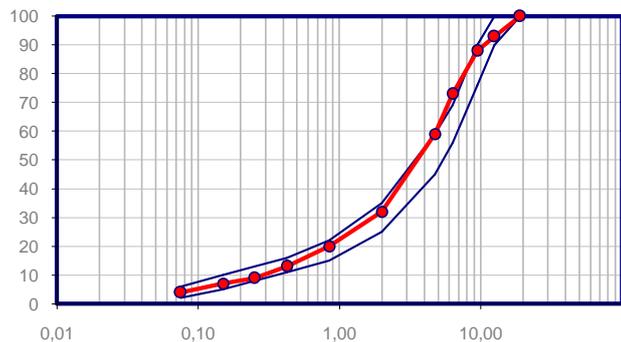
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 13-nov-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|-------------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 93 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 88 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 73 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 59 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 32 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 20 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 13 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 9 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 7 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 4 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 6,57 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 6,16 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|---|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 1a | Muestreó | 1a |
| Procedencia | PAVIMENTO EXISTENTE | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 0+100 (Calz. Derecha) | | | |

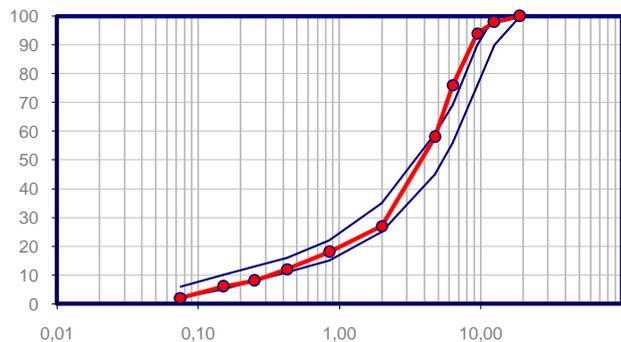
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 03-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|-------------|
| Origen y tratamiento previo. | <input type="radio"/> Triturado <input checked="" type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 3/4" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | 100 | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 98 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 94 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 76 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 58 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 27 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 18 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 12 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 8 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 6 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 2 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 9,81 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 8,93 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó

Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.

Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio

DATOS DE LA OBRA.

| | |
|------------|---|
| Obra: | CONSERVACION DE LA RED ESTATAL MEDIANTE RECICLADO |
| Ubicación: | LOCALIDAD DE LA ESCONDIDA - MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS |
| Folio: | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | | | |
|-------------|--|----|----------|----|
| Registro | Muestra No. | 2a | Muestreó | 2a |
| Procedencia | PAVIMENTO EXISTENTE | | | |
| Tendido en | CARRETERA QUE COMUNICA LA LOCALIDAD DE LA ESCONDIDAD CON LA AUTOPISTA 45 Km 1+300 (Calz. Centro) | | | |

| | |
|--------------|------------------------|
| Codigo | R08-PRO11-P01-A/SUP/DC |
| Asunto | INFO CALID MEZCLA ASF |
| Responsable | JEFE DPTO LABORATORIO |
| Genera | DC |
| F liberación | |
| T retención | |

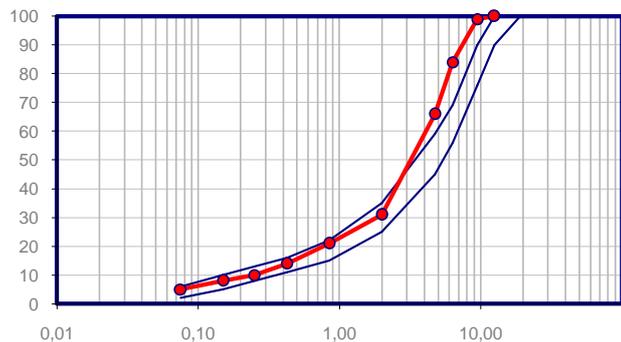
| | |
|-------------|-----------|
| F. muestreo | 03-oct-08 |
| F. reporte | 05-dic-08 |

TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

| | | | |
|---|---|----------------|------|
| Origen y tratamiento previo. | <input checked="" type="radio"/> Triturado <input type="radio"/> Semitriturado <input type="radio"/> Cribado <input type="radio"/> Mezclado | Tamaño nominal | 1/2" |
| Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) | <input type="radio"/> $\Sigma L \leq 1'000,000$ <input checked="" type="radio"/> $\Sigma L > 1'000,000$ | | |

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | 100 | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | 99 | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | 84 | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | 66 | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | 31 | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | 21 | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | 14 | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | 10 | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | 8 | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | 5 | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Perdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|-------|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | 12,60 |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | 11,19 |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

Revisó
Francisco Javier Acosta Collazo
Coordinador de Laboratorio

Vo.Bo.
Ing. Victor Daniel López Sánchez
Jefe de Depto. de Laboratorio

RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.**

2009

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director temático:

Ing. Manuel Santiago Ocampo

Asesora metodológica:

Marlene Cubillos Romero

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.**

2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente de jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Diciembre 7 de 2009

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa su reconocimiento:

Al Ingeniero MANUEL SANTIAGO OCAMPO director temático, por la dedicación, confianza, paciencia, apoyo incondicional, enseñanza que me apporto durante el desarrollo de este trabajo de grado y por demostrarme que siendo perseverantes alcanzamos nuestros objetivos.

Al Ingeniero HECTOR VEGA GARZON por la confianza y apoyo depositado para elaboración de este trabajo.

Al Ingeniero CARLOS LEONARDO MENDOZA por su ayuda y apoyo, por la gran confianza depositada para el desarrollo de este trabajo de grado.

Al ingeniero HERMES VACA por su colaboración y el gran aporte en el desarrollo de los ensayos de laboratorio en la Pontificia Universidad Javeriana.

A mi gran amiga y confidente LINA MARIA PEREZ por su gran apoyo en la culminación de este trabajo de grado porque sin su confianza y motivación hubiera sido imposible.

A todos los integrantes del departamento de Infraestructura carretera y laboratorio de pavimentos de la Secretaria Obras Publicas del estado de Aguascalientes (México), porque sin ellos hubiera sido imposible la elaboración de este trabajo de grado.

Finalmente a todos mis amigos y docentes de la Universidad de la Sallé y la Universidad Autónoma de Aguascalientes (México) por estar siempre a mi lado y brindarme confianza, conocimiento y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios y la Universidad de La Sallé por brindarme la oportunidad de haber cursado los dos últimos semestres académicos en la Universidad Autónoma de Aguascalientes de acuerdo al convenio de intercambio estudiantil, ya que con la experiencia allí adquirida se desprende este trabajo de grado.

A mi Padre quien me enseñó lo que es el esfuerzo y dedicación para llegar a nuestros objetivos, quien nunca desfallece ante las adversidades. Ese ser que me ha dado su confianza y apoyo incondicional. Un hombre que más que ser mi padre es mi ídolo y mi ejemplo de vida.

A mi madre por su amor y confianza, porque a pesar de mis errores siempre ha estado a mi lado y nunca deja de creer en mí. Por enseñarme lo que es la humildad y el amor por Dios.

A mis hermanas por su incondicional apoyo, por sus enseñanzas, sus consejos y amor. Por ser mujeres extraordinarias que nunca desfallecen ante las adversidades y siempre están a mi lado cuando más lo necesito. Finalmente a mi hermoso hijo quien es la luz y el motor de mi vida, que me señala el camino de la perseverancia y del trabajo constante. Mi razón de ser.

JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| 1 Problema | 2 |
| 1.1 Linea | 2 |
| 1.2 Titulo | 2 |
| 1.3 Descripcion del problema | 2 |
| 1.4 Formulación del problema | 4 |
| 1.5 Justificación | 4 |
| 2 Objetivos | 6 |
| 2.1 Objetivo general | 6 |
| 2.2 Objetivos especificos | 6 |
| 3 Marco referencial | 7 |
| 3.1 Marco teorico - conceptual | 7 |
| 3.1.1 Estructura de un pavimento | 7 |
| 3.1.2 Rehabilitación | 8 |
| 3.1.3 Examen superficial del pavimento | 12 |
| 3.1.4 Reciclado de pavimentos flexibles | 15 |
| 3.1.5 Estado del arte del reciclado de pavimentos flexibles en colombia | 19 |
| 3.2 Marco normativo | 22 |
| 3.3 Marco temático | 23 |
| 3.4 Reciclaje de pavimentos in situ en caliente de pavimentos flexibles | 23 |
| 3.5 Proceso de reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles utilizado en el estado de aguascalientes (<i>méxico</i>). | 28 |
| 3.6 Diseño metodologico preliminar | 40 |
| 3.6.1 Fase preliminar | 42 |
| 3.6.2 Fase trabajo de campo y ensayos de laboratorio | 42 |
| 3.6.3 Fase beneficios y desventajas | 43 |
| 3.7 Objeto de estudio | 43 |

| | |
|--|-----|
| 3.8 Instrumentos | 43 |
| 3.9 Variables | 44 |
| 3.10 Hipótesis | 44 |
| 3.11 Costos | 44 |
| 4 Alcance y limitación | 45 |
| 4.1 Alcance | 45 |
| 4.2 Limitación | 45 |
| 5 Trabajo ingenieril | 46 |
| 5.1 Seguimiento y auscultacion | 46 |
| 5.1.1 estado del pavimento existente | 46 |
| 5.1.2 características de la carpeta rehabilitada | 59 |
| 5.1.3 estado de la carpeta rehabilitada a los dos meses | 60 |
| 5.1.4 estado de la carpeta rehabilitada al año de ser intervenida | 62 |
| 5.1.5 cuantificación y clasificación de las fallas encontradas después de la rehabilitación. | 67 |
| 5.2 trabajo en campo y laboratorio | 80 |
| 5.2.1 extracción de muestras | 81 |
| 5.2.2 ensayos de laboratorios | 83 |
| 5.2.3 material asfáltico nuevo | 107 |
| 6 beneficios y desventajas | 109 |
| 6.1 beneficios | 109 |
| 6.1.1 beneficios ingenieriles | 110 |
| 6.1.2 beneficios ambientales | 114 |
| 6.1.3 beneficios económicos | 116 |
| 6.2 desventajas | 118 |
| 7 conclusiones | 120 |
| 8 recomendaciones | 124 |
| 9 bibliografia | 125 |
| Anexos | |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Fallas tratadas con la tecnología | 24 |
| Tabla 2. Relación de ensayos de laboratorio | 42 |
| Tabla 3. Cuantificación de los deterioros. Vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 68 |
| Tabla 4. Clasificación de los deterioros. Vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 69 |
| Tabla 5. Estado de la vía la escondida; k 0+000 - k 2+700 | 70 |
| Tabla 6. Cuantificación de los deterioros. Av, aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 70 |
| Tabla 7. Clasificación de los deterioros. Avenida aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 71 |
| Tabla 8. Estado avenida aguascalientes; k 0+000 - k 4+500 | 72 |
| Tabla 9. Cuantificación de los deterioros. Carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 72 |
| Tabla 10. Clasificación de los deterioros. Carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 73 |
| Tabla 11. Estado carrera 45 norte; k 0+000 - k 2+500 | 74 |
| Tabla 12. Cuantificación de los deterioros bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 75 |
| Tabla 13. Clasificación de los deterioros del bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 76 |
| Tabla 14. Estado del bulevar juan pablo ii; k 0+000 - k 2+500 | 76 |
| Tabla 15. Cuantificación de los deterioros. Carr. Mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 77 |
| Tabla 16. Clasificación de los deterioros. Carr. Mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 78 |
| Tabla 17. Estado de la carretera mahatma gandhi; k 0+000 - k 4+400 | 78 |
| Tabla 18. Resultado general del seguimiento y auscultación | 79 |
| Tabla 19. Relación de extracción de muestras | 82 |
| Tabla 20. Resultados de los ensayos de laboratorio | 84 |
| Tabla 21. Diseño de la carpeta nueva (tipo ac-20) | 108 |
| Tabla 22. Diseño marshall | 108 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Clasificación de las rehabilitaciones | 8 |
| Cuadro 2. Calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento | 15 |
| Cuadro 3. Especificaciones generales de construcción de carreteras | 20 |
| Cuadro 4. Normatividad relacionada en esta investigación | 22 |
| Cuadro 5. Etapas de la rehabilitación | 30 |
| Cuadro 6. Variables de la investigación | 44 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Estructura de un pavimento | 8 |
| Figura 2. Reciclado de pavimentos flexibles | 16 |
| Figura 3. Deterioro del pavimentos asfáltico | 25 |
| Figura 4. Proceso del método completo | 27 |
| Figura 5. Proceso del método utilizado en aguascalientes, méxico | 27 |
| Figura 6. Rehabilitación de la carpeta existente | 29 |
| Figura 7. Ubicación del estado de aguascalientes – méxico | 37 |
| Figura 8. Ubicación de la vía rehabilitada. | 37 |
| Figura 9. Diagrama metodológico | 41 |
| Figura 10. Porcentaje de deterioro de las vías rehabilitadas | 79 |
| Figura 11. Granulometría del pavimento existente. Municipio la escondida | 86 |
| Figura 12. Contenido de asfalto en el pavimento existente | 88 |
| Figura 13. Estabilidad marshall de las carpetas asfálticas | 90 |
| Figura 14. Flujo marshall de las carpetas asfálticas | 91 |
| Figura 15. Módulos a una frecuencia de 2.5hz y temperatura de 20°C | 93 |
| Figura 16. Módulos a una frecuencia de 5.0hz y temperatura de 20°C | 94 |
| Figura 17. Módulos a una frecuencia de 10hz y temperatura de 20°C | 94 |
| Figura 18. Variación del módulo para el abscisado k0+100 | 95 |
| Figura 19. Variación del módulo para el abscisado k2+296 | 96 |
| Figura 20. Granulometría del material reciclado sin compactar | 100 |
| Figura 21. Contenido de asfalto del material reciclado sin compactar | 101 |
| Figura 22. Granulometría del pavimento rehabilitado | 105 |
| Figura 23. Contenido de asfalto del pavimento rehabilitado | 106 |
| Figura 24. Rendimiento para cada tipo de intervención | 111 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | Pág. |
|---|------|
| Fotografía 1 tren de trabajo utilizado en el estado de aguascalientes | 35 |
| Fotografía 2. Pavimento existente | 39 |
| Fotografía 3. Material fresado sin compactar | 39 |
| Fotografía 4. Perdida del agregado | 48 |
| Fotografía 5. Exudación en la carpeta existente | 49 |
| Fotografía 6. Desintegración de bordes en la carpeta existente | 50 |
| Fotografía 7. Descascaramiento en la carpeta existente | 51 |
| Fotografía 8. Abultamiento de la carpeta existente | 53 |
| Fotografía 9. Fisuras longitudinales en la carpeta existente | 54 |
| Fotografía 10. Fisuras transversales en la carpeta existente | 55 |
| Fotografía 11. Fisura de borde en la carpeta existente | 56 |
| Fotografía 12. Fisuras en bloque de la carpeta existente | 57 |
| Fotografía 13. Carpeta rehabilitada, municipio la escondida | 61 |
| Fotografía 14. Problemas durante la escarificación. | 62 |
| Fotografía 15. Descascaramiento del pavimento rehabilitado. | 64 |
| Fotografía 16. Fisuras en el pavimento rehabilitado. | 64 |
| Fotografía 17. Exudación del pavimento rehabilitado. | 65 |
| Fotografía 18. Abultamientos en el pavimento rehabilitado. | 66 |
| Fotografía 19. Reparcheo en pavimento rehabilitado. | 67 |
| Fotografía 20. Extracción de núcleos de la carpeta a rehabilitar. | 81 |
| Fotografía 21. Pannels extraídas en la carpeta rehabilitada. | 82 |
| Fotografía 22. Pavimento existente. Municipio la escondida | 85 |
| Fotografía 23. Ensayo de granulometría | 87 |
| Fotografía 24. Ensayo de emulsión asfáltica | 89 |
| Fotografía 25. Prensa marshall | 91 |
| Fotografía 26. Modulo dinámico | 92 |
| Fotografía 27. Escarificación de la carpeta existente | 97 |

| | |
|---|-----|
| Fotografía 28. Material reciclado sin compactar | 98 |
| Fotografía 29. Apariencia de la mezcla asfáltica | 99 |
| Fotografía 30. Pavimento rehabilitado. Municipio la escondida k 2+296 | 103 |
| Fotografía 31. Capas de la estructura del pavimento rehabilitado | 104 |
| Fotografía 32. Movilización de equipo | 112 |
| Fotografía 33. Rehabilitación de vías en cascos urbanos | 113 |
| Fotografía 34. Sistema de calentamiento por medio de llama abierta | 119 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del equipo

Anexo B. Cuantificación y clasificación de fallas

Anexo C. Formatos Utilizados

Anexo D. Costos de la investigación

GLOSARIO

Asfalto envejecido o deteriorado: Asfalto que ha perdido sus características viscoelásticas y se comporta como un asfalto rígido y frágil. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos envejecidos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos.

Asfalto: Solución coloidal que se da por la unión de los asfáltenos y máltenos. Material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras y autopistas. Este material es también utilizado como impermeabilizante.

Calentamiento del pavimento flexible en métodos de reciclaje: Calentamiento de la carpeta asfáltica envejecida para su posterior fresado, con el fin de la rehabilitación de la vía.

Calidad: Es el conjunto de propiedades que le confiere a un objeto, producto o servicio de la capacidad para satisfacer las necesidades implícitas o explícitas. Propiedad inherente de cualquier cosa que permite ser comparada con otra de su misma especie.

Capa reniveladora: Capa asfáltica reciclada que cumple la función de nivelar la superficie que soportará una nueva capa en la estructura de pavimento. Esta capa

se compacta monolíticamente para el buen desempeño de la capa asfáltica rehabilitada.

Desechos: Desperdicios o sobrantes de las actividades humanas. Se clasifica en gases, líquidos y sólidos; y por su origen, en orgánicos e inorgánicos.

Emulsión asfáltica: Mezcla de asfalto con emulsificantes, que con el agua forman una emulsión estable que permite colocar las carpetas asfálticas "en frío", sirve como riego de imprimación, como material para estabilización de suelos, y como recuperador de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica envejecida.

Fallas estructurales de un pavimento flexible: Son las fallas que se presentan en las capas estructurales de un pavimento flexible.

Fallas superficiales de un pavimento flexible: Son las fallas que se presentan en la capa superior del pavimento o capa de rodadura, presentándose por fatiga o por envejecimiento de los materiales.

Fresado del pavimento flexible: Es la remoción mecánica y controlada de una carpeta asfáltica, con el fin de obtener una superficie adecuada para su posterior tratamiento superficial.

Mantenimiento: Medidas rutinarias y/o periódicas que ayudan al pavimento a llegar a su vida útil, manteniendo en óptimas condiciones la movilidad del tránsito vehicular y peatonal.

Mezcla asfáltica: Es la combinación de asfalto y agregados pétreos en proporciones definidas. Estas proporciones determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como capa de rodadura o estructural en un pavimento.

Mezclas asfálticas recicladas: Mezclas asfálticas producto del fresado que se efectúa en las carpetas asfálticas existentes o envejecidas. Son utilizadas en las rehabilitaciones superficiales y/o estructurales de pavimentos flexibles.

Módulo resiliente: Parámetro que se utiliza para determinar las propiedades mecánicas de un material. Nos da una idea de la calidad de la capa y de la durabilidad que se obtiene al aplicar cargas cíclicas, lo cual origina un estado de tensión similar al de servicio real. Este ensayo es desarrollado para estudiar los efectos de la mezcla asfáltica que describe mejor el comportamiento bajo cargas dinámicas de ruedas.

Pavimentos flexibles: Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta de mezcla asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base.

Reciclaje superficial de pavimentos flexibles: Es la reutilización de mezclas asfálticas retiradas de carpetas envejecidas mediante un fresado, en donde corrige imperfecciones en la superficie con espesores hasta de 6.0 centímetros, añadiendo agregados nuevos, ligantes o modificadores.

Reconstrucción de un pavimento. Es el retiro total o parcial de los materiales existentes de la estructura de un pavimento, para la generación de una vía nueva. Reemplazo total o parcial de la estructura de un pavimento para crear una nueva estructura de pavimento.

Rehabilitación de vías: Conjunto de actividades o medidas que se realizan para recuperar la capacidad superficial y/o estructural de un pavimento. Procesos que generan la ampliación de los periodos de vida útil de un pavimento, donde requiere estudio de tránsito, materiales, y dimensionamiento estructural.

Rejuvenecedores de ligante: Tiene como función reacondicionar el asfalto envejecido o deteriorado y mejorar las propiedades del ligante, redispersando coloidalmente los asfaltenos que halla en exceso.

INTRODUCCION

En los últimos años, en un mundo cada vez más contaminado y con un deterioro creciente del medio ambiente, la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general de todos los sectores productivos del mundo.

Ante este reto, la industria de la construcción ha sido pionera en el desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclaje de los residuos en los procesos constructivos, y otros que son desechados después de cumplir su ciclo de vida, pero que pueden ser reutilizados; tal es el caso de los materiales producto de la rehabilitación de los pavimentos asfálticos.

La idea principal de este trabajo de investigación es el estudio de las ventajas del “reciclado *in situ*” en caliente de pavimentos flexibles, con el objeto de mitigar el impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos y la emisión de gases a la atmósfera en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, disminuir el consumo de nuevos materiales de construcción y aumentar los rendimientos de obra. Por otra parte se pretende hacer un acercamiento en cuanto a las especificaciones en el diseño y control de calidad en la fabricación de las mezclas asfálticas empleando esta tecnología, basado en la experiencia de otros países

1 PROBLEMA

1.1 LINEA

El proyecto de investigación a desarrollar corresponde a la línea de “Nuevos materiales para Carreteras”, del grupo de investigación INDETEC, según las líneas de investigación establecidas por el Programa de Ingeniería Civil, donde su objetivo general es: Investigar, desarrollar e implementar nuevas tecnologías en el campo de los materiales para carreteras garantizando la durabilidad y economía de los proyectos.

1.2 TITULO

Estudio de las ventajas del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La importancia de implementar nuevas tecnologías que ayuden a la preservación del medio ambiente y a la optimización de los procesos en la construcción y/o rehabilitación de carpetas asfálticas, ha llevado a que los avances en esta materia cada día sean más sofisticados y significativos. Entre las tecnologías que se han desarrollado, se encuentra el reciclado *in situ* en caliente de carpetas asfálticas.

Esta tecnología funciona a partir de un tren de trabajo constituido por una serie de maquinarias y procedimientos específicos.

Entre los beneficios que ofrece esta tecnología se encuentra la preservación del medio ambiente, la disminución en el consumo de nuevos materiales para la construcción de pavimentos flexibles, y el aumento de los rendimientos de obra. Así entonces, al reciclar por este método se logra disminuir el consumo de cemento asfáltico y de materiales pétreos; como también se reducen los volúmenes de desechos sólidos mejorando las condiciones del medioambiente.

Sin embargo, en Colombia y otros países en Latinoamérica, la construcción de nuevas vías, o la rehabilitación de las existentes, se lleva a cabo en su mayoría empleando materiales pétreos y ligantes nuevos para la fabricación de las mezclas asfálticas. Esta práctica requiere de la explotación de nuevas canteras o la sobreexplotación de las existentes; así como el consumo de grandes cantidades de cemento asfáltico, lo que conlleva a un negativo impacto ambiental.

Actualmente, las técnicas de reciclado están bastante desarrolladas en muchos países; sin embargo, en Colombia no se cuenta con la experiencia de estas nuevas tecnologías. La maquinaria y equipo necesario para su implementación son cada día más eficientes y especializados, lo que motiva a apostar por este tipo de tecnologías que cada vez cuentan con mayor aceptación en todo el mundo.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo podrían aprovecharse al máximo los materiales producto del reciclaje de pavimentos asfálticos con el fin de mitigar el impacto ambiental, reducir los costos de rehabilitación, y mejorar los rendimientos durante su ejecución?

1.5 JUSTIFICACIÓN

Por medio de la presente investigación se determinarán las ventajas y desventajas del método de reciclado *in situ* en caliente de mezclas asfálticas. Se reconocerán los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos. Se dará a conocer el estado actual del reciclado de pavimentos flexibles en Colombia, y se resaltarán la necesidad del desarrollo de nuevas tecnologías.

La importancia de esta investigación recae en el hecho de que hoy en día, con las tecnologías convencionales para la rehabilitación de pavimentos flexibles, no se está dando una completa solución a la problemática ambiental; por otro lado, los costos de obra resultan elevados y sus rendimientos no son los más óptimos. Es por esto que se pretende presentar una solución a estos problemas, implementando una tecnología de punta en el reciclado de pavimentos flexibles.

Inicialmente se considerarán las experiencias en otros países sobre el desarrollo de esta tecnología, con el fin de establecer las propiedades mecánicas y

desempeño del concreto asfáltico producto de su reutilización. Durante la etapa experimental se hará el seguimiento y auscultación de un tramo de vía ejecutado con esta tecnología de reciclaje en el estado de Aguascalientes, México. Se desarrollarán ensayos de laboratorio al concreto asfáltico envejecido, reciclado y al pavimento rehabilitado, con el fin de determinar su granulometría, el porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo, y módulos dinámicos.

Al finalizar la investigación del reciclado de mezclas asfálticas *in situ* en caliente, se analizarán sus beneficios ingenieriles, ambientales y económicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los beneficios del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las ventajas y desventajas del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles respecto a los otros métodos y en función de los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos.
- Identificar las falencias en la ejecución del reciclaje en caliente *in situ* en el estado de Aguascalientes, México.
- Establecer las características mecánicas de las mezclas asfálticas recicladas *in situ* en caliente en un tramo intervenido en el Estado de Aguascalientes (*México*) mediante ensayos de laboratorio.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO TEORICO - CONCEPTUAL

A lo largo de este capítulo, se presentarán los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión en la ejecución de rehabilitación mediante el reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles.

3.1.1 Estructura de un pavimento

Un pavimento flexible puede estar compuesto de las capas de subrasante, sub-base, base, carpeta y tratamiento superficial. Esta estructura debe estar diseñada de tal manera que soporte las cargas de los vehículos que transitan en el momento que se hace el diseño y el incremento que se estime durante el período de vida proyectado¹.(Figura 1)

¹ RIVERA, Gustavo. Reciclado de pavimentos en frío, empleando emulsiones asfálticas cationicas. Editorial Alfaomega, 1997.

Figura 1. Estructura de un pavimento



Fuente: adaptado por el autor de Gustavo Rivera, 2010.

3.1.2 Rehabilitación

La rehabilitación de vías consiste en el proceso de mejoramiento que garantice la prolongación de la vida del pavimento ya que ocurre un deterioro en las capas asfálticas y las bases granulares debido al acción del tránsito, el clima y el envejeciendo de los materiales, entre otros.

Por tal motivo la rehabilitación se puede clasificar en dos categorías como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de las rehabilitaciones

| REHABILITACION | Problema | | Possible Solución |
|----------------|-------------|--|--|
| | Superficial | Son problemas que se relacionan normalmente al envejecimiento del asfalto y al agrietamiento de la superficie del pavimento, generalmente dentro de los 50 a 100 milímetros de la carpeta asfáltica. | Sobrecarpetas Asfálticas Fresar y Reemplazar Reciclado de carpeta asfáltica |

| REHABILITACION | Problema | | Posible Solución |
|----------------|--------------------|--|---|
| | <i>Estructural</i> | Son problemas que se presentan en la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla de la capacidad estructural del pavimento relacionadas con deformaciones. | Reconstrucción total Construcción de capas adicionales Reciclado de carpeta asfáltica y capas granuladas profundo |

Fuente: adaptado por el autor de Wirtgen Group², 2010.

Adicionalmente se mencionan las medidas de rehabilitación superficial para mitigar el deterioro progresivo de la superficie de rodamiento, las cuales son:

Sobrecarpetas asfálticas. Es la construcción de carpetas asfálticas en caliente entre 40 y 50 mm sobre la superficie existente, esta se caracteriza por ser una solución simple ya que el tiempo de ejecución y el impacto al usuario es mínimo. Sin embargo, sobrecarpetas sucesivas aumentan las cotas de la superficie, lo que puede causar problemas en el sistema de drenaje y afecta el impacto ambiental ya que la explotación de recursos no renovables es muy alta.

Fresar y reemplazar. Este método remueve la capa deteriorada por el fisuramiento de la mezcla asfáltica y luego la reemplaza con una mezcla asfáltica nueva. El proceso es relativamente rápido debido a los altos rendimientos de la

² WIRTGEN GRUOP. Manual de Reciclado en Frío. 2 edición. Windhagen, Alemania: Noviembre de 2004.

maquinaria moderna de fresado. El problema se elimina con la nueva capa de asfalto y las cotas del pavimento se conservan.

Reciclaje de carpeta asfáltica existente. Es la reutilización de la carpeta asfáltica existente que incluye un procedimiento en donde la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada con un agente de reciclaje, con o sin incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, para posteriormente reacondicionar la mezcla asfáltica y finalmente ser compactada³.

A continuación se presentan las medidas para la rehabilitación estructural, identificadas en el Cuadro 1.

Reconstrucción total. Consiste en levantar el material deteriorado o existente para posteriormente realizar una nueva construcción de las capas granulares y la carpeta asfáltica a partir de nuevos materiales. Generalmente este método se lleva a cabo cuando se requieren mejoramientos en los estándares del trazado de una vía. Esta alternativa genera grandes costos, un enorme impacto ambiental y bajos rendimientos.

Construcción de capas adicionales. Cuando se determina que la reconstrucción total no es la alternativa más viable, se debe establecer un tipo de rehabilitación

³ MONTEJO FONSECA Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Colombia, Santafé de Bogotá, D.C. Editorial: Universidad Católica de Colombia. 1998. Segunda edición: p.591.

que no altere los espesores y la calidad de base y súbbase. Generalmente esta alternativa se basa en la construcción de sobrecarpetas asfálticas de gran espesor con el fin de mitigar el problema de falta de capacidad estructural del pavimento. Sin embargo, el incremento en las cotas de superficie habitualmente produce problemas de drenaje.

Reciclado profundo. Esta alternativa consiste en realizar el reciclaje en frío de las carpetas asfálticas y la estructura, para lo cual se debe fresar parte de esta, adicionarle agentes estabilizadores y agua (*en caso de requerirse*), homogenizar y compactar⁴. Esto con el fin de recuperar la mayor cantidad de material del pavimento existente.

Los agentes estabilizadores más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes como también en algunos casos es posible con cementos asfálticos de alto grado de penetración⁵.

Otra alternativa es la combinación de reciclado *in-situ* con reciclado en planta, el cual consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material recuperado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por

⁴IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Rehabilitación de la estructura de un pavimento. Diseño y comportamiento de base reciclada en frío. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

⁵INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997

medio de fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado⁶. El resultado de este reciclaje se puede emplear como capa de rodadura o base la cual se le debe sobreponer una nueva capa superficial.

3.1.3 Examen Superficial del pavimento

La metodología propuesta por la “Guía Metodológica para el Diseño de las Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras”, considera recomendable la adopción de algún índice que defina de manera numérica la condición general de la superficie del pavimento. Para la determinación del índice de deterioro de pavimentos actualmente se cuenta con el método VIZIR.

Método VIZIR. Sistema que clasifica y cuantifica una distinción de las fallas estructurales y funcionales. El método clasifica los deterioros de los pavimentos en dos categorías, A y B.

Las degradaciones de tipo A se caracterizan por condiciones de tipo estructural del pavimento, debido a deficiencias en capas de la estructural del pavimento o en su defecto de las capas asfálticas. Las fallas de tipo A comprenden las

⁶INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997.

deformaciones y los agrietamientos generalmente causados por la fatiga del pavimento.

Las degradaciones del tipo B, en su mayoría son de tipo funcional. Generalmente son deficiencias constructivas y condiciones locales particulares del tránsito. Los deterioros más frecuentes son los agrietamientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos, entre otros⁷.

Determinación del Índice de Deterioro Superficial, “Is”. La solución de los problemas que se manifiestan por medio de las degradaciones del tipo A depende de múltiples factores y, por lo tanto, el diagnóstico exigirá la consideración de aspectos tales como la capacidad portante, la calidad de los materiales existentes, el tránsito futuro, etc. Los deterioros de este tipo suelen generar trabajos importantes de rehabilitación del pavimento, los cuales traen implícito el paliativo para los defectos del tipo B. Así por ejemplo, el sello de grietas para impedir la entrada de agua no es necesario si se acoge a una operación de reciclado para remediar defectos de mayor importancia. De manera general, las degradaciones del tipo B solo intervienen en la solución en ausencia de las del tipo A. Por tal

⁷ MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomo II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002.

motivo, el índice visual global que califica el estado del pavimento solo tiene en cuenta las degradaciones del tipo A⁸.

El primer pasó en la determinación del índice global “Is”, consiste en el cálculo del índice de fisuración (If), el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada, se deberá tomar como representativo de la zona el mayor de los índices calculados.

En seguida, se calcula un índice de deformación (Id), el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. La combinación de “If” e “Id” da lugar a un primer índice de calificación de la calzada, el cual debe ser corregido en función de la extensión y calidad de los trabajos de bacheo.

Efectuada esta corrección, cuando corresponda, se obtiene el “Índice de deterioro superficial” (Is), el cual califica la calzada en la longitud escogida para el cálculo. El valor del Is varía entre 1 y 7, como se muestra en el

Cuadro 2. Sin embargo la valoración de fallas del tipo A no constituye un criterio suficiente para definir las acciones que requiere la calzada para su rehabilitación.

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Bogotá, 2002.

Cuadro 2. Calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento

| VALORES | DESCRIPCION DEL DETERIORO | RANGO DE CALIFICACION VIZIR |
|----------|---|-----------------------------|
| 1 y 2 | Pavimentos con agrietamientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario como: limpieza de bermas, cunetas, alcantarillas de tubo y puentes. | BUENO |
| 3 y 4 | Pavimentos con agrietamiento estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no figurados pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad como: sellos de fisuras, reparcheos, entre otros. | REGULAR |
| 5, 6 y 7 | Pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación. | DEFICIENTE |

Fuente: adaptado por el autor de Ing. Viviana G. Cerón Bermúdez⁹, 2010

3.1.4 Reciclado De Pavimentos Flexibles

El reciclado de los pavimentos es una técnica de la construcción de vías, que consiste en un tratamiento que se le realiza a un pavimento existente o deteriorado, el cual puede emplearse como refuerzo estructural o carpeta de rodadura. Este procedimiento se caracteriza por tener bajos costos constructivos.

⁹ Ing. VIVIANA G. CERON BERMUDEZ. Evaluación y comparación de metodologías VIZIR y PCI sobre el tramo de vía en pavimento flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya – Crq Armenia. Universidad Nacional de Colombia. Programa de Ingeniería Civil. Manizales 2006

El reciclado de pavimentos flexibles se divide en tres tipos, los cuales se subdividen dependiendo el tipo de reciclaje que se deba aplicar, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Reciclado de Pavimentos Flexibles



Fuente: adaptado por el autor de Montejo, 2010.

Reciclaje superficial. Consiste en la rehabilitación mediante el retratamiento de la superficie del pavimento en bajos espesores generalmente no superiores a los 2.5 centímetros, en casos en que los deterioros del pavimento no sean atribuibles a deficiencias estructurales. El proceso puede adelantarse en caliente o en frío e incluye todo procedimiento en que la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada o no de un agente de reciclaje, con o sin la

incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, reacondicionada y recompactada.¹⁰

Dentro de las fallas superficiales que se pueden tratar con este tipo de reciclaje se encuentran: degradación de la carpeta por pérdidas de ligante o agregados pétreos, problemas de rotura y fatiga en la carpeta asfáltica y abultamientos producidos por mezclas asfálticas de baja estabilidad entre otras.

Reciclaje en el lugar (*in situ*). Este tipo de reciclado se puede definir como la reutilización y disgregación de las carpetas asfálticas y en ocasiones parte de la base granular en un pavimento existente. El proceso se puede adelantar en frío o en caliente dependiendo el tipo de falla que se pretenda rehabilitar. El reciclaje *in situ* en frío se puede clasificar en dos tipos: reciclaje superficial y reciclaje profundo o recuperación total de espesores (full depth reclamation)¹¹, mediante un tratamiento en el que se le adiciona un agente de reciclaje y en ocasiones nuevos materiales pétreos. Los agentes de reciclaje o aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cemento Portland, cal, cenizas volantes y eventualmente cementos asfálticos de alto grado de penetración.

¹⁰ MONTEJO F. Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras.. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997,p.274-275.

¹¹IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Experiencia del reciclaje de pavimentos en Colombia utilizando emulsiones asfálticas. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

El reciclaje *in situ* en caliente trata fallas de tipo superficial mediante la reutilización de la carpeta asfáltica después de ser fresada, y nuevamente colocada y compactada. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos y/o mezcla asfáltica nueva; en ocasiones se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas, generalmente cuando el material de fresado que se pretende reciclar es superior o igual al 30 por ciento o cuando su asfalto está muy envejecido. La operación es realizada completamente en el sitio de la intervención por medio de un tren de trabajo y puede tratar rehabilitaciones superficiales con espesores hasta seis (6) centímetros.¹²

Reciclaje en planta. Proceso mediante el cual los materiales recuperados de la carpeta asfáltica y/o base granular producto de la escarificación del pavimento existente, son transportados y mezclados en una planta central para la obtención de una nueva mezcla asfáltica en caliente, que puede ser utilizada como base asfáltica o carpeta de rodadura. Este tipo de reciclaje trata fallas tanto superficiales como profundas.

El proceso se adelanta en caliente, y para la obtención de la nueva mezcla se combinan materiales recuperados de un pavimento asfáltico y eventualmente de base granular, con asfalto y agregados nuevos y/o agentes de reciclaje,

¹² REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

dependiendo las condiciones en que se encuentra el material recuperado. En general, el proceso en planta es económicamente más costoso por metro cúbico de material, debido a los costos de transporte, que no existen en el reciclado *in situ*¹³.

3.1.5 Estado del arte del reciclado de pavimentos flexibles en Colombia

En Colombia actualmente se están empleando desde el punto de vista constructivo las técnicas de reciclaje *in situ* en frío y en planta, siendo la de mayor utilización la primera. Cada una de estas trata fallas específicas en donde se encuentran las que alteran la capacidad estructural y las que no la alteran. La selección de la alternativa será el resultado de todas las condiciones actuales de funcionalidad y capacidad estructural del pavimento existente.

Corresponde al Instituto Nacional de Vías del Ministerio de Transporte ejecutar las políticas y proyectos relacionados con la infraestructura vial a cargo de la Nación, en lo que se refiere a carreteras. La entidad ha establecido políticas, reglas y normas para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de la red vial

¹³ ALARCÓN, Jorge. Tesis Doctoral. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Enero de 2003.

nacional, de manera que ella presente las condiciones de calidad, seguridad y eficiencia¹⁴.

Las “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras”¹⁵ relacionan en el capítulo cuarto del documento de las especificaciones técnicas - INVIAS, referente a los pavimentos asfálticos, los artículos que involucran el reciclaje de pavimentos.

Cuadro 3. Especificaciones generales de construcción de carreteras

| NORMA | DESCRIPCIÓN |
|-----------------|--|
| Artículo 461-02 | “RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN FRÍO EN EL LUGAR EMPLEANDO LIGANTES BITUMINOSOS.” |
| Artículo 462-02 | “RECICLADO EN CALIENTE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS” |

Fuente: adaptado por el autor de INVIAS, 2010.

En términos generales, sólo los pavimentos flexibles pueden ser reciclados *in-situ*. Los pavimentos rígidos contruidos de un hormigón de alta resistencia habitualmente son demolidos al final de su vida útil.

A comienzos de 1992 en Colombia se empezó a intensificar la técnica del reciclaje en frío utilizando emulsiones asfálticas como ligante. Por ende se ha venido

¹⁴MONTEJO, Alfonso. Reciclaje de Pavimentos. Primer encuentro nacional de pavimentos.

¹⁵INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras - INVIAS 2002. Capítulo cuarto, artículo 461-02 y 462-02.

ganando experiencia y conocimiento sobre la importancia del reciclado de pavimentos.

En la actualidad, el tratamiento *in-situ* de los materiales de pavimentos es de uso generalizado, debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a un costo muy inferior de los métodos de reconstrucción convencionales. Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda de construcción de nuevas carreteras. Como consecuencia de esto, el reciclado *in-situ* ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.¹⁶

En Colombia se ha implantado el sistema de reciclaje de pavimentos en frío para diversos proyectos, se pueden nombran algunas experiencias al respecto como: la vía Puertos López – Puerto Gaitán (Meta), Quibdó – Yuto (Choco), Medellín – Santuario (Antioquia), Cali - Loboguerrero (Valle del Cauca), Manizales - Mesones (Caldas), Autopista Bogotá – Villavicencio (Cundinamarca), entre otras. En la ciudad de Bogotá se ha llevado a cabo algunos trabajos de reciclaje en frío en vías principales, como: Av. Américas, Av. 68, Av. Boyacá, Av. Lara Bonilla. Cll 127 y en

¹⁶FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, FHWA. Department of Transportation. Pavement Preservation. Cold In place Asphalt Recycling and Hot In place Asphalt.

algunas vías de las localidades de: Engativá, Los Mártires, Kennedy, Usme, Bosa, entre otras¹⁷.

3.2 MARCO NORMATIVO

En el Cuadro 4 se presentan la normatividad con la cual se realizó el trabajo de reciclado *in situ* en caliente, en el estado de Aguascalientes (México), tanto técnica como ambiental, la normatividad Mexicana para determinar la calidad de la mezcla asfáltica colocada en la vía, y la norma Colombiana de ensayo para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas utilizada en esta investigación para evaluar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Cuadro 4. Normatividad relacionada en esta investigación

| NORMA | TITULO | DESCRIPCION |
|--|---|--|
| SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION | Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica | Determinar los procedimientos y características para el reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles |
| SCT N-CMT 4-05-003 | Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras | Determinar los métodos para la realización de ensayos para la calidad de mezclas asfálticas para carreteras. |
| SCT N-CSV-CAR-502001 | Practicas Ambientales Durante la Elaboración de Carpetas Asfálticas | |

¹⁷ CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007.

| NORMA | TITULO | DESCRIPCION |
|----------------|---|---|
| INV E-749 - 98 | Ensayo de Módulo Dinámico Elástico - Deformación Controlada | Determinar el método para la realización del ensayo de módulo dinámico en mezclas asfálticas. |

Fuente: adaptado por el autor de la Normatividad Mexicana¹⁸ y INVIAS, 2010.

3.3 MARCO TEMÁTICO

Para la realización de esta investigación se obtuvo información correspondiente al reciclado de pavimentos flexibles *in situ* en caliente. Debido a que esta tecnología no se encuentra actualmente disponible en Colombia, se tomó como referencia el trabajo realizado en el Estado de Aguascalientes (*México*), lugar donde se estaba implementando ésta tecnología.

3.4 RECICLAJE DE PAVIMENTOS IN SITU EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Se entiende como reciclado de mezclas asfálticas en caliente a su reutilización después de ser fresadas, y nuevamente colocadas y compactadas. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos y/o mezcla asfáltica nueva; en ocasiones se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Las mezclas asfálticas recicladas que son diseñadas adecuadamente logran alcanzar un comportamiento similar a las fabricadas con materiales nuevos. La operación es realizada

¹⁸ SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORT. Csv. Conservación. México: 2007

completamente en el sitio de trabajo por medio de un tren de trabajo y puede tratar rehabilitaciones superficiales con espesores hasta seis (6) centímetros. Por tanto, esta técnica presenta numerosos beneficios entre los que se destacan los medios ambientales¹⁹.

Cuando el material de fresado que se pretende reciclar es superior o igual al treinta (30) por ciento o cuando su asfalto está muy envejecido, se deben utilizar agentes rejuvenecedores que lo restauren. Las fallas en un concreto asfáltico deteriorado que se relacionan en la Tabla 1 pueden ser eliminadas mediante el reciclaje *in situ* en caliente.

Tabla 1. Fallas tratadas con la tecnología

| Síntomas | Solución con el reciclado |
|---|--|
| Fisuras en la carpeta asfáltica | Las fisuras son eliminadas |
| Perdida de adherencia en el agregado pétreo | Mezclado y recubierto con ligante |
| Desniveles y resaltos hasta 6cm en la carpeta asfáltica | Escarificación y renivelación de la carpeta asfáltica |
| Perdida del drenaje superficial | El bombeo y las mezclas drenantes son reacondicionadas |
| Perdida de viscoelasticidad del asfalto | Restablecida por medio de rejuvenecedores |
| Cambio en la granulometría | La gradación es restablecida |
| Perdida de transitabilidad y confort | Mejora la resistencia al deslizamiento |

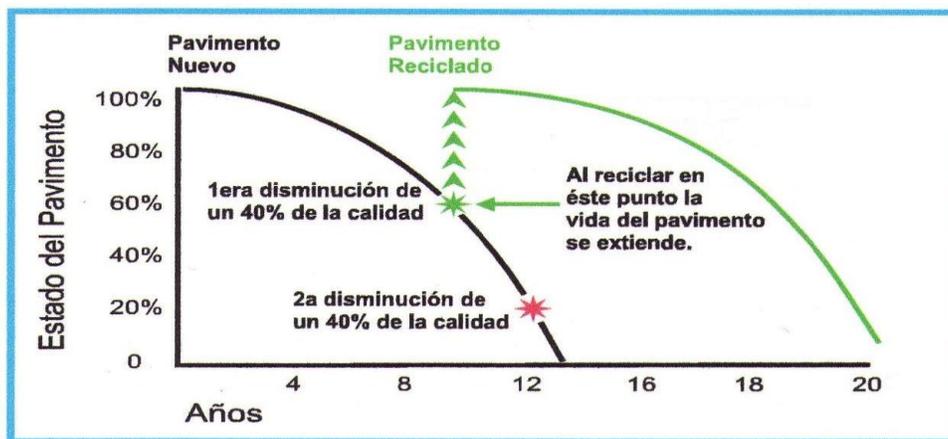
Fuente: adaptado por el autor de Repaving Cutler, 2010.

¹⁹ REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

El deterioro del pavimento está altamente influenciado por condiciones climáticas severas, alto volumen de tráfico y cargas excesivas, así como también por la calidad de su construcción y su rehabilitación. Los pavimentos se diseñan para tener una vida útil y proporcionar un determinado nivel de servicio durante el período proyectado. Con el paso del tiempo, los pavimentos sufren deterioros o fallas provocadas por el tráfico o por el medio ambiente, que hacen necesaria su conservación, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción²⁰.

Como se muestra en la Figura 3, el deterioro de los pavimentos de asfalto se acelera después de varios años de servicio, pero una rehabilitación a tiempo con tratamientos como la adición de una capa de rodadura o el reciclaje pueden devolver la calidad del pavimento y extender la vida útil de la carretera.

Figura 3. Deterioro del pavimentos asfáltico



Fuente: acceso en internet: Banco Mundial, 2010.

20 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos. www.ingeniería.uady.mxhttp://www.ingeniería.uady.mx/revista/volumen12/mantenimiento_de_pavimentos.pdf. México. Última revisión Octubre de 2009.

El procedimiento completo para la ejecución de esta tecnología contempla la utilización de un tren de trabajo como el presentado en la Figura 4. Este tren de trabajo consta de un pre-calentador (*equipo 1*), un calentador/fresador (*equipo 2*), vertimiento de nuevo material (*equipo 3*), equipo mezclador (*equipo 4*), pavimentadora (*equipo 5*), y compactadores (*equipo 6*)²¹. La ejecución de estos procedimientos tiene que cumplir con la normatividad vigente de recuperación en caliente de carpetas asfálticas para la correcta aplicación de la tecnología.

²¹MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling. www.martec.ca. Canadá. Última revisión Febrero de 2009.

Figura 4. Proceso del método completo



Fuente: Martec Recycling, 2010.

Figura 5. Proceso del método utilizado en Aguascalientes, México



Fuente: Adaptado por el autor de Martec Recycling, 2010.

3.5 PROCESO DE RECICLADO *IN SITU* EN CALIENTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES UTILIZADO EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES (MÉXICO).

En el Estado de Aguascalientes, se está implementando una tecnología de reciclado *in situ* en caliente de pavimentos asfálticos para la rehabilitación de las vías existentes. La principal aplicación que se le está dando al material reciclado es la de construir una carpeta reniveladora para posteriormente extender sobre ella una nueva carpeta asfáltica de rodadura compuesta de materiales nuevos. Este trabajo se realiza con una modificación al tren de trabajo completo, el cual se presenta en la Figura 5.

El proceso comienza con el pre-calentador avanzando delante de la recicladora; cuando se terminada de suavizar la carpeta asfáltica, la recicladora culmina el calentamiento y es allí donde se comienza el ciclo de reciclado, adición de agente de reciclaje y posteriormente el tendido simultáneo de la carpeta reniveladora (*material reciclado*) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*). Para asegurar que la unión entre carpetas sea la adecuada, la recicladora mantiene la temperatura durante el proceso con el fin de realizar una junta monolítica entre las carpetas.

La rehabilitación de la carpeta existente o envejecida por medio del reciclado en *in situ* en caliente llevado a cabo en el Estado de Aguascalientes se ilustra en la Figura 6.

Figura 6. Rehabilitación de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

La aplicación de esta tecnología de rehabilitación de pavimentos flexibles la realiza la Secretaría de Obras Públicas (SOP) de Aguascalientes. Este organismo es el encargado de la construcción y/o rehabilitación de las carreteras estatales que se encuentran en el Estado. La SOP para la realización de las rehabilitaciones se rige mediante la normatividad establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT) correspondiente a la Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica²² (SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION).

²² SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Recuperación en caliente de carpetas asfálticas. SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION. México: 2007.

A continuación se muestra las etapas de la rehabilitación, y un paralelo entre la normatividad y el procedimiento llevado a cabo por la SOP en el Estado de Aguascalientes.

Cuadro 5. Etapas de la rehabilitación

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|---|---|
| <p>Etapa 1. Calentamiento de la superficie</p> | <p>G.4.1. La superficie de la carpeta existente será calentada a través del movimiento continuo de calentadores radiantes para permitir la posterior recuperación del material sin romper el agregado en la mezcla asfáltica, manteniendo la temperatura de la carpeta entre ciento cinco (105) y doscientos treinta (230) grados Celsius.</p> <p>G.4.1. Los trabajos de calentamiento de la carpeta serán aplicados por medio de un cofre cerrado el cual se extenderá mas allá de diez (10) centímetros del ancho de la recuperación a ambos lados, de manera tal que la penetración del calor sea uniforme sin causar un diferencial de ablandamiento de la parte superior. El material existente en la superficie no deberá ser expuesto a una flama directa.</p> <p>G.4.2 La intensidad de calor será controlada a través del ajuste apropiado de la flama en una condición estable que no cause emisiones visibles de asfalto carbonizado, de tal manera que el asfalto no sea carbonizado en más de cero coma un (0,1) porciento.</p> | <p>Dentro de la Secretaria de Obras Públicas, se lleva a cabo esta etapa en dos niveles, como primer paso se realiza un precalentamiento (<i>equipo 1</i>), iniciando un suavizado; posteriormente se ejecuta un calentamiento de la superficie final de la carpeta (<i>equipo 3</i>).(<i>Figura 5</i>)</p> <p>Manteniendo la temperatura de la carpeta asfáltica entre ciento cuarenta y cinco (145) y ciento setenta y cinco (175) grados Celsius, para realizar el fresado de la carpeta existente.</p> <p>La ejecución del calentamiento final se da por medio de la recicladora que está equipada con una plataforma de 3,30 X 3,90 metros de calentado. (<i>equipo 3</i>)</p> <p>Los trabajos de calentamiento (<i>precalentamiento y calentamiento final</i>) de la carpeta existente son mediante una flama directa.</p> <p>La norma no establece una temperatura específica para el precalentamiento; esta indica el intervalo de temperatura que debe estar la carpeta para ser fresada</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|--|---|
| <p>Etapa 2. Fresado de carpeta existente</p> | <p>G.5.1 La superficie de la carpeta previamente calentada será inmediatamente cortada. La profundidad mínima del recorte será en promedio de dos (2) centímetros por pasada del equipo de acuerdo con lo establecido en el proyecto o por la secretaria.</p> <p>G.5.2 El recorte de la carpeta se hará con una tolerancia de más menos cero coma seis ($\pm 0,6$) centímetros respecto a la profundidad o al plano de corte que indique el proyecto o por la Secretaría.</p> <p>G.5.3 La recuperación se realizará siguiendo una trayectoria paralela al eje de la carretera, iniciando y terminando en líneas normales a dicho eje.</p> <p>G.5.4 El recorte se realizará con los cuidados necesarios para que los materiales pétreos recuperados no sean pulverizados, fracturados o rotos.</p> | <p>El fresado de la carpeta se realiza cuando la carpeta asfáltica existente presenta temperaturas entre ciento cuarenta y cinco (145) y ciento setenta y cinco (175) grados Celsius, rango en el cual se puede fresar.</p> <p>Las profundidades de fresado de la carpeta existente se realizan entre uno como siete (1,7) y dos como cinco (2,5) centímetros (<i>equipo 3</i>).</p> <p>El sistema de escarificación es a través de dientes con punta de carburo de tungsteno, distribuidas en secciones de treinta (30) centímetros que son controladas individualmente por diafragmas, cortan el pavimento en plano de nivelación sin dañar las partículas de los agregados de la mezcla asfáltica existente.</p> |
| | <p>G.7.1 El material recuperado, los materiales pétreos nuevos, los materiales asfálticos y los aditivos que se empleen en la elaboración de las mezclas asfálticas, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir un producto homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la secretaria, utilizando el equipo de recuperación</p> | <p>Se aplica una emulsión asfáltica o agente rejuvenecedor al material fresado para restaurar la viscoelasticidad del asfalto envejecido. (<i>equipo 3</i>)</p> <p>El sistema de aplicación es por medio de cuatro copas giratorias posicionadas a lo ancho de la recicladora las cuales dispersan y agregan la emulsión o rejuvenecedor sobre el material fresado y suelto.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, (MÉXICO) |
|---|--|--|
| Etapa 3. Aplicación agente de reciclaje | <p>G.7.2 El diseño de la mezcla será responsabilidad del Contratista de Obra, considerando que para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, determinará el proporcionamiento adecuado mediante un diseño de mezclas de granulometría densa en caliente para el caso de carpetas o considerando lo indicado en la clausula F. de la Norma N CMT 4 02 003, materiales para <i>Bases tratadas para el caso de las bases asfálticas.</i></p> | <p>Según la norma N-CMT-4-05-003/08 (<i>Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras</i>) numeral B.1.1, la mezcla asfáltica de granulometría densa en caliente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzos de pavimentos existentes.</p> <p>Para un proporcionamiento adecuado de la emulsión asfáltica se realizará mediante un diseño de mezclas de granulometría densa en caliente.</p> <p>La norma N-CMT-4-05-003/08 (<i>Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras</i>) en el numeral D.1 establece que el diseño de la mezclas asfáltica se realizará de acuerdo con los procedimientos descritos en el manual M-MMP-4-05-034 (<i>Método Marshall para Mezclas Asfálticas de granulometría Densa</i>).</p> |
| | <p>G.8.2 El contratista de obra determinará, mediante la curva <i>viscosidad-temperatura</i> del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.</p> | <p>Colocación de material reciclado para forma una carpeta reniveladora que cuenta con un espesor entre uno como siete (1,7) y dos como cinco (2,5) centímetros (<i>equipo 3</i>).</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|---|--|---|
| Etapa 4. Tendido de la mezcla asfáltica reciclada | <p>G.8.8. En el caso de que el tendido se realice con la maquina recuperadora, la mezcla se extenderá en una sola capa, con un espesor tal que el equipo sea capaz de compactar.</p> | <p>La plataforma de la recicladora cuenta con una zona que reúne el material fresado después de la aplicación de la emulsión asfáltica o rejuvenecedor, y transporta dicha mezcla hacia un pequeño camellón central bajo la recicladora.</p> <p>El material reciclado rejuvenecido es redistribuido en frente la malla de reciclado de cuatro secciones y posteriormente es tendido para formar la carpeta reniveladora. El tendido se realiza mientras esta mezcla aun esta a una temperatura mayor o igual a ciento diez (110) grados Celsius.</p> <p>La carpeta de rodadura de mezcla asfáltica en caliente nueva, es aplicada inmediatamente para lograr la unión monolítica entre la carpeta reciclada y la carpeta de rodadura.</p> |
| Etapa 5. Tendido de la mezcla asfáltica nueva | <p>G.8.1 El tendido se podrá realizar con el equipo de recuperación o utilizando una pavimentadora autopropulsada, de acuerdo con lo establecido en el proyecto o por la Secretaría, extendiendo la mezcla de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme.</p> | <p>La nueva mezcla asfáltica adicional es vaciada en la tolva de la recicladora y trasladada hasta la plancha pavimentadora vibratoria de cuatro secciones que se encuentra en el costado posterior de la recicladora. Esta plancha coloca la carpeta nueva sobre la carpeta reciclada.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|--|--|--|
| <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Etapa 5. Tendido de la mezcla asfáltica nueva</p> | <p>Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.</p> <p>G.8.2 El contratista de obra determinará, mediante la curva <i>viscosidad-temperatura</i> del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.</p> | <p>El tendido y aplicación de la carpeta asfáltica nueva (<i>equipo 2</i>), con un espesor de dos coma cinco (2,5) centímetros se realiza mientras la temperatura de la carpeta asfáltica reciclada se encuentra igual o por encima de ciento diez (110) grados Celsius, para garantizar la unión monolítica en caliente entre las dos carpetas (<i>equipo 3</i>).</p> <p>La recicladora calienta también la unión entre la carpeta asfáltica reciclada y nueva para asegurar una junta con máxima densidad.</p> <p>Se debe tener máximo cuidado en el momento del traslape de dos franjas longitudinales de carpetas asfálticas ya que si no se realiza un procedimiento manual de junteo, se puede presentar problemas de agrietamiento y fisuras al paso del tráfico.</p> |
| | <p>G.9.4 La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.</p> | <p>La compactación de la carpeta reciclada y la carpeta de rodadura se hará conjuntamente.</p> |

| ETAPA | N-CSV-CAR-3-02-008 | PROCESO EN AGUASCALIENTES, MÉXICO |
|------------------------------|---|---|
| Etapa 6. Compactación | <p>G.9.5 El uso de compactadores vibratorios solo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro (4) centímetros de espesor.</p> <p>G.9.6 La compactación se terminará cuando la mezcla tenga temperatura igual a la mínima establecida en la curva <i>Viscosidad- Temperatura</i> del material asfáltico utilizado</p> | <p>La compactación con esta tecnología se realiza por medio de un cilindro de compactación vibratorio y un compactador neumático.</p> |

Fuente: adaptado por el autor de SCT, 2010.

El anterior procedimiento descrito se realiza en un solo tren de trabajo como se ilustra en la Fotografía 1 y la ficha técnica del equipo se presenta en el ANEXO A

Fotografía 1 Tren de trabajo utilizado en el Estado de Aguascalientes



Fuente: el autor, 2010.

Para identificar los beneficios y desventajas que se presentan durante la ejecución de esta tecnología en el Estado de Aguascalientes, se llevó a cabo un seguimiento que comprendía una auscultación visual a las obras de conservación de algunas carreteras rehabilitadas por la Secretaria de Obras Publicas (SOP) como son:

- La Escondida; Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida,
- Avenida Aguascalientes; tramo Av. López Mateus puente a calle Salvador Quesada L.,
- Avenida 45 Norte,
- Bulevar Juan Pablo II; Tramo de Centro Neurosiquiatrico a carretera. Villa Hidalgo,
- Vía Mahatma Gandhi; Tramo de Siglo Puente a Carretera 45 Sur.

Dentro del seguimiento se realizaron extracciones de núcleos y toma de muestras de la mezcla asfáltica al tramo La Escondida; (*Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida*), con el fin de para evaluar las características mecánicas de mezclas asfálticas a partir de ensayos de laboratorio.

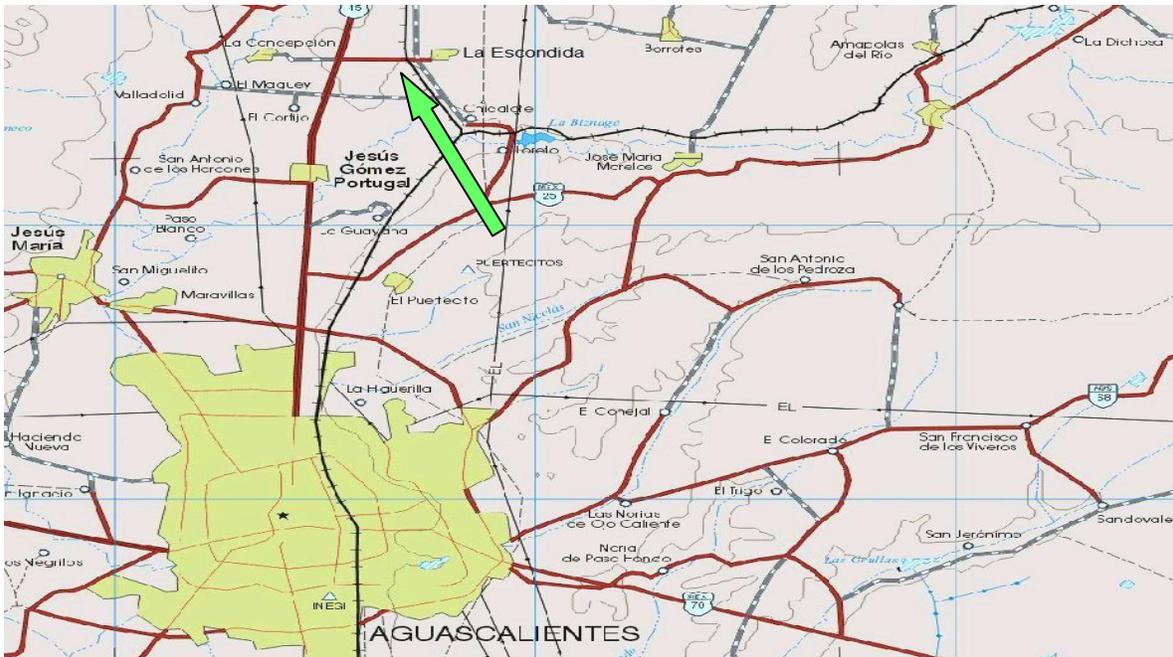
El tramo estudiado, el cual fue intervenido por la SOP en el Estado de Aguascalientes, corresponde al km 0+00 al 2+346 de la vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida. (*Figura 7 y Figura 8*)

Figura 7. Ubicación del estado de Aguascalientes – México



Fuente: acceso en internet: gobierno de Aguascalientes, México, 2010.

Figura 8. Ubicación de la vía rehabilitada.



Fuente: acceso en internet: gobierno de Aguascalientes, México, 2010.

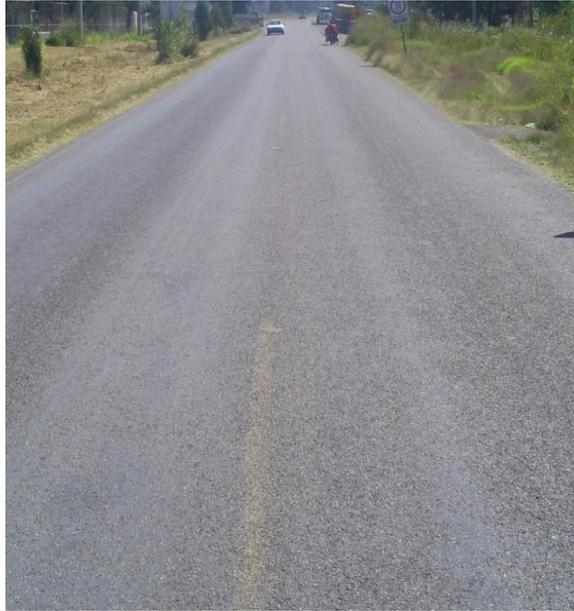
Los ensayos de laboratorios realizados a los núcleos y muestras de la mezcla asfáltica se agruparon en tres etapas en función del momento de muestreo, así: el material extraído antes de la intervención, material tomado durante el proceso de reciclado, y el material extraído después de haber culminado los trabajos de conservación. Los ensayos realizados a las muestras en cada etapa se relacionan a continuación:

- **Etapa “Antes” (Pavimento existen Fotografía 2):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje de asfalto,
 - Estabilidad y flujo,
 - Módulos Dinámicos.

- **Etapa “Durante” (Material fresado sin compactar, Fotografía 3):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje de emulsión asfáltica,
 - Estabilidad y flujo,
 - Módulos Dinámicos.

- **Etapa “Después” (Pavimento rehabilitado):**
 - Granulometría,
 - Porcentaje Asfalto.
 - Estabilidad y flujo.

Fotografía 2. Pavimento existente



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 3. Material fresado sin compactar



Fuente: el autor, 2010.

Los ensayos de Granulometría y porcentaje de asfalto de las mezclas asfálticas se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de pavimentos de la Secretaría de Obras Publicas de Aguascalientes (*SOP*); en los laboratorios de la Universidad de La Salle de Bogotá se realizaron los ensayos de Estabilidad y Flujo Marshall; y en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se realizaron los Módulos Dinámicos Elásticos.

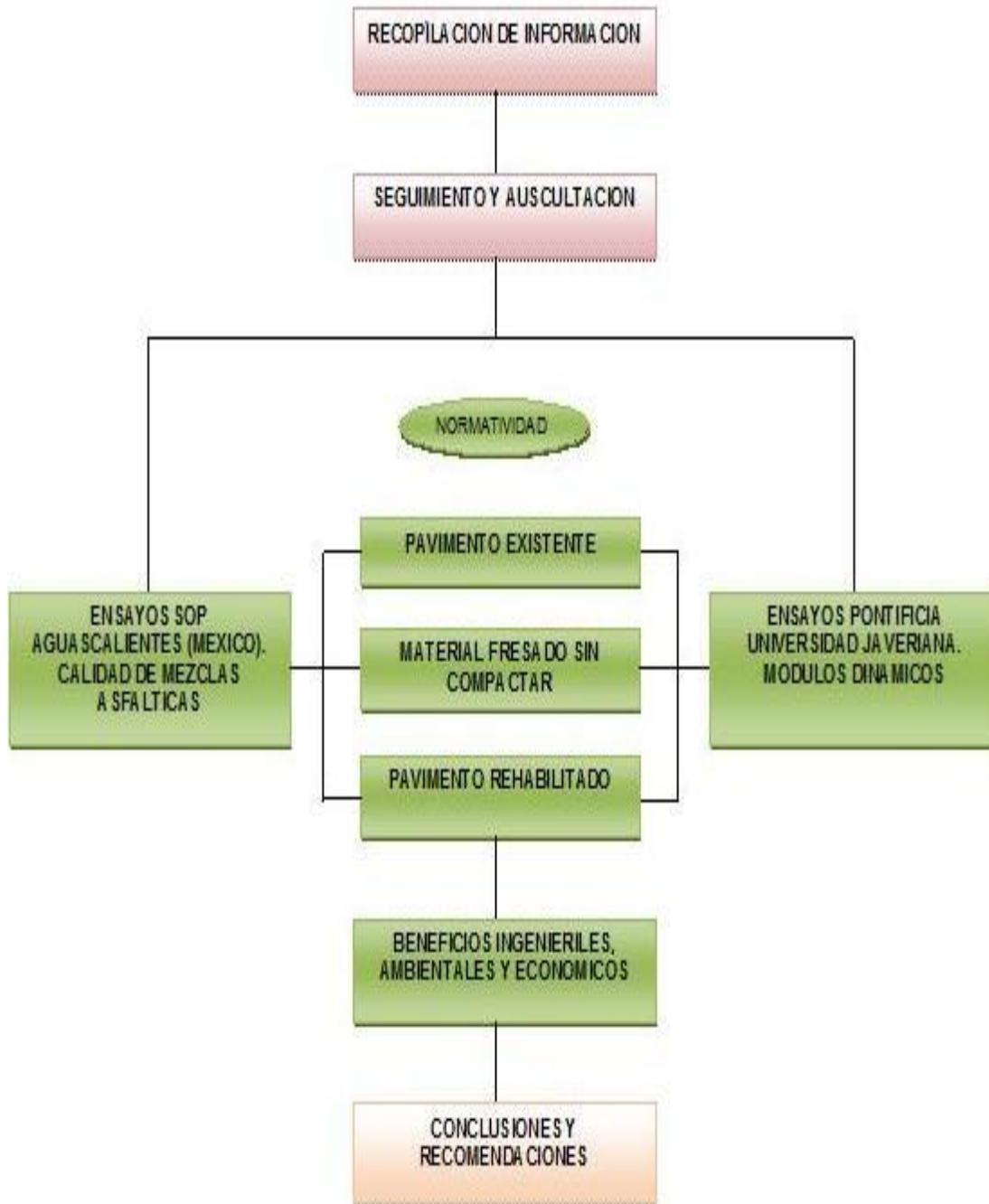
3.6 DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR

La investigación que se realizó corresponde al tipo de investigación pre-experimenta: Mirar el antes, “durante” y el después del fenómeno. Según Sabino “Un experimento consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto.”²³

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta principalmente tres fases metodológicas, las cuales se presentan en la Figura 9. Estas fases son: una primera fase preliminar donde se realizó la búsqueda del material bibliográfico, una segunda fase donde se realizó el trabajo de campo y los ensayos de laboratorio, y una fase final donde se encontraron los beneficios y desventajas de la tecnología aplicada en Aguascalientes.

²³ SABINO, Carlos. El proceso de investigación. Buenos Aires: 1978.

Figura 9. Diagrama metodológico



Fuente: el autor, 2010.

3.6.1 Fase preliminar

En esta fase se realizó la búsqueda del material bibliográfico necesario para la adecuada realización de la investigación, esto con el fin de establecer los parámetros adecuados para el correcto estudio de los beneficios de la tecnología del reciclaje *in situ* en caliente.

3.6.2 Fase Trabajo de campo y ensayos de laboratorio

En esta fase se realizaron nueve muestreos, tres por cada etapa del estudio. Con el material extraído se realizaron los ensayos de laboratorio que se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de ensayos de laboratorio

| Etapa | Numero de muestras | Ensayos | | |
|-------------------------|--------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| | | Granulometría | Porcentaje asfalto | Módulos dinámicos |
| Pavimento existente | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Reciclado sin compactar | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Pavimento rehabilitado | 3 | 3 | 3 | - |

Fuente: el autor, 2010.

3.6.3 Fase beneficios y desventajas

Con la investigación de campo y los resultados obtenidos por medio de los ensayos de laboratorio se analizaron los beneficios y desventajas de la tecnología, y las falencias de la ejecución de este procedimiento realizado por la SOP en el Estado de Aguascalientes. Por último se resalta la importancia del desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclado de pavimentos flexibles en Colombia.

3.7 OBJETO DE ESTUDIO

Determinar los beneficios de la tecnología del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles para la rehabilitación de carreteras.

3.8 INSTRUMENTOS

En el desarrollo de esta investigación se tomaron como base los formatos utilizados en la SOP y los establecidos por la Pontificia Universidad Javeriana para el ensayo de Módulo Dinámico.

3.9 VARIABLES

A continuación se presentan las variables metodológicas de la investigación.
(Cuadro 6)

Cuadro 6. Variables de la investigación

| CATEGORÍA DE ANÁLISIS | CONSTANTES | VARIABLES | INDICADORES |
|--|------------------------|-----------------------------------|---|
| Beneficios del reciclado <i>in situ</i> en caliente de pavimentos flexibles. | Pavimento existente | Calidad de mezclas asfálticas | Granulometría, Porcentaje de asfalto, Estabilidad y Flujo, Módulo Dinámico, Características del pavimento rehabilitado. |
| | Material reciclado | | |
| | Pavimento rehabilitado | Estado del pavimento rehabilitado | |

Fuente: el autor, 2010.

3.10 HIPOTESIS

El reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles es la tecnología ingenieril, económica, y ambiental, más adecuada para la rehabilitación de las vías terrestres.

3.11 COSTOS

Los costos de la presente investigación fueron de dos millones ciento treinta y nueve mil ochocientos treinta y un pesos \$2.139.831 La relación de estos costos se presenta en ANEXO D.

4 ALCANCE Y LIMITACION

4.1 ALCANCE

El alcance del proyecto de grado fue determinar los beneficios del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles. Para esto se identificaron las bondades ingenieriles, ambientales y económicas mediante el trabajo de seguimiento, auscultación, ensayos de laboratorios, y análisis. Se escogió un tramo en ejecución en el Estado de Aguascalientes (México), y se recolectaron muestras del concreto asfáltico antes de la intervención, durante ésta, y después de los trabajos; posteriormente se analizó la granulometría, el porcentaje de asfalto, y los módulos dinámicos del material recuperado. Al término de este proyecto de grado se pretende incentivar a que otros investigadores realicen estudios de factibilidad para implantar esta tecnología en Colombia.

4.2 LIMITACION

Para el desarrollo de la investigación se tiene como principal factor limitante que al contenido de asfalto en el material reciclado no se caracterizará reológicamente ya que en los laboratorios de la SOP y de la Universidad de La Salle no se cuenta con el equipo (reómetro de corte dinámico) para realizar este ensayo.

5 TRABAJO INGENIERIL

5.1 SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION

El objetivo general de esta investigación fue el determinar los beneficios de esta tecnología que se implemento para el reciclaje de pavimentos flexibles. Como parte del estudio se realizó el seguimiento y auscultación de algunas vías rehabilitadas por la SOP en el estado de Aguascalientes (*Figura 7*) utilizando la tecnología de reciclaje *in situ* en caliente después de dos meses y un año de haber sido intervenidas. Este análisis se complementó con un trabajo de laboratorio donde se estudió la calidad y características mecánicas de las mezclas asfálticas del pavimento existente, material reciclado, y pavimento rehabilitado, resultados que se presentan en el Capítulo 5.2.

5.1.1 Estado del pavimento existente

Con el fin de establecer en qué estado se encontraba las vías, fue necesario realizar un estudio previo y una evaluación superficial del pavimento para identificar las fallas de la carpeta a rehabilitar.

La SOP ha determinado que los pavimentos a rehabilitar con la tecnología de

reciclado *in situ* en caliente sean solo aquellos que presenten fallas de tipo superficial, debido a que con los equipos que cuentan actualmente sólo logran escarificar la carpeta asfáltica hasta una profundidad máxima de dos coma cinco (2,5) centímetros, impidiendo rehabilitar las estructuras con otros tipos de fallas. Así entonces, la tecnología de reciclaje a utilizarse para la rehabilitación de un pavimento con fallas estructurales sería la de reciclaje *in situ* en frío o el reciclaje en caliente en planta. La SOP estableció el tipo de fallas superficiales en una vía donde se podría emplear el reciclaje *in situ* en caliente.

En las vías en las cuales se realizó el seguimiento se detectaron las siguientes fallas establecidas por la SOP para la rehabilitación de la carpeta asfáltica empleando esta tecnología.

Fallas por desintegración

Es la desintegración superficial de la mezcla asfáltica que se puede presentar por pérdida de ligante, desprendimiento del agregado, afloramiento de asfalto, y/o destrucción de los bordes del pavimento; todo esto debido a la acción del tránsito, ausencia de confinamiento lateral, deficiencia en la compactación, exceso de contenido de asfalto en la mezcla, entre otros²⁴. Durante el seguimiento de las vías rehabilitadas por la SOP se identificaron las siguientes fallas por

²⁴ UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos.

desintegración:

Perdida del agregado: Desintegración superficial de la carpeta asfáltica que se manifiesta por la pérdida del asfalto y desprendimiento del agregado, lo que incrementa la rugosidad de la carpeta de rodadura y expone a los agregados a la acción de los agentes climáticos. Las causas por las que se presentan estas fallas son debidas a la calidad del ligante asfáltico, acentuándose en asfaltos envejecidos o endurecidos, a agregados contaminados o muy absorbentes, a los defectos en la construcción, o en algunos casos a la acción de agentes agresivos como solventes, agua, entre otros. En la Fotografía 4 se presenta este tipo de falla en una de las vías rehabilitadas por la SOP en el estado de Aguascalientes.

Fotografía 4. Perdida del agregado



Fuente: el autor, 2010.

Exudación: Este es otro tipo de falla contemplado por la SOP en la cual se puede emplear la tecnología del reciclado *in situ* en caliente. Sin embargo, no fue posible encontrar este tipo de falla en los tramos auscultados. La exudación es el afloramiento del asfalto en la superficie del pavimento, formando una capa brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa. Este tipo de falla disminuye la resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos. Sus causas principales son el contenido excesivo de asfalto en la mezcla, el material de sello en las fisuras, y el bajo contenido de vacíos. Este tipo de falla se presenta en la Fotografía 5 a modo de ejemplo²⁵.

Fotografía 5. Exudación en la carpeta existente



Fuente: www.google.com/imagenes 2010.

²⁵ MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomó II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002

Desintegración de bordes: Es la destrucción progresiva de los bordes del pavimento por acción del tránsito, diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma; Este daño permite la filtración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro. Frecuentemente se relaciona con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños, ausencia de liga entre calzadas, bermas no pavimentadas o construidas por separado falta de confinamiento lateral ej. Sardinel (Fotografía 6).

Fotografía 6. Desintegración de bordes en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Descascaramiento: Son cavidades en forma redondeada con bordes bien marcados que resultan del desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes. Las causas más

frecuentes es limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales, espesores insuficientes de la capa de rodadura asfáltica, riego de liga deficiente y mezcla asfáltica muy permeable. (Fotografía 7)

Fotografía 7. Descascaramiento en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fallas por deformación

Las fallas por deformación son producidas frecuentemente por la capacidad estructural del pavimento. Aunque el reciclado *in situ* en caliente solo puede utilizarse cuando se presentan fallas superficiales, es posible controlar esta deformación cuando presenta un nivel de severidad bajo, mitigando el deterioro progresivo del pavimento. Sin embargo debido a la falla presentada llegara el

momento de realizar una construcción y/o reconstrucción de la estructura del pavimento. Dentro de esta categoría se encuentran las fallas por abultamiento

Abultamientos de baja severidad: Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias, fallas que se caracterizan por presentar irregularidades en el perfil y serpenteo de la demarcación de la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras. Las causas son generalmente 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; el exceso de asfalto, falta de vacíos con aire, acción del tránsito y altas temperaturas son otras causas para que se presente estas fallas²⁶. (*Fotografía 8*)

Cuando se presenta una baja severidad causa cierta vibración en el vehículo sin llegar a generar gran incomodidad al conductor, una severidad moderada puede llegar a causar una vibración significativa en el vehículo. Sin embargo una severidad alta causa vibración excesiva y continua del vehículo generando gran incomodidad, riesgo a la seguridad, y obliga a una reducción de la velocidad

²⁶UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos.

Fotografía 8. Abultamiento de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fallas por fisuración

Las fisuras en pavimentos flexibles son discontinuidades en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito a transversales a él. Estas son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en la fibra inferior de las capas asfálticas de la estructura que superan los esfuerzos admisibles del material. La localización de las fisuras pueden ser un buen indicativo de las causas que las generó; por ejemplo, aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con la resistencia a la fatiga del material²⁷. Algunas de estas fallas por fisuración se encontraron en el seguimiento y auscultación que se realizó en las vías del estado

²⁷ CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006

de Aguascalientes, a continuación se hace una descripción de cada una de ellas.

Fisuras longitudinales y transversales: Son fracturas del pavimento que se presentan paralelo y trasversal al eje de la vía (*Fotografía 9 y Figura 10*). Las causas más comunes para estas fisuras son:

Fotografía 9. Fisuras longitudinales en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

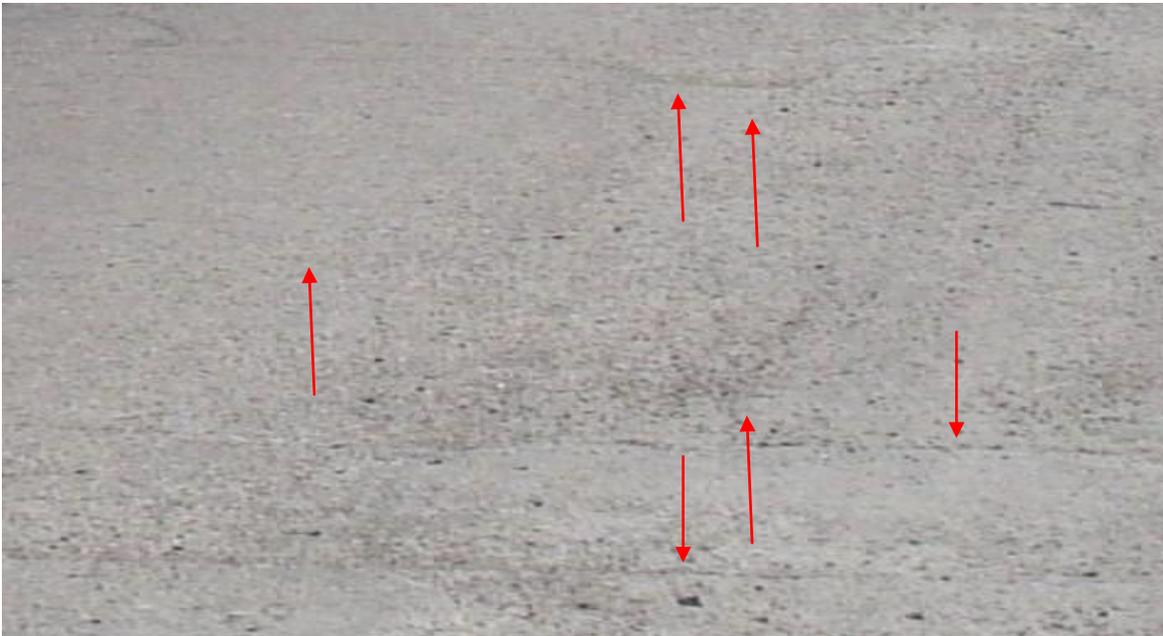
- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto; ocurre en presencia de bajas temperaturas o gradientes térmicos generalmente superiores a 30°C,
- Reflejo de las grietas en las capas superiores, generalmente las que se presentan en los materiales estabilizados,
- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en la huella del tránsito, y

se caracterizan por ser fisuras longitudinales,

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura, o ausencia del riego de liga.

Se presentan en las zonas de contacto entre la estructura y el terraplén por la diferencia de rigideces entre los materiales. Estas fallas se caracterizan por presentar fisuras transversales en el pavimento flexible.

Fotografía 10. Fisuras transversales en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fisuras de borde: Fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada. Se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada. Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con un ancho de hasta 0.6 m.
(Fotografía 11)

Fotografía 11. Fisura de borde en la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Fisuras en bloque: Cuando se presentan este tipo de daños, la superficie de la carpeta asfáltica es dividida en bloques caracterizada en una serie de fisuras interconectadas que la dividen en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar de tamaño de unos 30 cm x 30 cm a 3 m x 3 m. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que éste último aparece en áreas sometidas a altas frecuencias de carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas que son poco solicitadas (*Fotografía 12*).

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. Otra causa es el reflejo de las grietas de contracción en capas inferiores de materiales estabilizados con ligantes hidráulicos. Por último se encuentra la combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.

Fotografía 12. Fisuras en bloque de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010.

Piel de cocodrilo: Son series de fisuras interconectadas con patrones irregulares, frecuentemente 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 la cargas. Las piezas que se forman por lo general tienen un diámetro promedio menor a treinta (30) centímetros.

Estas fisuras también se puede presentar en zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con fallas estructurales (aquellas generadas por altos volúmenes de tránsito o por deficiencia del espesor de las capas).

Las causas más frecuente de las fallas por fatiga en la estructura o de la carpeta asfáltica se deben principalmente a²⁸:

- Espesor insuficiente de la estructura,
- Deformaciones en la subrasante, y subrasantes expansivas,
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga debido a la 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 asfalto en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración, deficiencia de asfalto en la mezcla,
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

²⁸ CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006.

Es de aclarar que para hacer un adecuado seguimiento de los pavimentos, es necesario contar con el equipo apropiado. Debido a que en esta investigación no se contaba con la información acerca del estado de la carpeta existente, debido a la carencia de recursos económicos y el tiempo de seguimiento era muy corto, se optó por realizar una inspección visual del pavimento para establecer a grandes rasgos el estado de la carpeta asfáltica existente.

5.1.2 Características de la carpeta rehabilitada

Al término del proceso de rehabilitación se procedió a realizar un seguimiento del estado de la carpeta asfáltica rehabilitada por medio de auscultación visual. El control que la SOP realiza a las vías existentes y rehabilitadas consiste en la medición de gestión del pavimento de acuerdo al tiempo de deterioro de las carpetas asfálticas, mediante un equipo llamado perfilógrafo láser de alto rendimiento, esto con el fin de establecer como se ha comportado la carpeta después de la ejecución de los trabajos. El equipo de medición de gestión de pavimentos está preparado para:

- Registro de perfiles longitudinales y transversales,
- Calculo de índices de regularidad superficial (IRI),
- Medida y registro de la textura de los pavimentos,
- Levantamiento de fallas.

El seguimiento a la carpeta rehabilitada realizado en esta investigación se efectuó después de dos meses y un año de haberse realizado la intervención. (Anexo B)

5.1.3 Estado de la carpeta rehabilitada a los dos meses

La rehabilitación de las vías realizada por medio del reciclado *in situ* en caliente presentaba ciertas características que pueden servir para establecer si la tecnología está cumpliendo con las necesidades del usuario. Es importante anotar que la probabilidad de encontrar fallas en tan corto tiempo es relativamente baja; sin embargo, el hecho de detectar fallas en la carpeta puede llegar a ser un buen indicativo de la efectividad de la tecnología utilizada. Las características observadas después de dos meses de intervención fueron:

Carpeta uniforme y con buena superficie de rodadura. La carpeta rehabilitada presenta una buena uniformidad en su superficie, lo que se traduce en un buen confort del usuario al transitar por la vía y menores tiempos de desplazamiento. Esto puede significar que la aplicación de esta tecnología está dando buenos resultados (*Fotografía 13*).

Fotografía 13. Carpeta rehabilitada, municipio la Escondida Km 0+000



Fuente: el autor, 2010.

Áreas sin reciclar. Durante la ejecución del fresado se detectó que el operario del equipo de fresado dejaba áreas sin escarificar, resultando solamente la carpeta asfáltica nueva sobre la carpeta asfáltica antigua. Al no fresarse la carpeta asfáltica antigua, se está colocando una carpeta asfáltica nueva con espesor no homogéneo sobre un material que puede presentar fallas superficiales y estar desnivelado, lo que conlleva a que el reciclado no sea uniforme a lo largo de la vía como se muestra en la (*Fotografía 14*). Este problema se presenta comúnmente en áreas laterales de las calzadas.

Fotografía 14. Problemas durante la escarificación. Municipio la Escondida Km 1+300



Fuente: el autor, 2010.

Otras características. Dentro de otras características observadas, se puede destacar la carencia de obras de drenaje superficial en la mayoría de las vías auscultadas. Aunque esta región presenta periodos muy cortos de lluvia durante todo el año, la insuficiencia de drenajes superficiales puede llegar a implicar un deterioro acelerado de la estructura del pavimento que se activa durante estos periodos de lluvia.

5.1.4 Estado de la carpeta rehabilitada al año de ser intervenida

Las características observadas después de dos meses de la intervención no es un claro indicio del buen comportamiento de la rehabilitación. Es por esto que para

complementar esta auscultación se realizó un recorrido por las diferentes vías del estado de Aguascalientes después de un año de ser rehabilitadas con el reciclado *in situ* en caliente. En general las vías presentan una serie de fallas lo que puede indicar que la tecnología este presentado algún problema ya sea en el diseño de las mezclas asfálticas o en el método constructivo empleado. Las características observadas después de un año de la intervención fueron:

Descascaramiento. El método constructivo se basa en que una carpeta nueva esta soportada en un capa asfáltica reniveladora reciclada, las cuales se compactan monolíticamente. Unas de las causas del descascaramiento puede ser la falta de riego de liga entre las dos capas, un espesor insuficiente en la capa de rodadura o que la mezcla asfáltica sea muy permeable. Por otra parte la escasas de obras de drenaje puede repercutir en un deterioro acelerado de las carpetas asfálticas (*Fotografía 15*).

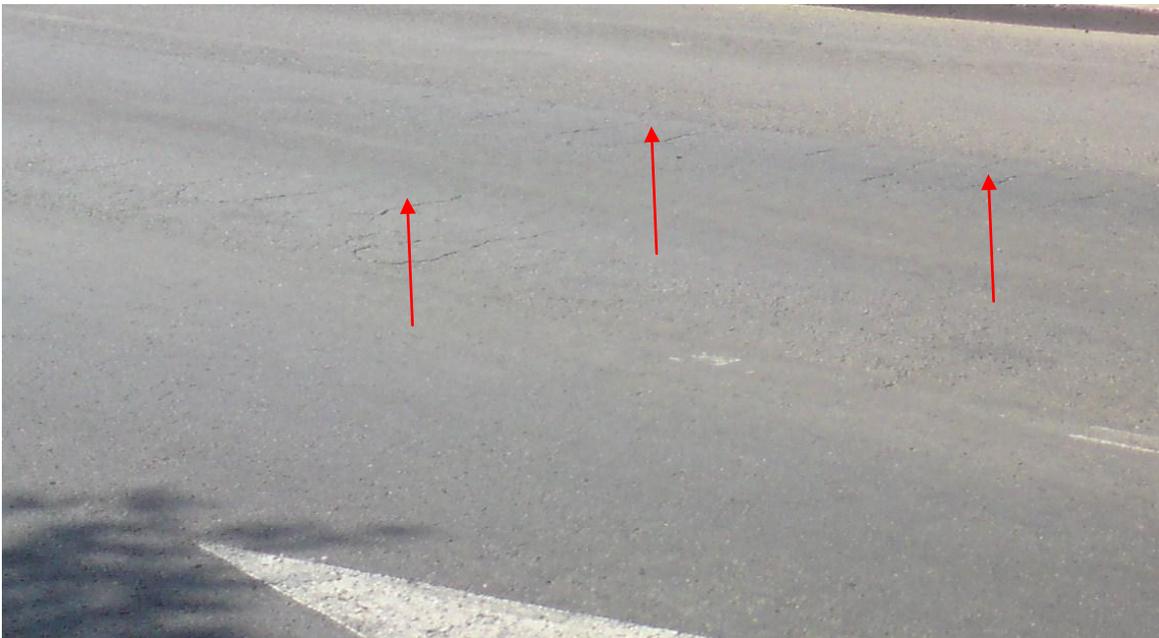
Fisuras trasversales. Esta falla en el pavimento rehabilitado se puede presentar debido a la diferencia de rigideces entre la capa reniveladora y la capa de rodadura. Adicionalmente el espesor de la capa nueva o de rodadura y la posible rigidización en la mezcla asfáltica reciclada por la pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler probablemente en el proceso de fresado y reutilización del material existente, puede llegar a ser las causas de esta falla (*Fotografía 16*).

Fotografía 15. Descascaramiento del pavimento rehabilitado. Corregimiento de Villa Hidalgo, Blv Juan Pablo II K1+368



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 16. Fisuras en el pavimento rehabilitado. Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador Quesada L. Km 4+210



Fuente: el autor, 2010.

Exudación y abultamientos. Esta falla se puede estar presentando debido a que el contenido de emulsión asfáltica aplicada para restablecer las propiedades del asfalto del material reciclado es muy alto. Esto se aprecia en los contenidos de asfalto que nos arrojó los ensayos de laboratorio capítulo 5.2.2. La exudación en el pavimento rehabilitado igualmente puede deberse a exceso de asfalto en las mezclas asfálticas, lo que puede repercutir en la disminución de la resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos (*Fotografía 17*).

Adicionalmente se están presentando abultamientos en algunas zonas de las vías rehabilitadas por medio de esta tecnología. Estos abultamientos probablemente obedecen al exceso de asfalto o quizás a la falta de vacíos con aire en la mezcla asfáltica reciclada (*Fotografía 18*).

Fotografía 17. Exudación del pavimento rehabilitado. Municipio la Escondida K 2+294



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 18. Abultamientos en el pavimento rehabilitado. Aguascalientes, Ags, Carr.45 Norte
K1+158



Fuente: el autor, 2010.

Intervenciones superficiales. A causa de las diferentes fallas que se han presentado en el pavimento rehabilitado, la SOP ha realizado intervenciones superficiales como sellos de grietas, reparcheos (*Fotografía 19*), entre otras. El seguimiento y auscultación se realizó al reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles aplicado en el estado de Aguascalientes.

Fotografía 19. Reparcho en pavimento rehabilitado. Aguascalientes, Ags, Carr.45 Norte K2+453



Fuente: el autor, 2010.

5.1.5 Cuantificación y clasificación de las fallas encontradas después de la rehabilitación.

Para la realización de este estudio se empleó el método VIZIR, con el fin de determinar el índice de deterioro superficial y el estado actual del pavimento, después de un año de la rehabilitación ejecutada por medio del reciclado in situ en caliente. A continuación se presenta los valores obtenidos, de acuerdo a los cálculos realizados en el ANEXO B:

La Escondida; Vía entre la autopista 45 y el municipio La Escondida.

Para la cuantificación de los deterioros en esta vía se tomaron catorce (14) unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros. En la Tabla 3 se presentan los tipos de fallas.

Tabla 3. Cuantificación de los deterioros. Vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 800,56 | 158,45 | | 959,01 | 5,92 | 42,84 |
| Fisuras por bloque | 193,30 | | | 193,3 | 1,19 | 8,64 |
| Desprendimiento de agregado | 191,90 | 168,20 | | 360,1 | 2,22 | 16,09 |
| Exudación | 319,64 | 45,00 | | 364,64 | 2,25 | 16,29 |
| Descascaramiento | 114,70 | | | 114,7 | 0,71 | 5,12 |
| Abultamientos | 113,12 | | | 113,12 | 0,70 | 5,05 |
| Desintegración de bordes | 86,50 | | | 86,5 | 0,53 | 3,86 |
| Reparcheos | 47,00 | | | 47 | 0,29 | 2,10 |
| Total | | | | 2238,37 | 13,82 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Como se muestra en la tabla anterior, el porcentaje de daño que presenta la vía es del trece como ochenta y dos (13,82) por ciento y este a su vez indica que la falla que ocupa mayor porcentaje son las fisuras longitudinales y trasversales con el cuarenta y dos coma ochenta y cuatro (42,84) por ciento, seguido de la exudación con el dieciséis coma veinte nueve (16,29) por ciento y como tercer daño de importancia se encuentra el desprendimiento de agregado con el dieciséis

coma cero nueve (16,09) por ciento.

Para establecer la clasificación de los deterioros de la vía, se calculó el índice de deterioro superficial y su posterior calificación, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los deterioros. Vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Abscisa | | Is | Calificación |
|----------------|--------------|-----------|---------------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 2 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 3 | Regular |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 3 | Regular |
| K 0+800 | K 1+000 | 2 | Bueno |
| K 1+000 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+400 | 2 | Bueno |
| K 1+400 | K 1+600 | 3 | Regular |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 0 | Bueno |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 2 | Bueno |
| K 2+400 | K 2+600 | 2 | Bueno |
| K 2+600 | K 2+700 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

Con base en los resultados obtenidos de la cuantificación y clasificación de las fallas, (Tabla 5) se pudo establecer el porcentaje del estado de la vía. El cual presentó un setenta coma treinta y siete (70,37) por ciento de superficie en buen estado y un veintinueve coma sesenta y tres (29,63) por ciento en estado regular, teniendo en cuenta que la vía fue rehabilitada aproximadamente hace doce (12)

meses.

Tabla 5. Estado de la vía la Escondida; K 0+000 - K 2+700

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 10 | 1900 | 70,37 |
| Regular | 4 | 800 | 29,63 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | 14 | 2700 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Avenida Aguascalientes; tramo Av. López Mateus (puente) a calle Salvador Quesada L.

En esta vía se tomaron quince (15) unidades de muestreo cada una con una longitud de trescientos (300) metros. En la Tabla 6 se presentan los tipos de fallas.

Tabla 6. Cuantificación de los deterioros. Avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Area total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|---------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 840,00 | 1905,00 | | 2745,00 | 7,63 | 34,53 |
| Fisuras por bloque | 1316,00 | 245,00 | | 1561,00 | 4,34 | 19,64 |
| Desprendimiento de agregado | 367,00 | 2092,80 | | 2459,80 | 6,83 | 30,94 |
| Exudación | 546,00 | 34,00 | | 580,00 | 1,61 | 7,30 |
| Descascaramiento | 347,00 | | | 347,00 | 0,96 | 4,37 |
| Reparcheos | 256,60 | | | 256,60 | 0,71 | 3,23 |
| Total | | | | 7949,4 | 22,08 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

En la avenida Aguascalientes, el área afectada es de veintidós coma cero ocho (22,08) por ciento, arrojando que los daños más representativos son: las fisuras longitudinales y transversales con el treinta y cuatro coma cincuenta tres (34,53) por ciento y el desprendimiento de agregado con el treinta coma noventa y cuatro (30,94) por ciento.

Tabla 7. Clasificación de los deterioros. Avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| ABSCISA | | Is | CALIFICACION |
|---------|---------|----|--------------|
| INICIAL | FINAL | | |
| K 0+000 | K 0+300 | 2 | Bueno |
| K 0+300 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+900 | 2 | Bueno |
| K 0+900 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+500 | 2 | Bueno |
| K 1+500 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+100 | 2 | Bueno |
| K 2+100 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+700 | 3 | Regular |
| K 2+700 | K 3+000 | 3 | Regular |
| K 3+000 | K 3+300 | 2 | Bueno |
| K 3+300 | K 3+600 | 3 | Regular |
| K 3+600 | K 3+900 | 3 | Regular |
| K 3+900 | K 4+200 | 3 | Regular |
| K 4+200 | K 4+500 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

A partir de los índices de deterioro superficial y su posterior calificación se encontró que de quince (15) muestreos realizados, ocho (8) de ellos alcanzaron una calificación buena y el resto una calificación regular (*Tabla 7*), lo que indica que el cuarenta y seis coma sesenta y siete (46,67) por ciento de la vía se

encuentra en condiciones para realizarle tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad. (Tabla 8)

Tabla 8. Estado avenida Aguascalientes; K 0+000 - K 4+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 8 | 2400 | 53,33 |
| Regular | 7 | 2100 | 46,67 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 15 | 4500 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Carrera 45 Norte.

En la Tabla 9 se presentan los tipos de fallas encontrados en la vía, en donde se tomaron trece (13) unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros.

Tabla 9 Cuantificación de los deterioros. Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 852,20 | 480,60 | | 1332,80 | 6,66 | 30,13 |
| Fisuras por bloque | 384,40 | 356,50 | | 740,90 | 3,70 | 16,75 |
| Desprendimiento de agregado | 460,86 | 932,85 | | 1393,71 | 6,97 | 31,51 |
| Exudación | 150,70 | 234,80 | | 385,50 | 1,93 | 8,72 |
| Piel de cocodrilo | 146,70 | | | 146,70 | 0,73 | 3,32 |
| Abultamientos | 56,80 | | | 56,80 | 0,28 | 1,28 |

| Tipo de daño | Gravedad | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--------------|----------|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | |
| Reparcheos | 179,25 | | 179,25 | 0,90 | 4,05 |
| Depresión | 187,70 | | 187,70 | 0,94 | 4,24 |
| Total | | | 4423,36 | 22,12 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Como se muestra en la tabla anterior se puede establecer que la vía cuenta con un 22,12 por ciento de área afectada. Del total de este porcentaje, se encontró que el desprendimiento de agregado ocupa el 31,51 por ciento, siendo la falla más representativa, no obstante se detectaron deterioros de tipo estructural debido a abultamiento, depresiones y baches.

A diferencia de las otras vías en la carrera 45 se detectó en la abscisa 1+200 a 1+600 un índice de deterioro superficial de cuatro (4), lo que repercute en que este tramo se encuentra en el límite del estado regular (*Tabla 10*). Como resultado general el 44,00 por ciento de la vía requiere tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad. (*Tabla 11*)

Tabla 10 Clasificación de los deterioros. Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 2 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 2 | Bueno |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 3 | Regular |
| K 0+800 | K 1+000 | 2 | Bueno |
| K 1+000 | K 1+200 | 2 | Bueno |

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 1+200 | K 1+400 | 4 | Regular |
| K 1+400 | K 1+600 | 4 | Regular |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 3 | Regular |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+500 | 3 | Regular |

Fuente: el autor, 2010.

Tabla 11. Estado Carrera 45 Norte; K 0+000 - K 2+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 7 | 1400 | 56,00 |
| Regular | 6 | 1100 | 44,00 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 13 | 2500 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Bulevar Juan Pablo II; Tramo de Centro Neurosiquiatrico a carretera Villa Hidalgo.

Para la cuantificación y clasificación de los deterioros, se tomaron trece 13 unidades de muestreo cada una con una longitud de doscientos (200) metros, como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12. Cuantificación de los deterioros Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|--------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 467,30 | 589,50 | | 1056,8 | 7,05 | 34,24 |
| Fisuras por bloque | 633,50 | 3,60 | | 637,1 | 4,25 | 20,64 |
| Desprendimiento de agregado | 365,00 | 135,40 | | 500,4 | 3,34 | 16,21 |
| Exudación | 159,20 | | | 159,2 | 1,06 | 5,16 |
| Descascaramiento | 80,90 | 80,40 | | 161,3 | 1,08 | 5,23 |
| Piel de cocodrilo | 67,90 | | | 67,9 | 0,45 | 2,20 |
| Abultamientos | 30,40 | | | 30,4 | 0,20 | 0,98 |
| Desintegración de bordes | 333,10 | 89,40 | | 422,5 | 2,82 | 13,69 |
| Depresión | 50,90 | | | 50,9 | 0,34 | 1,65 |
| Total | | | | 3086,5 | 20,58 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

La vía Bulevar Juan Pablo II, presentó un área de afectación que corresponde al veinte coma cincuenta y ocho (20,58) por ciento, de la cual se desprende un siete coma cero cinco (7,05) por ciento a causa de las fisuras longitudinales y transversales. Se puede observar que este problema se presentó como característica general de las anteriores vías.

Según los datos obtenidos que se muestran en la Tabla 13 y Tabla 14, se puede concluir que solo el treinta y seis (36,0) por ciento necesita de una rehabilitación de mediana intensidad y el restante presenta un pavimento en condiciones óptimas de desempeño donde probablemente puede requerir acciones de mantenimiento rutinario.

Tabla 13 Clasificación de los deterioros del Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+200 | 1 | Bueno |
| K 0+200 | K 0+400 | 2 | Bueno |
| K 0+400 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+800 | 2 | Bueno |
| K 0+800 | K 1+000 | 3 | Regular |
| K 1+000 | K 1+200 | 3 | Regular |
| K 1+200 | K 1+400 | 2 | Bueno |
| K 1+400 | K 1+600 | 2 | Bueno |
| K 1+600 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+000 | 3 | Regular |
| K 2+000 | K 2+200 | 2 | Bueno |
| K 2+200 | K 2+400 | 3 | Regular |
| K 2+400 | K 2+500 | 4 | Regular |

Tabla 14. Estado del Bulevar Juan Pablo II; K 0+000 - K 2+500

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 8 | 1600 | 64,00 |
| Regular | 5 | 900 | 36,00 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0 |
| Total | 13 | 2500 | 100,00 |

Carretera Mahatma Gandhi; Tramo de Siglo (Puente) a Carretera 45 Sur.

En la última carretera auscultada, se tomaron quince (15) unidades de muestreo cada una con una longitud de trescientos (300) metros, en la Tabla 15 se muestra la cuantificación de fallas que se presentaron.

Tabla 15. Cuantificación de los deterioros. Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Tipo de daño | Gravedad | | | Área total de daño (m ²) | Porcentaje área afectada (%) | Porcentaje de tipo de daño (%) |
|--|----------|-------|---|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Fisuras longitudinales y transversales | 630,20 | 38,50 | | 668,70 | 1,90 | 37,25 |
| Fisuras por bloque | 96,70 | | | 96,70 | 0,27 | 5,39 |
| Desprendimiento de agregado | 679,30 | 14,50 | | 693,80 | 1,97 | 38,65 |
| Exudación | 99,30 | 14,70 | | 114,00 | 0,32 | 6,35 |
| Descascaramiento | 73,10 | | | 73,10 | 0,21 | 4,07 |
| Abultamientos | 137,20 | | | 137,20 | 0,39 | 7,64 |
| Desintegración de bordes | 11,50 | | | 11,50 | 0,03 | 0,64 |
| Total | | | | 1795 | 5,10 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

Al igual que las otras vías el desprendimiento de agregado y fisuras longitudinales y transversales ocupan la mayor parte del área afectación. Sin embargo, tan solo el cinco coma diez (5,10) por ciento con respecto al área total presenta afectación de deterioro del pavimento.

El pavimento de la vía auscultada presenta un setenta y nueve coma cincuenta y cinco (79,55) por ciento en estado bueno, un veinte coma cuarenta y cinco (20,45) por ciento en estado regular y cero (0) por ciento en estado deficiente, con esto podemos indicar, que en comparación con las otras vías auscultadas, está se encuentra en mejores condiciones (*Tabla 16 y Tabla 17*).

Tabla 16. Clasificación de los deterioros. Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Abscisa | | Is | Calificación |
|---------|---------|----|--------------|
| Inicial | Final | | |
| K 0+000 | K 0+300 | 2 | Bueno |
| K 0+300 | K 0+600 | 2 | Bueno |
| K 0+600 | K 0+900 | 2 | Bueno |
| K 0+900 | K 1+200 | 2 | Bueno |
| K 1+200 | K 1+500 | 2 | Bueno |
| K 1+500 | K 1+800 | 2 | Bueno |
| K 1+800 | K 2+100 | 0 | Bueno |
| K 2+100 | K 2+400 | 2 | Bueno |
| K 2+400 | K 2+700 | 3 | Regular |
| K 2+700 | K 3+000 | 2 | Bueno |
| K 3+000 | K 3+300 | 3 | Regular |
| K 3+300 | K 3+600 | 2 | Bueno |
| K 3+600 | K 3+900 | 3 | Regular |
| K 3+900 | K 4+200 | 2 | Bueno |
| K 4+200 | K 4+400 | 2 | Bueno |

Fuente: el autor, 2010.

Tabla 17 Estado de la Carretera Mahatma Gandhi; K 0+000 - K 4+400

| Estado | Unidades de muestreo | Longitud (m) | Porcentaje (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Bueno | 12 | 3500 | 79,55 |
| Regular | 3 | 900 | 20,45 |
| Deficiente | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | 15 | 4400 | 100,00 |

Fuente: el autor, 2010.

A continuación se presenta el resultado general del seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas por medio del reciclado in situ en caliente en el estado de Aguascalientes, México. (Tabla 18)

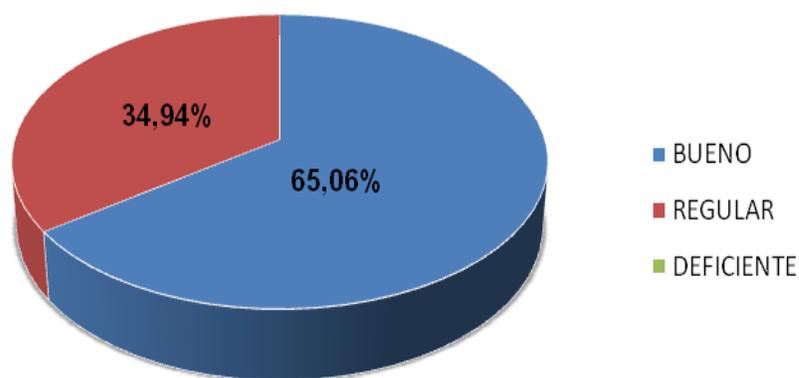
Tabla 18. Resultado General del seguimiento y auscultación

| Estado | Longitud (m) | Porcentaje % |
|---------------|---------------------|---------------------|
| Bueno | 10800 | 65,06 |
| Regular | 5800 | 34,94 |
| Deficiente | 0 | 0 |
| Total | 16600,00 | 100 |

Fuente: el autor, 2010.

De las cinco vías estudiadas, el sesenta y cinco coma cero seis (65,06) por ciento presenta un estado en buenas condiciones, donde probablemente se requieran acciones de mantenimientos rutinarios, por otra parte el treinta y cuatro coma noventa y cuatro (34,94) por ciento de la superficie se encuentra en estado regular, generando mantenimientos de media intensidad que mitiguen el deterioro progresivo de los pavimentos existentes. (Figura 10)

Figura 10. Porcentaje de deterioro de las vías rehabilitadas



Fuente: el autor, 2010.

Cabe mencionar que ninguna de las vías auscultadas presenta un estado deficiente, aunque el estado regular es muy elevado considerando que las rehabilitaciones se realizaron aproximadamente hace 12 meses.

Es importante mencionar que los deterioros se están presentando de manera temprana, lo que genera costos extras en la rehabilitación y mantenimiento de las vías.

5.2 TRABAJO EN CAMPO Y LABORATORIO

El trabajo de seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas por medio de esta tecnología se complementó con ensayos de laboratorio que se realizaron a la mezcla asfáltica existente, a la reciclada sin compactar, y al pavimento rehabilitado. El tramo ejecutado por la SOP en el Estado de Aguascalientes, corresponde al km 0+00 al 2+346 de la vía la Escondida; entre la autopista 45 y el municipio La Escondida (*Figura 8*). Estos ensayos se realizaron con el fin de establecer las características de las mezclas asfálticas empleadas para la recuperación en caliente de carpetas asfálticas. Los formatos utilizados se muestran en el ANEXO C.

5.2.1 Extracción de muestras

Para la realización de los ensayos de laboratorios se tomaron muestras en tres puntos diferentes a lo largo de la vía, en donde se hicieron extracciones de núcleos de cuatro (4) pulgadas de diámetro y panelas de treinta (30) por treinta (30) centímetros (*Fotografía 20 y Fotografía 21*), en los siguientes abscisados:

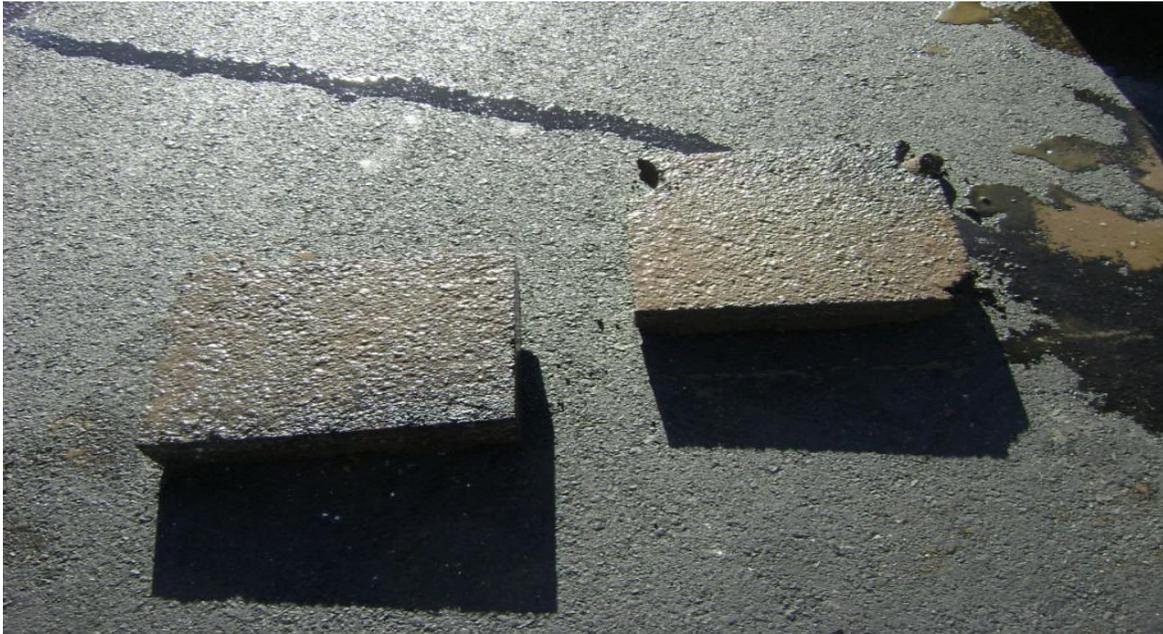
- K 0+100 (Calzada Derecha),
- K 1+300 (Centro del ancho de corona),
- K 2+296 (Calzada izquierda).

Fotografía 20. Extracción de núcleos de la carpeta a rehabilitar. Municipio la Escondida K 1+300



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 21. Panelas extraídas en la carpeta rehabilitada. Municipio la Escondida K 1+300



Fuente: el autor, 2010.

En la Tabla 19 se presenta el tipo de muestreo que se realizó en las diferentes etapas de la rehabilitación para llevar a cabo un adecuado seguimiento de las mezclas asfálticas en laboratorio.

Tabla 19. Relación de extracción de muestras

| Abscisado | Etapa | Extracciones | |
|-----------|-------------------------|--------------|---------|
| | | Núcleos | Panelas |
| 0+100 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |
| 1+300 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |
| 2+296 | Pavimento Existente | 1 | 1 |
| | Reciclado sin compactar | - | - |
| | Pavimento Rehabilitado | 1 | 1 |

Fuente: el autor, 2010

5.2.2 Ensayos de laboratorios

Con el fin de darle un aporte significativo a esta investigación acerca del reciclaje *in situ* en caliente, se decidió realizar ensayos de laboratorio a la mezcla asfáltica antes de ser intervenida, a la mezcla asfáltica reciclada sin compactar, y a la mezcla rehabilitada. Los resultados de laboratorio sirvieron para establecer las características del material reciclado y su cumplimiento dentro de las especificaciones de la SCT. A partir de estos resultados se pueden establecer juicios acerca de la calidad de la mezcla asfáltica aplicando esta tecnología para la rehabilitación de pavimentos. Los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla 20.

El análisis granulométrico y el porcentaje de asfalto de la mezclas se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de pavimentos de la Secretaria de Obras Publicas de Aguascalientes (*SOP*); en los laboratorios de la Universidad de La Sallé de Bogotá se realizaron los ensayos de Estabilidad y Flujo Marshall; y en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se realizaron los Módulos Dinámicos Elásticos. Para los ensayos realizados en Colombia, se envió un número limitado de material asfáltico, debido a que el transporte de las muestras es muy costoso.

Tabla 20. Resultados de los ensayos de laboratorio

| Km | Etapas | Granulometría ¹ | Porcentaje de asfalto ² | Estabilidad Marshall ³ | Flujo Marshall ⁴ | Módulo dinámico ⁵ (20Cº) |
|-------|--------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 0+100 | Pe | Cumple | 9.81 | | | 8689 Mpa |
| | Mr | No cumple | 8.93 | 1760 kg | 3.3 mm | |
| | Pr | No Cumple | 6.83 | | | 9097 Mpa |
| 1+300 | Pe | No cumple | 12.6 | 2370 kg | 5.08 mm | |
| | Mr | No cumple | 9.63 | | | |
| | Pr | No cumple | 8.64 | 2510 kg | 6.35 mm | |
| 2+296 | Pe | Cumple | 7.48 | | | 9384 Mpa |
| | Mr | Cumple | 10.0 | 1700 kg | 3.81mm | |
| | Pr | Cumple | 6.57 | | | 7007 Mpa |

Fuente: el autor, 2010

Pe: Pavimento existente, **Mr:** Material reciclado sin compactar, **Pr:** Pavimento rehabilitado.

¹ De acuerdo con la gradación para mezclas asfálticas densas en caliente AC-20 (Especificación de la SCT, calidad de mezclas asfálticas en caliente).

² Porcentaje óptimo de asfalto, este valor está comúnmente entre 6% y 7% para mezclas asfálticas densas en caliente AC-20.

³ Mayor a 816 kg (Especificación de la SCT calidad de mezclas asfálticas densas en caliente).

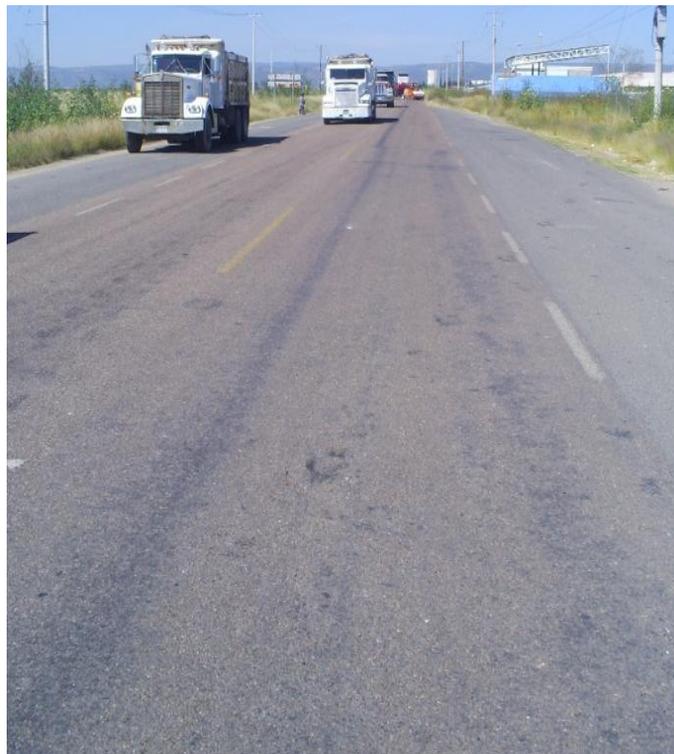
⁴ Entre 2 y 3.5 mm (Especificación de la SCT calidad de mezclas asfálticas densas en caliente).

⁵ Módulo promedio de 7000 Mpa para una frecuencia de 10,00 Hz.

5.2.2.1 Pavimento existente

Al pavimento existente (*Fotografía 22*) se le realizaron los ensayos correspondientes a la granulometría, el porcentaje de asfalto, la Estabilidad y el Flujo Marshall, y el Módulo dinámico, con el fin de establecer las propiedades de la carpeta asfáltica existente la cual fue intervenida con esta tecnología.

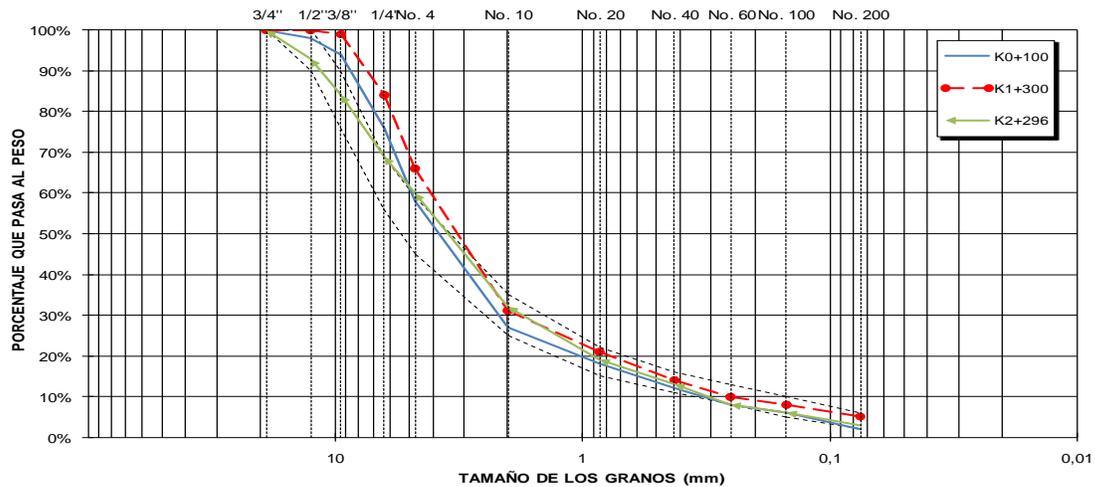
Fotografía 22. Pavimento existente. Municipio la Escondida K 0+100



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: La Figura 11 presenta las curvas granulométricas de las tres mezclas asfálticas extraídas al pavimento existente, se puede concluir que el agregado grueso de la mezcla asfáltica se encuentra levemente fracturado. Como resultado solo una de las tres mezclas cumplen con la gradación especificada para mezclas tipo AC-20. Para poder restablecer la granulometría se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de mejorar la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar. Si se llegara a establecer que la granulometría de la mezcla asfáltica a intervenir es irregular en todo su trayecto. Cuando se pretende rehabilitar por medio del reciclado *in situ* en caliente, se debe realizar el análisis al material pétreo del pavimento existente para determinar las características y pre-establecer un diseño de carpeta reniveladora adecuada. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos de la SOP (*Fotografía 23*) y los resultados se presentan en el ANEXO C.

Figura 11. Granulometría del pavimento existente. Municipio la Escondida



Fuente: el autor, 2010.

Fotografía 23. Ensayo de Granulometría

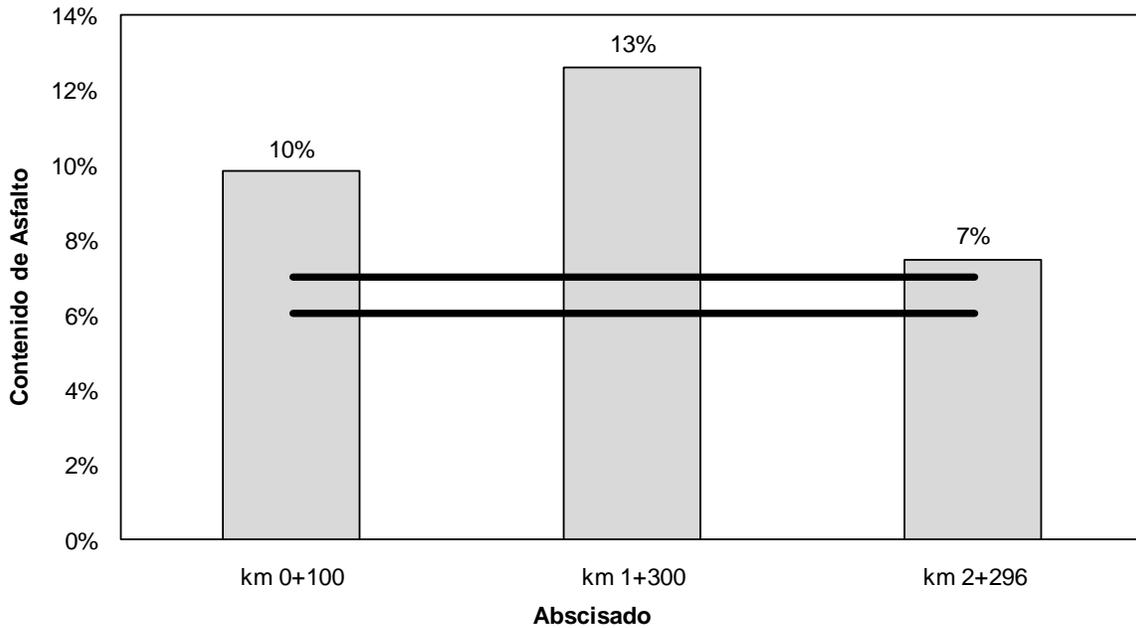


Fuente: el autor, 2010.

Porcentaje de asfalto: Las mezclas asfálticas encontradas en el tramo intervenido por la SOP, y auscultado en esta investigación, correspondieron al tipo de mezcla asfáltica densa en caliente (AC-20); este tipo de mezcla asfáltica especificada por la SCT es comúnmente utilizada en el Estado de Aguascalientes para capas de rodadura, y su contenido de asfalto generalmente oscila entre un seis (6) y siete (7) por ciento de acuerdo con el diseño Marshall. La Figura 12 presenta el porcentaje de asfalto de la mezcla existente determinado en laboratorio siguiendo la norma SCT N-CMT 4-05-003. En esta figura se observa que el porcentaje de asfalto en las tres muestras extraídas está por encima del intervalo antes mencionado. Se puede concluir que el pavimento existente tiene un exceso de asfalto, lo que puede repercutir en fallas superficiales en el pavimento.

Cuando una mezcla asfáltica a rehabilitar presenta exceso de asfalto se puede corregir aumentando el porcentaje del material granular, esto con el fin de que el material reciclado extraído del pavimento existente cumpla con la calidad de mezclas asfálticas para la rehabilitación de vías. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos de la SOP (Fotografía 24) y los resultados se presentan en el ANEXO C

Figura 12. Contenido de asfalto en el pavimento existente



Fuente: el autor, 2010.

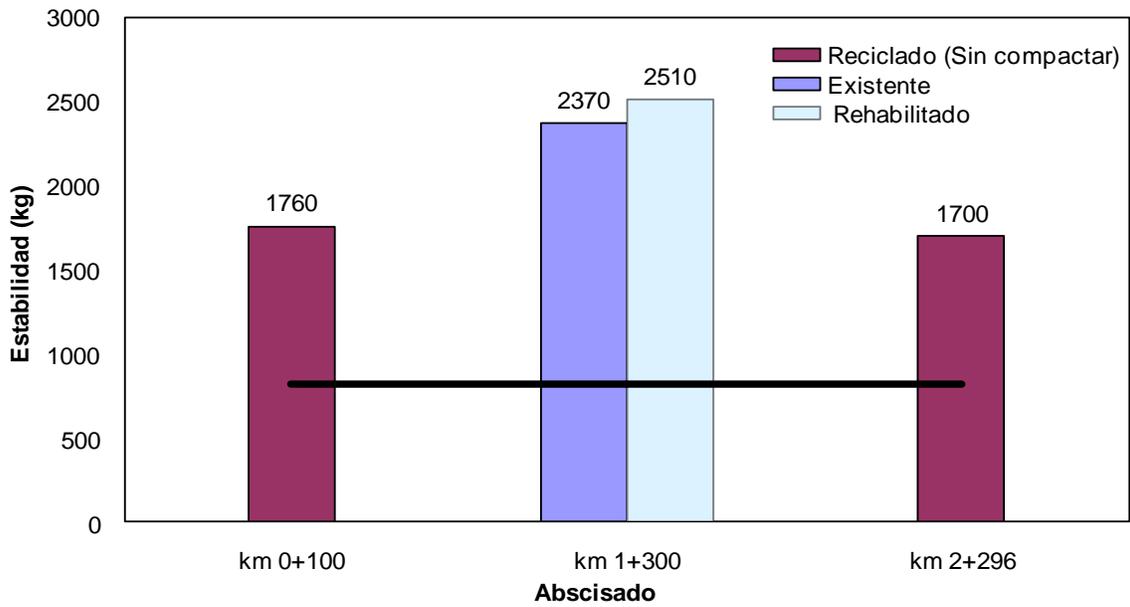
Fotografía 24. Determinación del porcentaje de asfalto



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: Por medio de los ensayos realizados al pavimento existe se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de estabilidad para mezclas asfálticas densas en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT (*barra color azul en la Figura 13*). Un buen comportamiento en la estabilidad de una mezcla asfáltica disminuye la probabilidad que se presenten fallas tempranas por deformación plástica como ahuellamientos, corrimientos y/o ondulaciones.

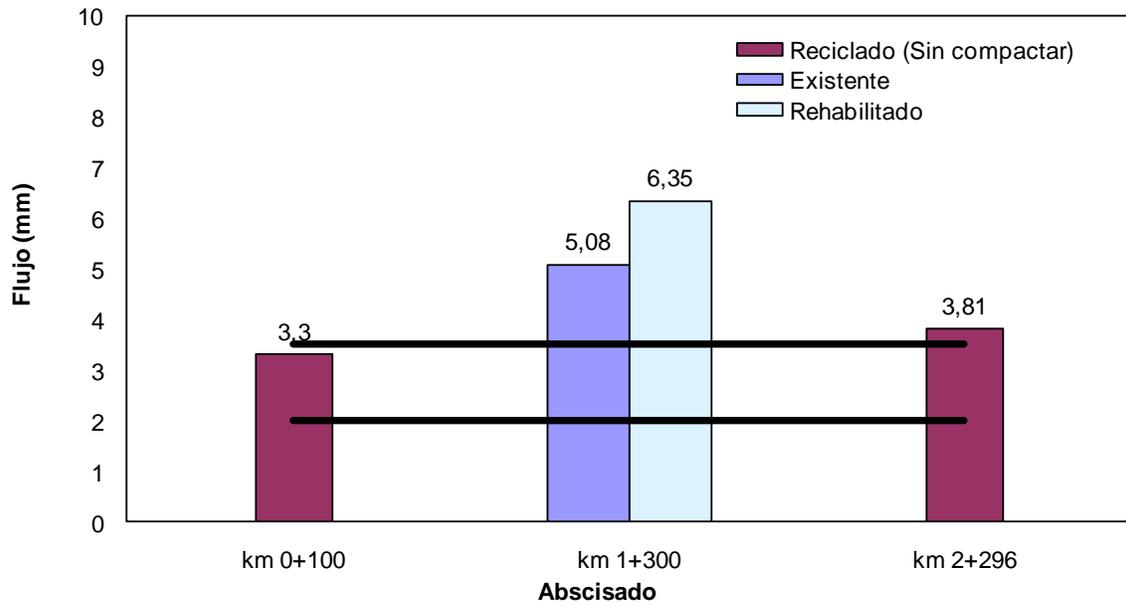
Figura 13. Estabilidad Marshall de las carpetas asfálticas



Fuente: el autor, 2010

La Figura 14 (*barra azul*) nos indica que el flujo correspondiente a la mezcla asfáltica existente no se encuentra dentro del intervalo establecido por la SCT, ya que es superior al valor admisible. Una mezcla asfáltica con un flujo por encima del valor máximo especificado es más susceptible a sufrir deformaciones permanentes que una que cumpla con las especificaciones. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de pavimentos del programa de ingeniería civil de la Universidad de la Sallé. (*Fotografía 25*)

Figura 14. Flujo Marshall de las carpetas asfálticas



Fuente: el autor, 2010

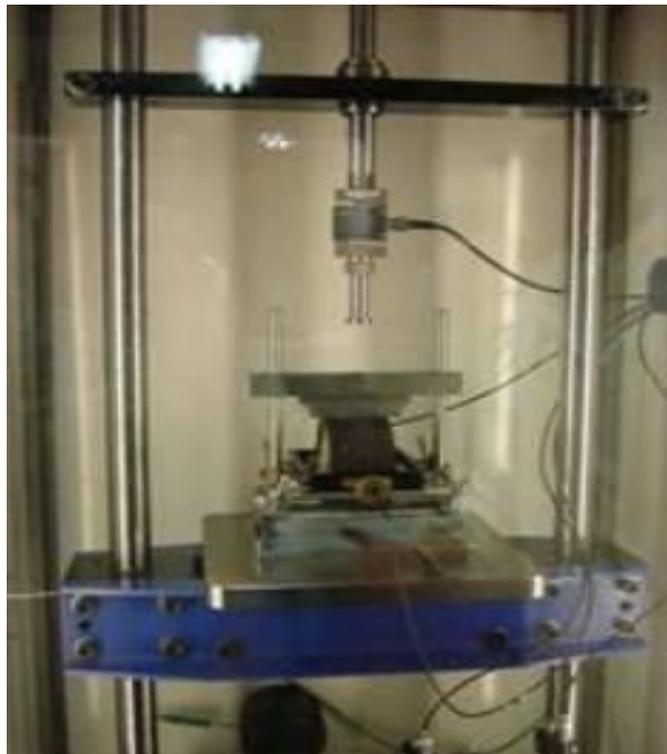
Fotografía 25. Prensa Marshall



Fuente: el autor, 2010

Módulo dinámico elástico - Deformación controlada: Este ensayo fue realizado en los laboratorios de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Javeriana (*Fotografía 26*), con el propósito de complementar el trabajo de laboratorio. Por lo tanto, se tuvo que traer un número limitado de muestras a Colombia ya que el transporte de grandes cantidades de muestras asfálticas es muy costoso. Este procedimiento se le realizó a la mezcla asfáltica para medir su módulo resiliente y determinar su comportamiento a diferentes frecuencias de carga a una temperatura constante de 20°C.

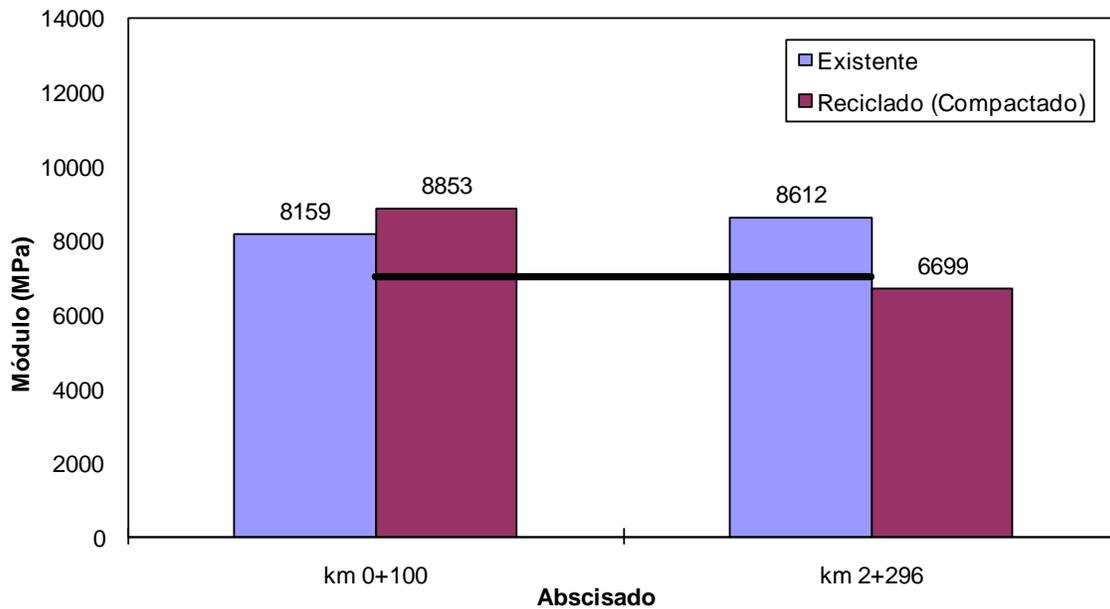
Fotografía 26. Ensayo de Modulo Dinámico



Fuente: el autor, 2010

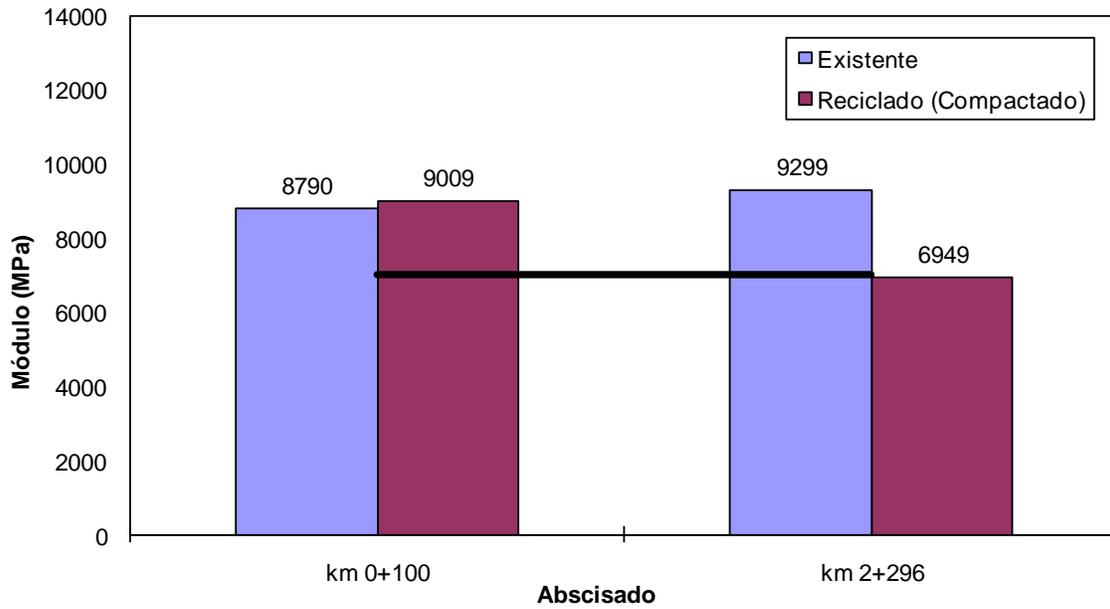
El Modulo dinámico debe cumplir con lo especificado en el libro M-MMP-4-05-023/02 resiliencia de cementos asfálticos. En la barra color azul en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se presenta que los valores son superiores al valor típico, como se indica en las figuras mencionadas. Esto podría indicar que el pavimento existente está en buenas condiciones de rigidez.

Figura 15. Módulos a una frecuencia de 2.5Hz y temperatura de 20°C



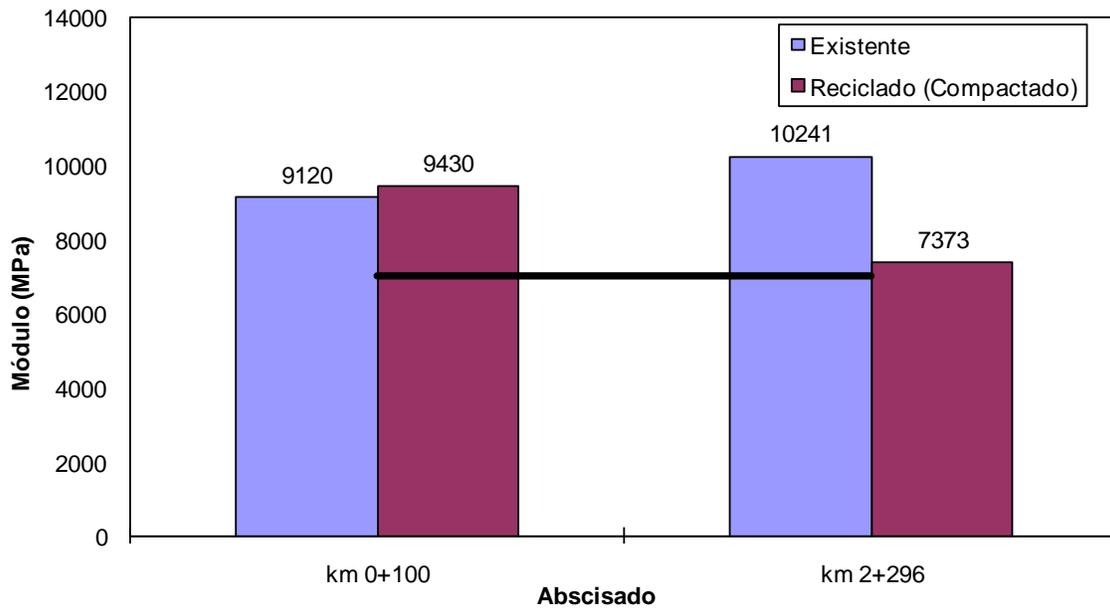
Fuente: el autor, 2010

Figura 16. Módulos a una frecuencia de 5.0Hz y temperatura de 20°C



Fuente: el autor, 2010

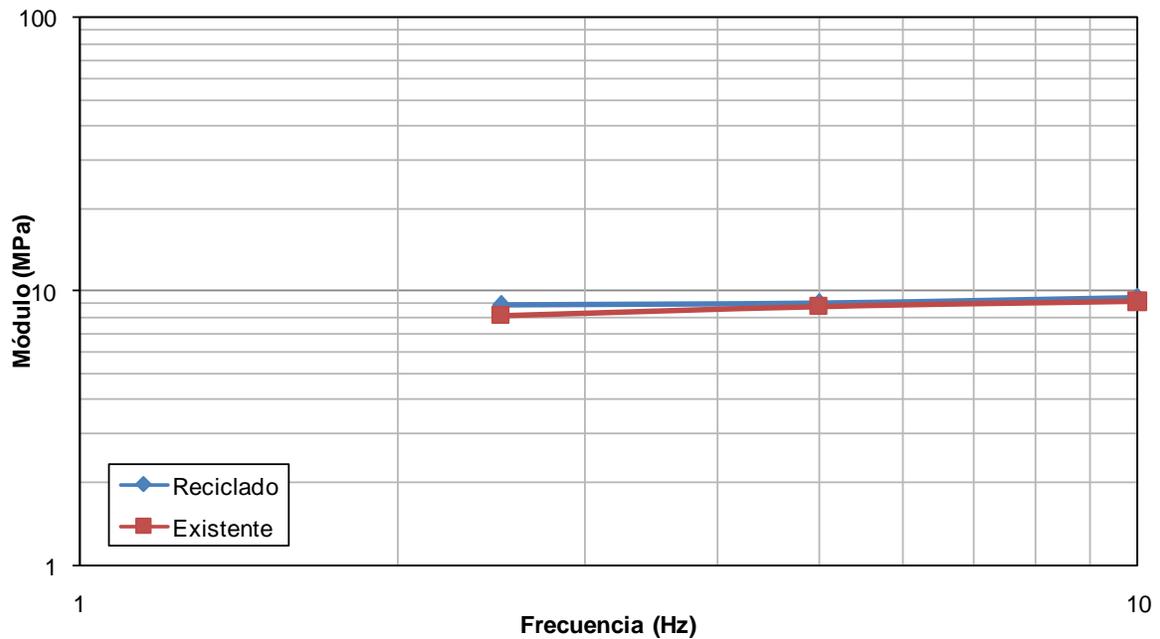
Figura 17. Módulos a una frecuencia de 10Hz y temperatura de 20°C



Fuente: el autor, 2010

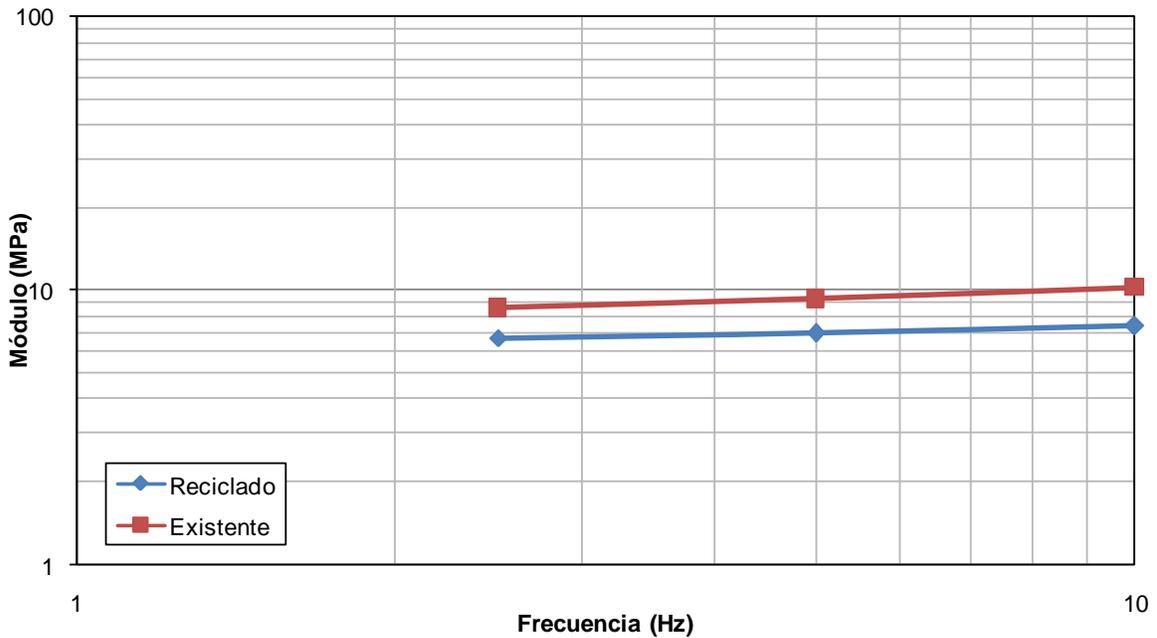
En la Figura 18 se presenta una comparación entre el módulo dinámico de la mezcla asfáltica antes de ser intervenida (*existente*) y la mezcla asfáltica reciclada (*carpeta reniveladora*) con el método de reciclado *in situ* en caliente. En esta figura se observa que el módulo dinámico de la mezcla asfáltica reciclada mejoró en aproximadamente un 5% respecto a la mezcla antes de ser modificada por el método. Sin embargo, esta misma comparación que se presenta para las muestras extraídas en el abscisado K2+296 (*Figura 19*), presenta un comportamiento contrario al anteriormente descrito; lo anterior significa que en vez de mejorar el módulo de la mezcla asfáltica después de ser intervenida, este decayó en aproximadamente un treinta y cinco (35) por ciento.

Figura 18. Variación del Módulo para el abscisado K0+100



Fuente: el autor, 2010

Figura 19. Variación del Módulo para el abscisado K2+296



Fuente: el autor, 2010

5.2.2.2 Material reciclado sin compactar

El material reciclado sin compactar es el producto del fresado de la carpeta existente, la cual va a ser rehabilitada. A este material se le añade emulsión asfáltica o rejuvenecedores en proporciones determinadas con el fin de mejorar las características del asfalto envejecido, y en ocasiones se agrega material pétreo nuevo para restablecer las características granulométricas. En la Fotografía 27 se muestra la comparación entre la carpeta existente y la carpeta fresada sin el material reciclado.

Fotografía 27. Escarificación de la carpeta existente



Fuente: el autor, 2010

Para el estudio del material reciclado sin compactar (*Fotografía 28*) se tomaron tres muestras en diferentes puntos de la vía donde la SOP realizó la intervención; de esta forma se analizaron las características más significativas del material intervenido utilizando el reciclado *in situ* en caliente.

Con base al análisis del material reciclado en la vía intervenida por la SOP se detectó que el material reciclado sin compactar variaba significativamente; esto puede deberse a los siguientes factores:

- Una temperatura de precalentado y fresado muy alta,

- Diferencias en la granulometría de la carpeta existente,
- Bajos contenidos del ligante y/o ligante envejecido,
- Control de calidad en la ejecución de la tecnología,
- Intervenciones anteriores realizadas a la vía.

De acuerdo con la reglamentación de Los Estados Unidos de México, la carpeta reniveladora conformada por el material reciclado, debe cumplir con un diseño para mezcla densa en caliente, contemplado en el capítulo “N-CSV-CAR-3-02 008/03 CSV. CONSERVACION” relacionado con la recuperación en caliente de carpetas asfálticas. Es por esto que, como conclusión de la presente investigación, es oportuno realizar una frecuencia de muestreo de la mezcla asfáltica existente de acuerdo a lo recomendado por la especificación vigente, para establecer con anticipación las características del material pétreo y del ligante asfáltico.

Fotografía 28. Material reciclado sin compactar



Fuente: el autor, 2010

A la fecha de este estudio no fue posible contar con el diseño de la carpeta niveladora conformada por el material reciclado. Es importante conocer estas características ya que determina las condiciones óptimas para la mezcla asfáltica.

En las muestras extraídas se observó que las partículas en la mezcla asfáltica tenían un buen recubrimiento por el ligante asfáltico (*Fotografía 29*). Al material reciclado sin compactar se le realizaron los ensayos correspondientes a granulometría, porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo Marshall, y módulos dinámicos. Los anteriores ensayos se realizaron con el fin de establecer las propiedades del material reciclado antes de ser compactado en la vía que fue intervenida con esta tecnología.

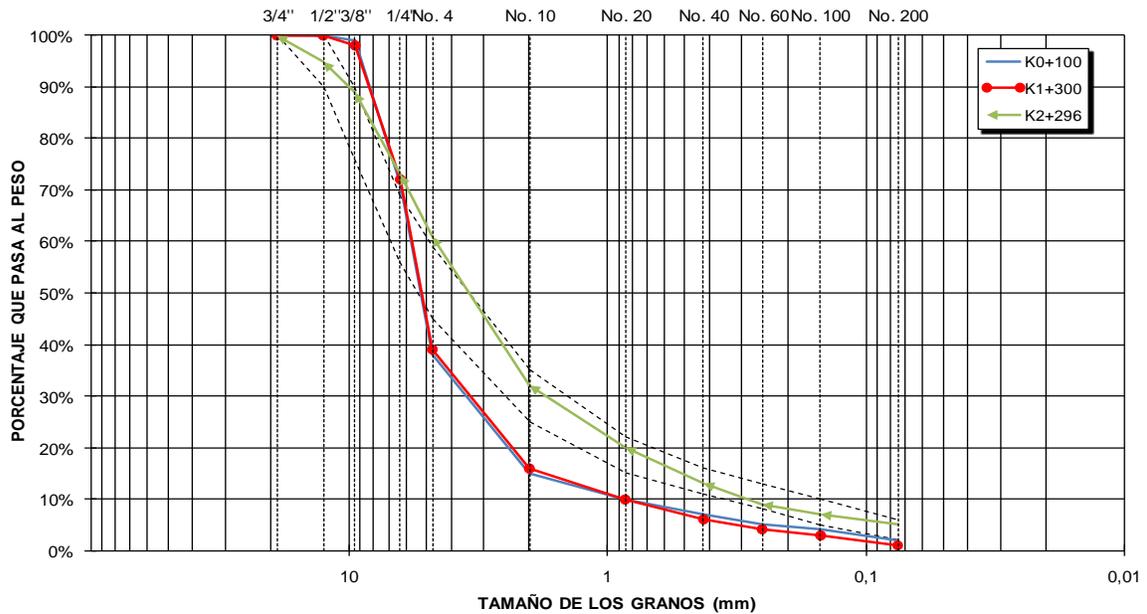
Fotografía 29. Apariencia de la mezcla asfáltica



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: La Figura 20 presenta las curvas granulométricas de las tres mezclas asfálticas extraídas al material reciclado sin compactar, se puede concluir que se presenta poco material fino y fracturamiento del agregado grueso, por lo cual se aprecia una granulometría con tendencia a ser uniforme en las tres muestras. Se establece que dos granulometrías no cumplen con la gradación especificada para mezclas asfálticas densas en caliente tipo AC-20. Por lo anterior se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de restablecer la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar.

Figura 20. Granulometría del material reciclado sin compactar

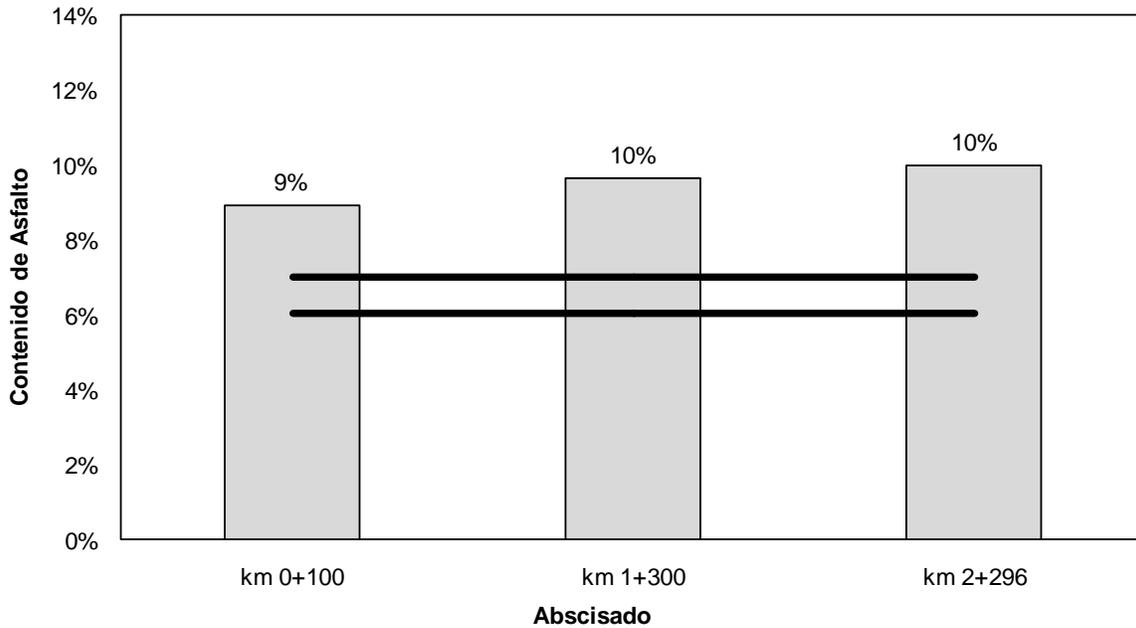


Fuente: el autor, 2010

Porcentaje de asfalto: En la Figura 21 se presenta el porcentaje de asfalto del material reciclado sin compactar. En esta figura se observa que el porcentaje de

asfalto de las tres muestras extraídas, está muy por encima de los valores óptimos para este tipo de mezcla (*intervalo mencionado en el aparte 5.2.2.1*). Por lo anterior se puede concluir que el material reciclado sin compactar tiene un exceso de asfalto, lo que puede repercutir en fallas superficiales en el pavimento. Esto quizás se deba en la dosificación de la emulsión asfáltica para restablecer las propiedades mecánicas del asfalto contenido en el material pétreo.

Figura 21. Contenido de asfalto del material reciclado sin compactar



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: El material extraído antes de ser compactado en obra, fue llevado al laboratorio y compactado en briquetas de dos y media (2 ½) pulgadas de altura por cuatro (4) pulgadas de diámetro. Mediante estos ensayos realizados se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de

estabilidad para mezcla asfáltica densa en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT, como se muestra en la Figura 13 (*barra color violeta*).

La Figura 14 indica que el flujo correspondiente a la muestra extraída en el K0+100, aunque cumple, está muy cercano al límite superior. Para la muestra extraída en el K2+296, el flujo se encuentra por encima de los valores especificados por la SCT, lo que puede repercutir en posibles deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica.

Módulo dinámico elástico - Deformación controlada: Los ensayos se realizaron a probetas de mezcla asfáltica reciclada compactada en laboratorio. El módulo dinámico de las mezclas asfáltica reciclada obtenida en el K0 +100 (*barra color violeta en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17*) presentó valores superiores al valor típico; sin embargo para la muestra extraída en el K2+296, los módulos presentaron valores ligeramente inferiores a este valor típico. Esto podría ser un indicio de que el material reciclado compactado varía en sus condiciones de rigidez a lo largo de la intervención.

5.2.2.3 Pavimento rehabilitado

El pavimento rehabilitado, (*Fotografía 30*) se le realizó los ensayos correspondientes a granulometría, porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo Marshall, con el fin de establecer las propiedades de las mezclas asfálticas del pavimento rehabilitado en la vía que fue intervenida con esta tecnología.

Fotografía 30. Pavimento rehabilitado. Municipio la Escondida K 2+296



Fuente: el autor, 2010

Granulometría: El análisis granulométrico se realizó a panelas extraídas a la mezcla asfáltica compactada (*Fotografía 31*). Las cuales estaban conformadas por tres capas asfálticas, así: mezcla asfáltica existente, mezcla asfáltica reciclada (*carpeta reniveladora*) y mezclas asfáltica nueva (*carpeta de rodadura*). En el

muestreo se tomó todo el espesor de la estructura del pavimento, por consiguiente se mezclaron las granulometrías de la tres capas asfálticas que conforman la estructura del pavimento. Es de aclarar que este resultado no es representativo de las carpetas asfálticas ya que cada capa se debe analizar por separado, debido a que sus propiedades mecánicas son diferentes y la capacidad estructural difiere entre capas, por tal razón si una de la capas no cumple con lo especificado en la norma de la SCT, se puede presentar fallas en el mezcla asfáltica debido a que la distribución de esfuerzos no es la correcta, la Figura 22 presenta las curvas granulométricas de las tres muestras extraídas después de la intervención. En estas se puede apreciar que hay una leve ausencia de partículas gruesas en el conjunto de las mezclas. Con estos resultados se puede analizar que la granulometría en dos de los tres puntos muestreados no cumple con la curva granulométrica especificada por la SCT para mezclas asfálticas tipo AC-20.

Fotografía 31. Capas de la estructura del pavimento rehabilitado



Fuente: el autor, 2010

Figura 22. Granulometría del pavimento rehabilitado

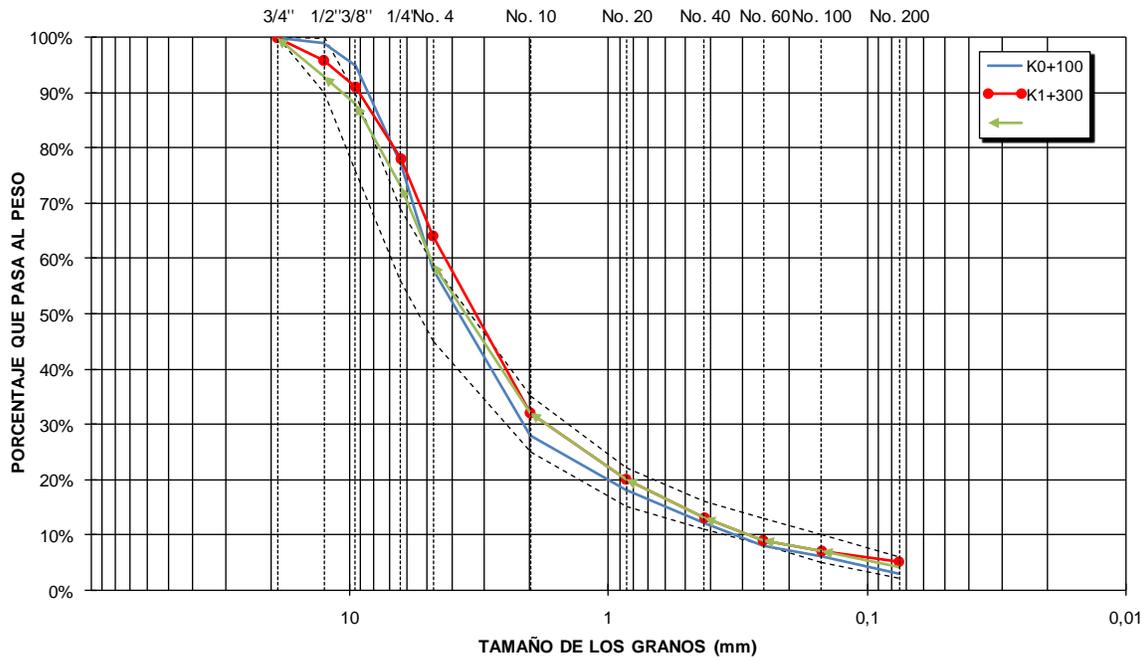
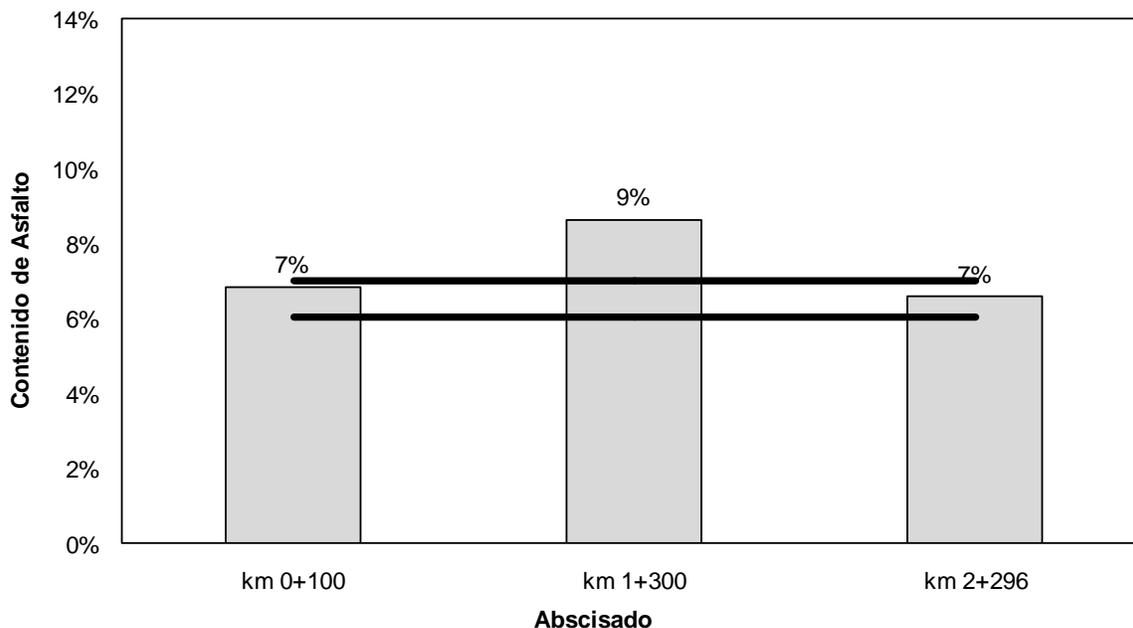


Figura 23. Contenido de asfalto del pavimento rehabilitado



Fuente: el autor, 2010

Estabilidad y Flujo Marshall: Estos ensayos se realizaron a núcleos extraídos conformados por las tres capas asfálticas mencionadas anteriormente. Mediante estos ensayos se puede concluir que la mezcla asfáltica cumple con el parámetro de estabilidad para mezcla asfáltica densa en caliente, ya que presentan una estabilidad superior a la especificada por la SCT (*barra verde en la Figura 13*).

La Figura 14 (*barra verde*) indica que el flujo de las mezclas asfálticas compactadas está muy por encima del parámetro máximo establecido por la SCT, esto puede repercutir en posibles deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica rehabilitada.

5.2.3 Material asfáltico nuevo

La aplicación de esta tecnología utilizada en Aguascalientes, es que el material asfáltico reciclado sirva como carpeta reniveladora para la colocación de una carpeta de rodadura conformada por material asfáltico nuevo. Para esta mezcla asfáltica se pudo contar con el diseño de acuerdo con lo estipulado en la norma vigente para la recuperación en caliente de carpetas asfálticas, como se muestra en la Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 21. Diseño de la carpeta nueva (tipo AC-20)

| Km | Muestra | Espesores (cm) | Granulometría | Porcentaje de asfalto | Porcentaje de asfalto proyectado |
|-------|---------------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 0+100 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | | |
| 1+300 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | 6.55 | 6.00 |
| 2+296 | Carpeta Nueva | 2.0 | Cumple | | |

Fuente: Adaptado de SOP, 2010

Tabla 22. Diseño Marshall

| Características del espécimen | | Especificación | Cumple |
|-------------------------------|-------|----------------|--------|
| P.E. Km/m ³ | 2308 | | |
| Estabilidad (Kg) | 1183 | 816 MIN | SI |
| Flujo (mm) | 3.5 | 2.0 – 3.5 | SI |
| Vacios (%) | 2.85 | 3.0 – 5.0 | NO |
| V.A.M (%) | 16.63 | 14 MIN | SI |
| V.F.A (%) | 82.86 | 65 -75 | NO |

Fuente: Adaptado de SOP, 2010

6 BENEFICIOS Y DESVENTAJAS

El reciclado *in situ* en caliente es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Esta tecnología que actualmente se desarrolla en el estado de Aguascalientes presenta beneficios entre los que encontramos los ingenieriles, ambientales y económicos. Sin embargo en el estado de Aguascalientes se están presentando ciertas fallas tempranas en el pavimento rehabilitado minimizando el buen desempeño de la tecnología. A continuación se presentara los beneficios otorgados por la tecnología y el proceso llevado a cabo en Aguascalientes.

6.1 BENEFICIOS

La rehabilitación de vías por medio del reciclado en *situ* en caliente brinda ciertos beneficios que mejoran los rendimientos, costos y preservación del medio ambiente, entre otros. Estos se pueden obtener cumpliendo con las normas y especificaciones en cuanto a la calidad en las mezclas asfálticas y en la ejecución de los trabajos. En esta investigación se han clasificado los beneficios en tres categorías, ingenieriles, ambientales y económicos.

6.1.1 Beneficios ingenieriles

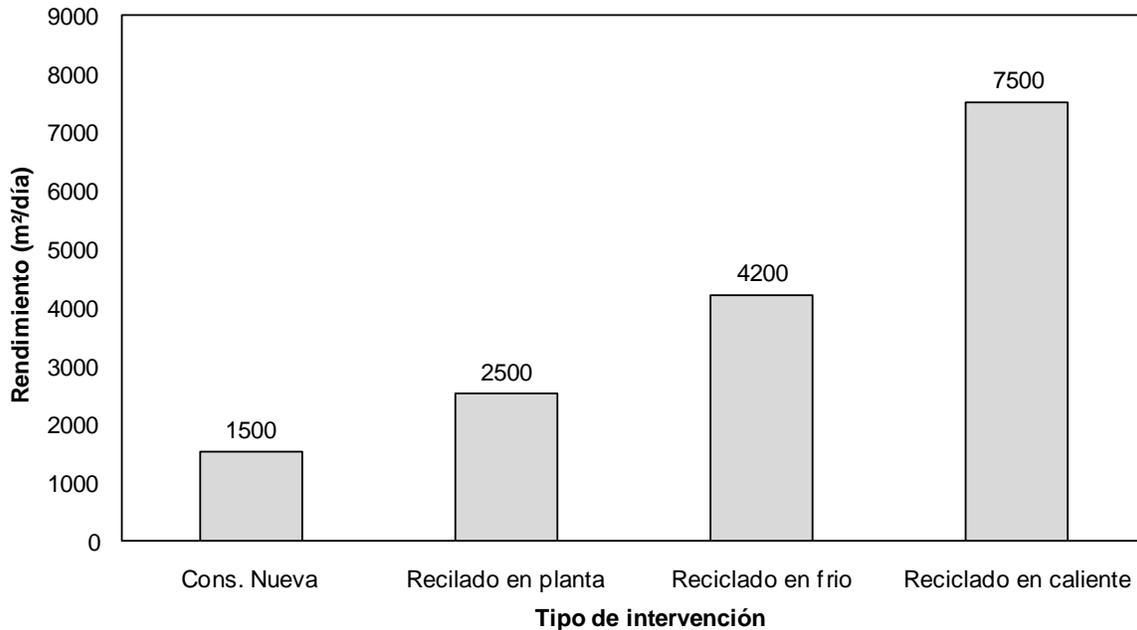
El reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles en general es un método óptimo para el rendimiento en la rehabilitación de vías, ya que es una tecnología rápida y eficaz para la ejecución de los trabajos. A continuación se presentan los beneficios ingenieriles que ofrece esta tecnología.

Incremento significativo en los rendimientos de construcción en las obras de rehabilitación. El reciclaje de pavimentos flexibles por medio de esta tecnología generalmente trabaja profundidades hasta de 6 cm con una tasa de producción que varía entre cuatro mil (4000) y diez mil (10000) metros cuadrados en un turno de diez (10) horas de trabajo continuo teniendo en cuenta la configuración del tren de reciclaje. Sin embargo en el estado de Aguascalientes, el reciclaje se realiza a profundidades que varían entre uno coma siete (1.7) y dos coma cinco (2.5) centímetros, con rendimientos del orden de siete mil quinientos (7500) metros cuadrados en un turno de 10 horas, dependiendo de las condiciones de la carretera, del clima y la mano de obra, la cual puede estar entre quince a dieciocho hombres por jornada.

Además el material reciclado por medio de esta tecnología corresponde a un porcentaje entre el treinta y cincuenta por ciento del total de la capa rehabilitada. En la Figura 24 se hace una comparación de los rendimientos aproximados de las

diferentes metodologías de reciclado para la rehabilitación de vías.

Figura 24. Rendimiento para cada tipo de intervención



Fuente: Montejo, 2010

Facilidad en la movilización del equipo. La movilización que requiere los equipos y materiales utilizados para la rehabilitación de una vía por algunas de la tecnologías utilizadas actualmente, generan grandes costos, lapsos de tiempos muy prolongados y dificultades en el transporte. Es por esto que una de las principales características de la tecnología aplicada en el Estado de Aguascalientes es la fácil movilización de los equipos a una velocidad aproximada de diecinueve coma dos (19.2) kilómetros por hora, entre los sitios de trabajo. Esto se debe a que las dos unidades principales de la recicladora se pueden conducir por separado, y el único costo que se genera es el combustible para el traslado. (Fotografía 32)

Fotografía 32. Movilización de equipo



Fuente: el autor, 2010

Disminución en la interrupción del tráfico. Con el seguimiento y auscultación a las vías rehabilitadas por la SOP en el Estado de Aguascalientes, se pudo apreciar que se disminuye la interrupción del tráfico en el casco urbano, debido a que las reparaciones se realizan en un solo carril. Además, genera a los usuarios cómodas maniobras de desvío, mejor control del tráfico existente y una eficiente seguridad del tránsito.

A diferencia de otros métodos de rehabilitación superficial de pavimentos flexibles, esta tecnología ofrece lapsos de tiempos cortos tanto en la ejecución de los trabajos como en el curado de la carpeta asfáltica rehabilitada, agilizando la apertura al tránsito (*Fotografía 33*).

Fotografía 33. Rehabilitación de vías en cascos urbanos



Fuente: el autor, 2010

Conservación de las características geométricas de las vías.

Independientemente del tren de trabajo que se utilice para el reciclado *in situ* en caliente, este se caracteriza por mantener la geometría del pavimento existente, la cual es particularmente importante en curvas, cruces, y en puentes. Además conserva la seguridad de los vehículos, debido a que se evita superficies deslizantes y desniveladas, y conservando la rugosidad de la superficie para el tránsito de vehículos. Sin embargo de acuerdo al numeral 5.1 del presente trabajo, se evidencian fallas en los pavimentos rehabilitados, generando nuevas intervenciones en la carpeta rehabilitada. Cabe destacar que las fallas presentadas en el estado de Aguascalientes no garantizan que esta tecnología sea ineficaz.

6.1.2 Beneficios ambientales

Los aportes ambientales que genera esta tecnología durante la rehabilitación de vías son: contribuir en la disminución significativa de la explotación de recursos naturales no renovables, la emisión de gases producto de la fabricación de nuevas mezclas asfálticas y la reducción de volúmenes de residuos sólidos. Todo esto con el fin de ayudar en la preservación del medio ambiente.

Disminución de la explotación de canteras. El establecer un diseño de mezcla reciclada para esta tecnología contribuye a la conservación ambiental ya que disminuye la cantidad de material asfáltico y pétreo entre un treinta (30) y cincuenta (50) por ciento, ayudando a conservar recursos naturales no renovables. Además el establecer un diseño de mezcla apropiado puede llegar a tener un comportamiento igual o superior a las mezclas asfálticas tradicionales.

El método utilizado en Aguascalientes se basa en construir una carpeta reniveladora a partir de materiales reciclados para soportar una carpeta de rodadura la cual está diseñada con materiales nuevos. Por tal motivo el reciclaje de material pétreo y asfáltico para la carpeta reniveladora es prácticamente del cien (100) por ciento.

Disminución de la emisión de gases a la atmosfera.

La fabricación de una mezcla asfáltica en caliente por medio de una planta de asfaltos genera emisión de gases a la atmosfera, produciendo contaminantes como: material particulado (Mp), dióxido de azufre (SO₂), y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las cantidades admisibles de estos contaminantes para plantas nuevas son de 150 mg/m³, 500 mg/m³, y 500 mg/m³ respectivamente; los valores admisibles para plantas existentes son de 250 mg/m³, 550 mg/m³, y 550 mg/m³ respectivamente²⁹.

Por lo anterior la emisión de gases generados por una planta de asfaltos implica un impacto ambiental enorme, esto sin contar la emisión de ruido y otros factores que intervienen en la producción de mezclas asfálticas. El reciclado *in situ* en caliente, aunque genera emisión de gases a la atmosfera en comparación con la elaboración de una mezcla asfáltica nueva, reduce significativamente las emisiones y la producción de contaminantes.

Para la reducción significativa en la emisión y producción de gases a la atmosfera, el tren de trabajo utilizado debe contar con un equipo mezclador (*Figura 4*), con el fin de realizar la mezcla asfáltica que sirva como carpeta de rodadura o lo

²⁹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Normatividad ambiental de emisión de gases y material particulado a la atmósfera.
[www.alcaldiabogota.gov.co.http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425](http://www.alcaldiabogota.gov.co/http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425).
Última revisión Noviembre de 2009

especificado en el proyecto. Sin embargo la rehabilitación llevada a cabo en Aguascalientes no cuentan con este equipo, lo que implica la fabricación de una mezcla asfáltica de dos coma cinco (2.5) centímetros en una planta de asfaltos que sirva como carpeta de rodadura.

Reducción del volumen de residuos sólidos. Dentro de los beneficios ambientales encontrados por esta tecnología, este es quizás el más importante, ya que disminuye el vertimiento de residuos sólidos producto de la rehabilitación de vías en un cien (100) por ciento, ayudando a tener un mejor control en su disposición y de esta forma contribuir en la disminución del impacto ambiental.

6.1.3 Beneficios económicos

Los métodos que actualmente se utilizan para la rehabilitación de vías generan grandes costos económicos. En Colombia aún no cuentan con la tecnología óptima para la realización de estos trabajos. Uno de los mayores beneficios del reciclado *in situ* en caliente es la disminución en los costos de rehabilitación. Sin embargo, es de aclarar que la inversión inicial en la adquisición de los equipos es bastante elevada, pero se estima que la retribución de la inversión se recupera en pocos años debido a los rendimientos de obra.

Montajes operacionales de importancia. Al realizar el reciclado *in situ* se tiene la principal ventaja de evitar montajes de estructura de gran escala, ya que cuenta con un tren de trabajo que está organizado de tal forma que la intervención se ejecute de forma eficiente, así como realizar el reciclado y distribución de carpeta asfáltica en un mismo tiempo. En cambio algunos métodos utilizados como el reciclado en caliente en planta, requieren el montaje de grandes estructuras.

Acarreo significativo de materiales. La mayoría de los métodos de rehabilitación superficial de pavimentos requieren acarreo significativo de materiales, en donde los costos de transporte y colocación de material se incrementan. Por el contrario, esta tecnología de reciclado reduce el acarreo de materiales y los costos, debido a la reutilización del cien (100) por ciento del material producto del fresado y/o escarificado de la carpeta existente.

Ahorro en costo y tiempo. La tecnología del reciclaje *in situ* en caliente de pavimentos flexible ofrece ahorros aproximados hasta un treinta y cinco (35) por ciento en costos y cincuenta (50) por ciento en tiempo, comparado con otros métodos convencionales de rehabilitación. No obstante se están presentando costos extras después de la rehabilitación en el proceso llevado en el Estado de Aguascalientes, producto de intervenciones de mediana intensidad que se le han realizado a la superficie de la carpeta.

6.2 DESVENTAJAS

La tecnología en general presenta grandes ventajas en el desarrollo de las rehabilitaciones superficiales de pavimentos flexibles, sin embargo en el proceso llevado a cabo en Aguascalientes se detectaron algunas desventajas relacionadas directamente con el equipo utilizado.

Calentamiento de la superficie del pavimento: En el estado de Aguascalientes se ha implementado esta tecnología con un equipo que ha sido diseñado y manufacturado para trabajar a flama directa, lo que repercute en la emisión de gases a la atmosfera. Es por esto que la norma N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION (*Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica*) señala que durante la recuperación de carpetas asfálticas en caliente se utilice calentadores radiantes, para evitar el sobrecalentamiento de la carpeta existente y su posible daño, como también evitar las emisiones de gases a la atmosfera. (*Fotografía 34*)

Compactación monolítica en caliente. De acuerdo a la norma N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION (*Recuperación en Caliente de Carpeta Asfáltica*), numeral G.8.8, señala que el tendido de la mezcla asfáltica por medio de la maquina recuperadora se debe extender en una sola capa, por tal motivo probablemente una de las desventajas encontradas es la utilización de una compactación monolítica en caliente entre la carpeta reniveladora (*material*

reciclado) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*), las cuales quizás no estén presentando la adherencia necesaria, como se puede ver con la falla de descascaramiento presentada en el numeral 5.1.4 del presente trabajo. A diferencia de otros métodos de reciclaje *in situ* en caliente utilizan la mezcla del material nuevo y el reciclado para diseñar una sola carpeta y así tener un solo procedimiento de compactación y disminuir los riegos de falla entre capas.

Fotografía 34. Sistema de calentamiento por medio de flama directa



Fuente: el autor, 2010

7 CONCLUSIONES

Se identificó que la tecnología reciclado *in situ* en caliente aporta beneficios ingenieriles, ambientales y económicos como son: reducción en la utilización de nuevos materiales no renovables, disminución de la emisión de gases a la atmósfera por efecto de la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, incremento significativo en los rendimientos de construcción y fácil movilización del equipo, reducción en los costos de construcción, disminución en la interrupción del tráfico, entre otros.

Dentro de las ventajas que presenta esta tecnología, se puede destacar que se intervienen en su mayoría síntomas de deterioro de una carpeta asfáltica como: eliminación de la presencia de grietas, restablecimiento de las propiedades del material ligante, nivelación de baches, huecos y monturas, reacondicionamiento de drenajes y coronas, restablecimiento de la flexibilidad del pavimento frágil y desgastado, restablecimiento de un contenido adecuado de asfalto y gradación de agregados, y mejoras en la seguridad de la vía.

Mediante el seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas en el Estado de Aguascalientes (*México*), donde la SOP está implementando un tipo de tren de trabajo para la aplicación de la tecnología del reciclado *in situ* en caliente de pavimentos flexibles, se detectó después de un año de realizada la intervención de

presencia de fallas tempranas como: fisuras longitudinales y transversales, fisuras por bloque, desprendimiento de agregado, descascaramientos, exudación, entre otras. Con lo anterior se puede inferir que las rehabilitaciones no están siendo efectivas posiblemente debido a la configuración del equipo y falta de control en la ejecución de los trabajos. A pesar de esto, no se puede establecer que la tecnología de reciclado *in situ* en caliente no funcione como proceso de rehabilitación, ni cumpla con los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos antes mencionados.

Como parte de la auscultación realizada, de las cinco vías estudiadas, se encontró que después de un año de haber sido intervenidas, aproximadamente el sesenta y cinco por ciento de la longitud inspeccionada presenta un estado en buenas condiciones, donde probablemente se requieran acciones de mantenimientos rutinarios, y el treinta y cinco por ciento restante de la superficie que se encuentra en regular estado requerirá mantenimientos de media intensidad que mitiguen el deterioro progresivo de los pavimentos.

Dentro de las fallencias encontradas en la aplicación de la tecnología realizada en el estado de Aguascalientes, México, se encuentra que el equipo utilizado trabaja a flama directa para calentar la superficie del pavimento y poder ser fresado, lo que repercute en la emisión de gases a la atmosfera y el sobrecalentamiento de la carpeta existente. En la literatura revisada se encontró que en otros países el equipo trabaja con un sistema de calentadores radiantes; por otro lado, la

implementación de una compactación monolítica en caliente de la carpeta reniveladora (*material reciclado*) y la carpeta de rodadura (*material nuevo*) no garantiza la homogeneidad en la compactación y la disminución del riesgo de fallas entre carpetas.

En cuanto a las propiedades mecánicas evaluadas a las mezclas asfálticas mediante estabilidad y flujo Marshall, y módulos dinámicos, se pudo observar que la estabilidad de las mezclas asfálticas era alta a pesar de presentar flujos elevados. Por otro lado, el módulo dinámico en una de las muestras de material reciclado incrementaba respecto a la mezcla asfáltica existente, mientras que la otra decrecía. Es oportuno resaltar que el número de ensayos realizados a las mezclas asfálticas no fue el adecuado para llegar a una conclusión representativa en cuanto a las características de las mezclas asfálticas recicladas. Por otra parte, no se compararon estos resultados con el diseño de la mezcla densa en caliente de la carpeta reciclada, ya que no fue posible obtener información acerca de este diseño.

A pesar de no tener el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica reciclada, se pudo apreciar en las muestras extraídas que estas presentan un alto contenido de asfalto respecto a los intervalos promedios para una mezcla densa en caliente. Este elevado porcentaje puede ser el causante de que el pavimento rehabilitado presente exudación.

En cuanto a las granulometrías, se encontró que estas no cumplen con la gradación especificada para mezclas asfálticas densas en caliente tipo AC-20. Por lo anterior se requeriría adición de nuevos materiales pétreos con el fin de restablecer la gradación óptima de la mezcla asfáltica a reciclar. Es por esto que es oportuno realizar una frecuencia de muestreo de la mezcla asfáltica existente de acuerdo a lo recomendado por la especificación vigente, para establecer con anticipación las características del material pétreo y del ligante asfáltico.

Con base en la revisión bibliográfica, se encontró que los beneficios ingenieriles, ambientales y económicos que ofrece la tecnología del reciclado *in situ* en caliente son mayores respecto a los que ofrecen las otras tecnologías que actualmente se utilizan en Colombia. De acuerdo a lo anterior, cabe resaltar la importancia de implementar tecnologías de punta que conserve el medio ambiente, aumente los rendimientos y minimice los costos durante la ejecución de las rehabilitaciones de vías, con el fin de optimizar los trabajos realizados.

8 RECOMENDACIONES

Con base en el seguimiento y auscultación de la aplicación de la tecnología del reciclaje en *situ* en caliente de pavimentos flexibles en el estado de Aguascalientes México, es recomendable que la SOP revise el método constructivo con el cual están colocando una carpeta de rodadura de mezcla asfáltica nueva sobre la carpeta reniveladora de material reciclado, ya que al colocar una sola capa de material homogéneo de igual rigidez pueden disminuir los riegos de falla entre capas. Esto se puede lograr implementando un tercer módulo al tren de trabajo que cumpla las funciones de mezclado y dosificación, controlando las temperaturas óptimas tanto en el mezclado como en su posterior extendido, de acuerdo con lo recomendado en la literatura para este método.

En cuanto al desempeño de la tecnología es constructivo y ambientalmente recomendable utilizar un equipo que caliente la carpeta existente con un sistema de calentadores radiantes, en lugar de utilizar el equipo de flama directa con el que cuenta la SOP en el Estado Aguascalientes. De igual forma, sería oportuno realizar un seguimiento y auscultación a la vía previo a la rehabilitación, con el objeto de determinar el tipo de fallas superficiales y/o estructurales, y así establecer si la tecnología satisface las necesidades de la vía.

9 BIBLIOGRAFIA

ALARCÓN, Jorge. Tesis Doctoral. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Enero de 2003.

CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007.

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587-03 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Octubre de 2006.

CORONADO, Jorge. Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras. Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN). Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Guatemala: 2000.

DERLI, Macagnan. Wirten Group. Tecnologías para la construcción y rehabilitación de pavimentos. Alemania: Agosto de 2007.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. Presentación Reciclaje de Pavimentos INVIAS. Encuentro Pavimentos 2007.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, FHWA. Department of Transportation. Pavement Preservation. Cold In place Asphalt Recycling and Hot In place Asphalt Recycling. Publication No FHWA-IF-06-012/011 Estados Unidos: Noviembre de 2005.

INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1997

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras - INVIAS 2002. Capítulo cuarto, artículo 461-02 y 462-02.

MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling. www.martec.ca. Canadá. Última revisión Febrero de 2009.

MILIARIUM. Reciclado de Firmes. 2004. www.miliarium.es.
[http://www.miliarium.es/Premios2004/Reciclado Firmes/Reciclado Firmes.pdf](http://www.miliarium.es/Premios2004/Reciclado_Firmes/Reciclado_Firmes.pdf).
Última revisión Agosto de 2009.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Normatividad ambiental de emisión de

gases y material particulado a la atmósfera.

[www.alcaldiabogota.gov.co.http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=31425). Última revisión Noviembre de 2009.

MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos tomó II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2002.

MONTEJO, Alfonso. Reciclaje de Pavimentos. Primer encuentro nacional de pavimentos.

<http://tycho.escuelaing.edu.co/ecinfo2/educontinuada/EncuentroPavimentos/001PresentacionINVIAS.pdf>. Última revisión Julio de 2009.

PAVIMENTOS. División de Investigaciones y Asesorías. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia 1997

REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology.www.cutlerrepaving.com
<http://www.cutlerrepaving.com/home.html>. Estados Unidos. Última revisión Enero de 2009.

RIVERA, Gustavo. Reciclado de pavimentos en frío, empleando emulsiones asfálticas cationicas. Editorial Alfaomega, 1997.

RUIZ, Rosa. Estructura para la presentación escrita de informes del Proyecto Integrador. En: ASESORÍA METODOLÓGICA presentación de informes del Proyecto Integrador. Bogotá: U.S.B, 2003.

SABINO, Carlos. El proceso de investigación. Buenos Aires: 1978

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Recuperación en caliente de carpetas asfálticas. SCT N-CSV-CAR-3-02-008/03 CSV. CONSERVACION. México: 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos. www.ingeniería.uady.mxhttp://www.ingeniería.uady.mx/revista/volumen12/mantenimiento_de_pavimentos.pdf. México. Última revisión Octubre de 2009.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Fallas de pavimentos flexibles. Identificación, clasificación y manejo de daños en pavimentos flexibles y rígidos www.ufpso.edu.co http://www.ufpso.edu.co/ftp/pdf/documentos/charla_fallas_pavimentos_flexibles.pdf. Última revisión septiembre de 2009.

WIRTGEN GRUOP. Manual de Reciclado en Frío. 2 edición. Windhagen, Alemania: Noviembre de 2004.

IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Experiencia del reciclaje de pavimentos en Colombia utilizando emulsiones asfálticas. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

IX SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Rehabilitación de la estructura de un pavimento. Diseño y comportamiento de base reciclada en frío. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia: Junio de 1997.

XIV SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Universidad del Cauca (Popayán – Colombia). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2003.

ANEXO A- FICHA INFORMATIVA DEL EQUIPO

Características y datos técnicos del equipo de precalentado y recicladora para el proceso de “reciclado in situ” en caliente de pavimentos flexibles. Fabricado por Cutler Repaving, Inc.

Pre-calentador

| Característica | Medida |
|-------------------------------------|------------|
| Largo | 11.73 m |
| Ancho | 3.60m |
| Altura | 2.64 m |
| Peso (con carga) | 8200 kg |
| Capacidad de gas | 5678 lts |
| Capacidad de diesel | 473 lts |
| Velocidad de traslado | 19.2 km/hr |
| Velocidad de trabajo | 3.20 m/min |
| Capacidad de motor (trabajo pesado) | 270 h.p |
| Velocidad de motor | 1800 rpm |
| Aceite hidráulico | 208 lts |
| Anticongelante | 26.50 lts |

Recicladora

| Características | Medida |
|-------------------------------------|--------------|
| Largo | 17.07 m |
| Altura | 3.35 a 3.96m |
| Peso (con carga) | 2.44 m |
| Capacidad de gas | 37500 kg |
| Capacidad de diesel | 3785 lts |
| Velocidad de traslado | 795 lts |
| Velocidad de trabajo | 19.2 km/hr |
| Capacidad de motor (trabajo pesado) | 3.20 m/min |
| Velocidad de motor | 1800 rpm |
| Aceite hidráulico | 606 lts |

ANEXO B. CUANTIFICACION Y CLASIFICACION DE LAS FALLAS

ANEXO C. FORMATOS UTILIZADOS

El Seguimiento y auscultación de las vías rehabilitadas se realizó con base al formato diseñado. El ensayo de granulometría para las mezclas asfálticas se realizó con base a los formatos que la SOP tiene para la determinación de calidad de mezclas asfálticas en caliente. El formato de módulo dinámico elástico se tomó con base el estipulado por el laboratorio de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana

FORMATO REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION

| | | | | | |
|--|--|---|-----------------|--|--|
|  UNIVERSIDAD DE LA SALLE <small>Educare para Formar, Docere y Servire</small> | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  SOP <small>SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS</small> | |
| Fecha: | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 1 | |
| Hora: | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | | Actividad | | | |
| Ubicación | | Constructor | | | |
| Longitud tramo | | Absisado | | | |
| Ancho tramo | | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
| | | | | | |
| Página 1 | | | | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| | | | | | |

FORMATO CALIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS



SOP
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS DEL ESTADO

Dirección de calidad, Departamento de Laboratorio

INFORME DE CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA
de granulometría densa

DATOS DE LA OBRA.

Obra: _____
 Ubicación: _____
 Folio: _____

| | |
|--------------|--|
| Codigo | |
| Asunto | |
| Responsable | |
| Genera | |
| F liberación | |
| T retención | |

DATOS DE MUESTREO.

| | | |
|-------------|-------------|----------|
| Registro | Muestra No. | Muestreó |
| Procedencia | | |
| Tendido en | | |

F. muestreo _____
 F. reporte _____

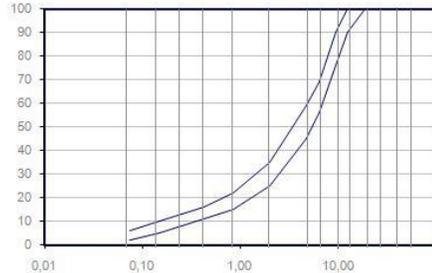
TIPO DE MEZCLA.

NCMT-404/03-02

Origen y tratamiento previo. Triturado Semitriturado Cribado Mezclado **Tamaño nominal**

Carga acumulada de tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 ton.) $\Sigma L \leq 1'000,000$ $\Sigma L > 1'000,000$

CARACTERISTICAS GRANULOMÉTRICAS.



| Malla | Abert. | Minimo | Máximo | Muestra | Cumple |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 2" | 50,00 | 100 | 100 | | |
| 1 1/2" | 37,50 | 100 | 100 | | |
| 1" | 25,40 | 100 | 100 | | |
| 3/4" | 19,00 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12,50 | 90 | 100 | | |
| 3/8" | 9,500 | 76 | 90 | | |
| 1/4" | 6,350 | 56 | 69 | | |
| No. 4 | 4,750 | 45 | 59 | | |
| No. 10 | 2,000 | 25 | 35 | | |
| No. 20 | 0,850 | 15 | 22 | | |
| No. 40 | 0,425 | 11 | 16 | | |
| No. 60 | 0,250 | 8 | 13 | | |
| No. 100 | 0,150 | 5 | 10 | | |
| No. 200 | 0,075 | 2 | 6 | | |
| Unidad | | | 6 | | |

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO.

| | | | |
|----------------------------------|-----|--|--|
| Densidad relativa. | s/u | | |
| Pérdida de estabilidad. | % | | |
| Desgaste de los angeles. | % | | |
| Partículas alargadas y lajeadas. | % | | |
| Equivalente de Arena. | % | | |

CONTENIDO DE ASFALTO.

| | | | |
|---|---|--|--|
| Tipo de asfalto y contenido óptimo teorico. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto al petreo. | % | | |
| Contenido de asfalto respecto a la mezcla. | % | | |

PARAMETROS MARSHALL.

| | | | |
|--------------------------------------|-------|--|--|
| Peso específico. | Kg/m3 | | |
| Estabilidad. | Kg | | |
| Flujo. | mm | | |
| Vacios respecto a la mezcla. | % | | |
| Vacios respecto al agregado mineral. | % | | |
| Vacios llenos de asfalto. | % | | |

OBSERVACIONES.

| | |
|---|---|
| Revisó Francisco Javier Acosta Collazo Coordinador de Laboratorio | Vo.Bo. Ing. Víctor Daniel López Sánchez Jefe de Depto. de Laboratorio |
|---|---|

ANEXO D COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN

RECURSOS MATERIALES

Los recursos materiales que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Concepto | Unidad | Cantidad | Vr. Unitario | Vr. Total |
|---------------------------|--------|----------|--------------|--------------|
| Discos Compactos | Unidad | 5 | \$ 1.000,00 | \$ 5.000,00 |
| Fotocopias | Unidad | 200 | \$ 100,00 | \$ 20.000,00 |
| Impresiones (Cartuchos) | Global | 1 | \$ 30.000,00 | \$ 30.000,00 |
| Resma de papel | Global | 1 | \$ 40.000,00 | \$ 40.000,00 |
| Total recursos materiales | | | | \$ 95.000,00 |

RECURSOS INSTITUCIONALES

Los recursos institucionales que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

- Laboratorio de pavimentos SOP (Aguascalientes – México)
- Laboratorio de Ingeniería Civil Pontifica Universidad Javeriana

RECURSOS TECNOLÓGICOS

Los recursos tecnológicos que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Concepto | Unidad | Cantidad | Vr. Unitario | Vr. Total |
|-----------------------------|--------|----------|-----------------|-----------------|
| Computador | Unidad | 1 | \$ 1.000.000,00 | \$ 1.000.000,00 |
| Impresora | Unidad | 1 | \$ 250.000,00 | \$ 250.000,00 |
| Cámara Digital | Unidad | 1 | \$ 350.000,00 | \$ 350.000,00 |
| Total recursos Tecnológicos | | | | \$ 1.600.000,00 |

RECURSOS HUMANOS

Los recursos humanos que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación son:

| Cargo | Encargado | No Hora | Vr. Total |
|------------------------|------------------------------|---------|---------------|
| Investigador | Estudiante proyecto de grado | 80 | |
| Coinvestigador | Director temático* | 20 | \$ 120.000,00 |
| | Asesora metodologica** | 20 | \$ 148.148,00 |
| Total recursos humanos | | | \$ 268.148,00 |

*Valor asumido por la Universidad de La Salle, según Acuerdo No. 175 de noviembre 20 del 2007

**Valor asumido por la Universidad de La Salle, según contrato laboral.

RECURSOS FINANCIEROS

La totalidad de recursos financieros a utilizar para el desarrollo de la presente investigación son:

| Item | Fuentes de financiación | | |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | Universidad de la Salle. Facultad de | Estudiante | Total |
| Materiales | \$ 47.500,00 | \$ 47.500,00 | \$ 95.000,00 |
| Tecnológicos | \$ 800.000,00 | \$ 800.000,00 | \$ 1.600.000,00 |
| Humanos | \$ 134.074,00 | \$ 134.074,00 | \$ 268.148,00 |
| Subtotal | \$ 981.574,00 | \$ 981.574,00 | \$ 1.963.148,00 |
| Imprevistos (9%) | \$ 88.341,66 | \$ 88.341,66 | \$ 176.683,32 |
| Total | \$ 1.069.915,66 | \$ 1.069.915,66 | \$ 2.139.831,32 |
| Total recursos financieros | | | \$ 2.139.831,32 |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+800 | K 2+100 | Fisuras long y transversales | 180 | 2 | 7,50 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 235 | 2 | 9,79 | | | | |
| | | Piel de cocodrilo | 78,5 | 1 | 3,27 | | | | |
| | | Descascaramiento | 197 | 1 | 8,21 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+100 | K 2+400 | Exudación | 278 | 1 | 11,58 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 145 | 2 | 6,04 | | | | |
| | | Reparcheos | 167 | 1 | 6,96 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+400 | K 2+700 | Fisuras long y transversales | 205 | 1 | 8,54 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 209 | 2 | 8,71 | | | | |
| | | Reparcheos | 47 | 1 | 1,96 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 50 | 1 | 2,08 | | | | |
| | | exudación | 79 | 1 | 3,29 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+700 | K 3+000 | Fisuras long y transversales | 245 | 2 | 10,21 | 3 | 0 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 156 | 2 | 6,50 | | | | |
| | | Exudación | 30 | 1 | 1,25 | | | | |
| | | Piel de cocodrilo | 98 | 1 | 4,08 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 137 | 2 | 5,71 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+000 | K 3+300 | Fisuras long y transversales | 198 | 2 | 8,25 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 109 | 1 | 4,54 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 136 | 1 | 5,67 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+300 | K 3+600 | Fisuras long y transversales | 235 | 2 | 9,79 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 78 | 1 | 3,25 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 47 | 1 | 1,96 | | | | |
| | | Exudación | 25 | 1 | 1,04 | | | | |
| | | Reparcheos | 19 | 1 | 0,79 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+600 | K 3+900 | Fisuras long y transversales | 135 | 1 | 5,63 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 67 | 2 | 2,79 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 179 | 1 | 7,46 | | | | |
| | | Exudación | 45 | 1 | 1,88 | | | | |
| | | Reparcheos | 23,6 | 1 | 0,98 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+900 | K 4+200 | Fisuras long y transversales | 245 | 2 | 10,21 | 3 | 0 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 169 | 2 | 7,04 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 209 | 1 | 8,71 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Av. Aqs, de Av. López Mateus puente a calle salvador | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 4+200 | K 4+500 | Fisuras long y transversales | 135 | 2 | 5,63 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 205,8 | 2 | 8,58 | | | | |
| | | Fisuras por bloque | 68 | 1 | 2,83 | | | | |
| | | Piel de cocodrilo | 3 | 1 | 0,13 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+000 | K 0+200 | Fisuras long y transversales | 156 | 1 | 9,75 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 67 | 1 | 4,19 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 135 | 2 | 8,44 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+200 | K 0+400 | Fisuras long y transversales | 134 | 2 | 8,38 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 90 | 1 | 5,63 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 145 | 2 | 9,06 | | | | |
| | | Exudación | 87 | 1 | 5,44 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+400 | K 0+600 | Fisuras long y transversales | 145 | 1 | 9,06 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 134 | 2 | 8,38 | | | | |
| | | Piel de cocodrilo | 78,9 | 1 | 4,93 | | | | |
| | | Exudación | 129 | 2 | 8,06 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+600 | K 0+800 | Fisuras long y transversales | 136 | 2 | 8,50 | 3 | 0 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 87,9 | 2 | 5,49 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 209,65 | 2 | 13,10 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+800 | K 1+000 | Fisuras long y transversales | 209,5 | 1 | 13,09 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 134,6 | 2 | 8,41 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 145,8 | 2 | 9,11 | | | | |
| | | Exudación | 38 | 1 | 2,38 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+000 | K 1+200 | Fisuras long y transversales | 109,5 | 1 | 6,84 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 23,7 | 1 | 1,48 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 87,9 | 2 | 5,49 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+200 | K 1+400 | Fisuras long y transversales | 167 | 2 | 10,44 | 3 | 1 | 4 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 89,5 | 1 | 5,59 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 123,7 | 1 | 7,73 | | | | |
| | | Exudación | 105,8 | 2 | 6,61 | | | | |
| | | Depresión | 79 | 1 | 4,94 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+400 | K 1+600 | Fisuras long y transversales | 186,3 | 1 | 11,64 | 3 | 1 | 4 | REGULAR |
| | | Piel de cocodrilo | 67,8 | 1 | 4,24 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 209,5 | 2 | 13,09 | | | | |
| | | Depresión | 108,7 | 1 | 6,79 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+600 | K 1+800 | Fisuras long y transversales | 75,9 | 2 | 4,74 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 12,6 | 1 | 0,79 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 198,3 | 1 | 12,39 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+800 | K 2+000 | Fisuras long y transversales | 89,4 | 2 | 5,59 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Exudación | 25,7 | 1 | 1,61 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 138,86 | 1 | 8,68 | | | | |
| | | Reparcheos | 80,5 | 1 | 5,03 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+000 | K 2+200 | Fisuras long y transversales | 45,9 | 1 | 2,87 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 89 | 1 | 5,56 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+200 | K 2+400 | Fisuras long y transversales | 120,4 | 2 | 7,53 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Abultamientos | 78,6 | 1 | 4,91 | | | | |
| | | Reparcheos | 87,3 | 1 | 5,46 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. 45 Norte | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+400 | K 2+500 | Fisuras long y transversales | 56,9 | 2 | 7,11 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 12,6 | 1 | 1,58 | | | | |
| | | Reparcheos | 11,45 | 1 | 1,43 | | | | |
| | | Abultamientos | 56,8 | 1 | 7,10 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+000 | K 0+200 | Fisuras long y transversales | 118,1 | 0 | 9,84 | 1 | 0 | 1 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 119,7 | 1 | 9,98 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+200 | K 0+400 | Fisuras long y transversales | 178,4 | 1 | 14,87 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 156 | 0 | 13,00 | | | | |
| | | Desintegración de bordes | 89,3 | 1 | 7,44 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+400 | K 0+600 | Fisuras long y transversales | 134,5 | 1 | 11,21 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 120 | 1 | 10,00 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 132 | 0 | 11,00 | | | | |
| | | Desintegración de bordes | 78,4 | 1 | 6,53 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+600 | K 0+800 | Fisuras long y transversales | 75 | 2 | 6,25 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 32 | 1 | 2,67 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 178,5 | 1 | 14,88 | | | | |
| | | Descascaramiento | 30 | 1 | 2,50 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+800 | K 1+000 | Fisuras long y transversales | 134,5 | 2 | 11,21 | 3 | 0 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 79,5 | 1 | 6,63 | | | | |
| | | Desintegración de bordes | 56 | 1 | 4,67 | | | | |
| | | Exudación | 123,4 | 1 | 10,28 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+000 | K 1+200 | Fisuras long y transversales | 56 | 1 | 4,67 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 12,5 | 1 | 1,04 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 126 | 0 | 10,50 | | | | |
| | | Abultamiento | 30,4 | 1 | 2,53 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+200 | K 1+400 | Fisuras long y transversales | 98,4 | 2 | 8,20 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 12 | 1 | 1,00 | | | | |
| | | Descascaramiento | 80,4 | 2 | 6,70 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+400 | K 1+600 | Fisuras long y transversales | 34 | 2 | 2,83 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 3,6 | 2 | 0,30 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 78 | 1 | 6,50 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+600 | K 1+800 | Desprendimiento de agregado | 108,5 | 1 | 9,04 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desintegración de bordes | 109,4 | 1 | 9,12 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+800 | K 2+000 | Fisuras long y transversales | 209 | 2 | 17,42 | 3 | 0 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 167,4 | 1 | 13,95 | | | | |
| | | Descascaramiento | 50,9 | 1 | 4,24 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+000 | K 2+200 | Fisuras long y transversales | 98,4 | 1 | 8,20 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 76,5 | 0 | 6,38 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+200 | K 2+400 | Desintegración de bordes | 89,4 | 2 | 7,45 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 78,9 | 1 | 6,58 | | | | |
| | | Exudación | 35,8 | 1 | 2,98 | | | | |
| | | Depresión | 50,9 | 1 | 4,24 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiatrico - Carr. Villa Hidalgo | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.5Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+400 | K 2+500 | Fisuras long y transversales | 38,6 | 2 | 6,43 | 3 | 1 | 4 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 11,5 | 1 | 1,92 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 135,4 | 2 | 22,57 | | | | |
| | | Piel de cocodrilo | 67,9 | 1 | 11,32 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+000 | K 0+300 | Fisuras long y transversales | 89,8 | 1 | 3,74 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 10,8 | 0 | 0,45 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 57,9 | 1 | 2,41 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+300 | K 0+600 | Fisuras long y transversales | 67,8 | 1 | 2,83 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 23,6 | 1 | 0,98 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 78 | 1 | 3,25 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+600 | K 0+900 | Fisuras long y transversales | 56,9 | 0 | 2,37 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 67,6 | 1 | 2,82 | | | | |
| | | Exudación | 34,9 | 1 | 1,45 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+900 | K 1+200 | Desprendimiento de agregado | 56,7 | 1 | 2,36 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Exudación | 89,6 | 0 | 3,73 | | | | |
| | | Descascaramiento | 37,5 | 1 | 1,56 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+200 | K 1+500 | Desprendimiento de agregado | 89,5 | 1 | 3,73 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras long y transversales | 38,5 | 1 | 1,60 | | | | |
| | | Descascaramiento | 25,2 | 2 | 1,05 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+500 | K 1+800 | Fisuras long y transversales | 38,5 | 2 | 1,60 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 22,2 | 1 | 0,93 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 87,5 | 1 | 3,65 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|--------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+800 | K 2+100 | | | | 0,00 | | | | BUENO |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+100 | K 2+400 | Fisuras long y transversales | 65,3 | 1 | 2,72 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+400 | K 2+700 | Fisuras long y transversales | 105,4 | 1 | 4,39 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 27,4 | 1 | 1,14 | | | | |
| | | Descascaramiento | 10,4 | 1 | 0,43 | | | | |
| | | Abultamientos | 39,6 | 1 | 1,65 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+700 | K 3+000 | Fisuras long y transversales | 54,3 | 0 | 2,26 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 29,7 | 1 | 1,24 | | | | |
| | | Exudación | 14,7 | 2 | 0,61 | | | | |
| | | Desprendimiento de bordes | 11,5 | 1 | 0,48 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|--------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+000 | K 3+300 | Exudación | 26,5 | 1 | 1,10 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Abultamiento | 50,7 | 1 | 2,11 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+300 | K 3+600 | Fisuras long y transversales | 132,4 | 1 | 5,52 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 23,5 | 1 | 0,98 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 35,8 | 1 | 1,49 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+600 | K 3+900 | Desprendimiento de agregado | 7,8 | 1 | 0,33 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Abultamientos | 46,9 | 1 | 1,95 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 3+900 | K 4+200 | Fisuras long y transversales | 74,3 | 1 | 3,10 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desprendimiento de agregado | 14,5 | 2 | 0,60 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 4.4 Km, ancho de calzada 8,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | Id | Is | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 4+200 | K 4+400 | Desprendimiento de agregado | 154,3 | 1 | 6,43 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Exudación | 37,9 | 1 | 1,58 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+000 | K 0+200 | Fisuras long y transversales | 20,9 | 1 | 1,74 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 3,87 | 0 | 0,32 | | | | |
| | | Exudación | 38,9 | 1 | 3,24 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+200 | K 0+400 | Desprendimiento de agregado | 78,6 | 2 | 6,55 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Exudación | 67,5 | 1 | 5,63 | | | | |
| | | Desintegración de bordes | 35,9 | 1 | 2,99 | | | | |
| | | Abultamiento | 25,4 | 1 | 2,12 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+400 | K 0+600 | Fisuras long y transversales | 158,45 | 2 | 13,20 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 67,4 | 1 | 5,62 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 34,2 | 1 | 2,85 | | | | |
| | | Exudación | 26,9 | 1 | 2,24 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+600 | K 0+800 | Fisuras long y transversales | 97,6 | 1 | 8,13 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 40,7 | 1 | 3,39 | | | | |
| | | Reparcheos | 12,7 | 1 | 1,06 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 0+800 | K 1+000 | Fisuras long y transversales | 109,4 | 1 | 9,12 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 23,8 | 1 | 1,98 | | | | |
| | | Exudación | 30,8 | 1 | 2,57 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+000 | K 1+200 | Fisuras long y transversales | 89,7 | 1 | 7,48 | 2 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Desprendimiento de agregado | 89,6 | 2 | 7,47 | | | | |
| | | Exudación | 40,7 | 1 | 3,39 | | | | |
| | | Abultamiento | 20,42 | 1 | 1,70 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+200 | K 1+400 | Exudación | 76,94 | 1 | 6,41 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Desintegración de bordes | 34,8 | 1 | 2,90 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregados | 59,45 | 1 | 4,95 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+400 | K 1+600 | Fisuras long y transversales | 107 | 1 | 8,92 | 1 | 1 | 3 | REGULAR |
| | | Fisuras por bloque | 89,4 | 1 | 7,45 | | | | |
| | | Exudación | 37,9 | 1 | 3,16 | | | | |
| | | Reparcheos | 18,5 | 1 | 1,54 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+600 | K 1+800 | Fisuras long y transversales | 78,56 | 1 | 6,55 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Abultamiento | 40,9 | 1 | 3,41 | | | | |
| | | Descascaramiento | 56,5 | 1 | 4,71 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 1+800 | K 2+000 | | | | 0,00 | | | 0 | BUENO |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+000 | K 2+200 | Fisuras long y transversales | 87,6 | 1 | 7,30 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Descascaramiento | 28,5 | 1 | 2,38 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+200 | K 2+400 | Fisuras long y transversales | 57,4 | 1 | 4,78 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras por bloque | 12,7 | 1 | 1,06 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 117 | 1 | 9,75 | | | | |
| | | Exudación | 38,5 | 0 | 3,21 | | | | |
| | | Desintegración de bordes | 15,8 | 1 | 1,32 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+400 | K 2+600 | Descascaramiento | 29,7 | 1 | 2,48 | 1 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Fisuras long y transversales | 75,4 | 1 | 6,28 | | | | |
| | | Abultamiento | 26,4 | 1 | 2,20 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | | | | | | | | | |
|--|---------|------------------------------|-----------|----------|-----------|----|----|----|--------------|
| Longitud del tramo 2.7 Km, ancho de calzada 6,00m | | | | | | | | | |
| ABSCISA | | TIPO DE DAÑO | AREA (M2) | GRAVEDAD | EXTENSION | If | ld | ls | CALIFICACION |
| INICIAL | FINAL | | | | | | | | |
| K 2+600 | K 2+700 | Fisuras long y transversales | 77 | 1 | 12,83 | 2 | 0 | 2 | BUENO |
| | | Exudación | 45 | 2 | 7,50 | | | | |
| | | Desprendimiento de agregado | 69,5 | 1 | 11,58 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | |

| | | |
|-----------------|------------------------------|---------------|
| Fecha: 03/12/08 | FACULTAD DE INGENIERIA | Pagina 1 de 1 |
| Hora: 3:00 pm | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | |

INFORMACION GENERAL

| | | | |
|----------------|--|-------------|----------------------------|
| Ciudad | Municipio la Escondida | Actividad | Rehabilitación superficial |
| Ubicación | Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 2.7 Km | Absisado | K 0+000 |
| Ancho tramo | 6.00 m | | |

REGISTRO FOTOGRAFICO



TIPOS DE FALLAS

Ninguna

EVIDENCIA ENCONTRADA

Se evidencia carpeta uniforme y con buena superficie de rodadura. Buen confort al transitar por la vía

OBSERVACIONES

| | | | | | |
|--|---|---|--|---|--|
|  | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  | |
| Fecha: 20/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 10 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Corregimiento de Villa Hidalgo | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - carr. Villa Hidalgo | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 2+349 | | |
| Ancho tramo | 6.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | <p>Descascaramientos, fisuras longitudinales, fisuras transversales y fisuras por bloque</p> | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>Desprendimiento de la carpeta asfáltica en la calzada derecha, fisuraciones de la carpeta en la calzada derecha, desintegración de bordes, falta de obras de drenaje superficial, deterioro avanzado de la carpeta asfáltica.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>Bajo confort y capacidad de rodadura en la carpeta rehabilitada.</p> | | | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|--|---|---|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| Fecha: 22/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 11 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags. | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 4.4 Km | Absisado | K 0+980 | | |
| Ancho tramo | 8,00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | Desprendimiento de agregados | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| Se evidencio desprendimiento del agregado y falta de obras de drenaje superficial. | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| | | | | | |

| | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
|  REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  | |
| Fecha: 22/12/08 Hora: 9:00 am | | FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | |
| Pagina 1 de 12 | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags. | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones |
| Ubicación | Carr. Mahatma Gandhi de siglo puente a Carr. 45 Sur | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 4.4 Km | Absisado | K 4+380 |
| Ancho tramo | 8,00 m | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | TIPOS DE FALLAS | |
|  | | Desprendimiento de agregados | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | |
| Se evidenció desprendimiento del agregado, falta de obras de drenaje superficial y textura rugosa en la carpeta asfáltica. | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|
|  | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  | |
| Fecha: 08/10/09 Hora: 2:00 pm | | FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | Pagina 1 de 13 | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Municipio la Escondida | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.7 Km | Absisado | K 1+269 | | |
| Ancho tramo | 6.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | Exudación en la carpeta asfáltica, desintegración de bordes | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| La exudación en la carpeta asfáltica se esta presentando en su mayoría en la calzada derecha, algunas zonas presentan desintegración de bordes, carencia de obras de drenaje superficial. . | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| Esta información se envió por correo electrónico desde la ciudad de Aguascalientes. | | | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|---|--|---|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| Fecha: 08/10/09 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 14 | |
| Hora: 10:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Municipio la Escondida | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.7 Km | Absisado | K 2+294 | | |
| Ancho tramo | 6.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | TIPOS DE FALLAS | | | |
|  | | <p>Exudación en la carpeta asfáltica, desintegración de bordes.</p> | | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>En esta zona la exudación en la carpeta asfáltica se esta presentando en ambas calzadas, se sigue presentando pequeñas desintegraciones de bordes y se aprecia carencia de obras de drenaje superficial.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>Esta información se envió por correo electrónico desde la ciudad de Aguascalientes.</p> | | | | | |

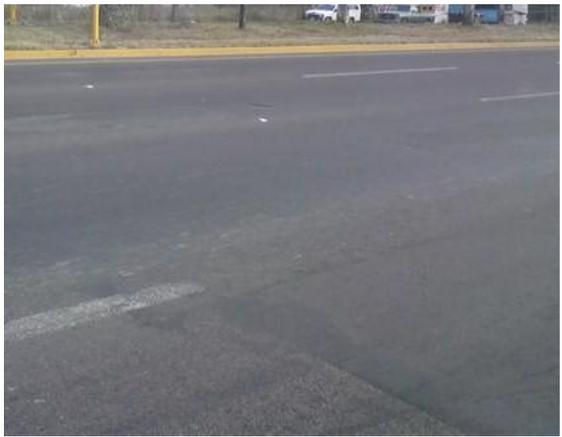
|  REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|---|--|--|----------------------------|
| Fecha: 03/12/08 | FACULTAD DE INGENIERIA | Pagina 1 de 2 | |
| Hora:3:00 pm | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | |
| INFORMACION GENERAL | | | |
| Ciudad | Municipio la Escondida | Actividad | Rehabilitación superficial |
| Ubicación | Vía entre la Autopista 45 y el municipio de la Escondida | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 2.7 Km | Absisado | K 1+300 |
| Ancho tramo | 6.00 m | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | TIPOS DE FALLAS | |
|  | | Areas sin escarificar por la maquina | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | |
| <p>Se evidencio que algunas áreas laterales de la vía no se encuentran escarificadas, por ende se esta presentando una uniformidad en los espesores de la carpeta rehabilitada.</p> | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| <p>Esta falla se puede presentar por calibración en los niveles del fresado de la maquina en la partes laterales de la vía.</p> | | | |

| | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
|  REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  | |
| Fecha: 06/12/08 Hora: 9:00 am | | FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | |
| Pagina 1 de 3 | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones |
| Ubicación | Av. Ags, de Av. López Mateus puente a calle salvador Quesada L. | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 4.5 Km | Absisado | K 2+552 |
| Ancho tramo | 8.00 m | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | TIPOS DE FALLAS | |
|  | | Fisuras longitudinales, transversales y por bloque. | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | |
| Se evidencio fisuras transversales y longitudinales, lo que esta generando una fisuración por bloque. Se aprecia en la carpeta asfáltica un deterioro progresivo. A lo largo de los 4.5 km este es el sector mas critico. | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|---|---|--|
|  REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  | |
| Fecha: 06/12/08 | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 4 |
| Hora: 9:00 am | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | |
| INFORMACION GENERAL | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones |
| Ubicación | Av. Ags, de Av. López Mateus puente a calle salvador Quesada L. | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 4.5 Km | Absisado | K 4+210 |
| Ancho tramo | 8.00 m | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS |
|  | | | Fisuras longitudinales y transversales |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | |
| <p>Se evidencio fisuras transversales y longitudinales, lo que esta generando una fisuración por bloque. Se aprecia en la carpeta asfáltica un deterioro progresivo. A lo largo del tramo rehabilitado se aprecia en varias zonas fallas por fisuraciones.</p> | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |

|  REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | |  SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|---|-----------------------------|--|--------------------------------|
| Fecha: 13/12/08 | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 5 |
| Hora: 9:00 am | POGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | |
| INFORMACION GENERAL | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones |
| Ubicación | Carr. 45 Norte | Constructor | SOP |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 0+432 |
| Ancho tramo | 8.00 m | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | TIPOS DE FALLAS | |
|  | | Fisuras longitudinales, transversales y por bloque | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | |
| <p>Se evidencio fisuras transversales y longitudinales lo que esta generando una fisuración por bloque. Se aprecia en la carpeta asfáltica con un deterioro progresivo. A lo largo del tramo rehabilitado se aprecia en varias zonas fallas por fisuraciones.</p> | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|--|---------------------|---|---|-------------------------------------|--|
| Fecha: 13/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 6 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Carr. 45 Norte | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 1+158 | | |
| Ancho tramo | 8.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | <p>Depresiones y abultamientos en la carpeta asfáltica rehabilitada</p> | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>Se evidencio fallas por deformaciones plásticas en la carpeta asfáltica como depresiones y abultamientos. Visualmente esta falla puede tener un nivel de severidad medio, pero se sugiere realizar una inspección técnica para determinar si el pavimento requiere una rehabilitación profunda.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>A lo largo del tramo rehabilitado se puede apreciar deformaciones de la carpeta asfáltica.</p> | | | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Crecer para Formar, Decidir y Servir | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|--|---------------------|---|---|-------------------------------------|--|
| Fecha: 13/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 7 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Aguascalientes, Ags | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Carr. 45 Norte | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 2+453 | | |
| Ancho tramo | 8.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | <p>Se identifico intervenciones a la carpeta rehabilitada como: sellos de fisuras y reparcheos.</p> | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>Se evidencio intervenciones posteriores a la rehabilitación por medio del reciclado <i>in situ</i> en caliente. Se puede deber a una falla estructural del pavimento lo genera un deterioro progresivo de la carpeta asfáltica.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>Las intervenciones superficiales controlan el deterioro de la carpeta asfáltica generado por fallas estructurales del pavimento. Sin embargo es necesario realizar un estudio técnico para determinar si el pavimento requiere una intervención profunda.</p> | | | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|---|--|---|--|-------------------------------------|--|
| Fecha: 20/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 8 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Corregimiento de Villa Hidalgo | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Blvd Juan Pablo II de centro Neuropsiquiátrico - carr. Villa Hidalgo | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 1+257 | | |
| Ancho tramo | 6.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | <p>Descascaramientos, fisuras longitudinales, fisuras transversales y fisuras por bloque</p> | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>Desprendimiento de la carpeta asfáltica, fisuraciones de la carpeta en el centro de la calzada, desintegración de bordes, falta de obras de drenaje superficial, deterioro avanzado de la carpeta asfáltica.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>Bajo confort y capacidad de rodadura en la carpeta rehabilitada.</p> | | | | | |

| UNIVERSIDAD DE LA SALLE Online para Todos, Decidir al Servicio | | REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y AUSCULTACION | | SOP SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS | |
|---|---|--|--|-------------------------------------|--|
| Fecha: 20/12/08 | | FACULTAD DE INGENIERIA | | Pagina 1 de 9 | |
| Hora: 9:00 am | | PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| INFORMACION GENERAL | | | | | |
| Ciudad | Corregimiento de Villa Hidalgo | Actividad | Inspección de Rehabilitaciones | | |
| Ubicación | Blvd Juan Pablo II de centro Neurosiquiatrico - carr. Villa Hidalgo | Constructor | SOP | | |
| Longitud tramo | 2.5 Km | Absisado | K 1+368 | | |
| Ancho tramo | 6.00 m | | | | |
| REGISTRO FOTOGRAFICO | | | TIPOS DE FALLAS | | |
|  | | | <p>Descascaramientos, fisuras longitudinales, fisuras transversales y fisuras por bloque</p> | | |
| EVIDENCIA ENCONTRADA | | | | | |
| <p>Desprendimiento de la carpeta asfáltica, fisuraciones de la carpeta en el centro de la calzada, desintegración de bordes, falta de obras de drenaje superficial, deterioro avanzado de la carpeta asfáltica.</p> | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| <p>Bajo confort y capacidad de rodadura en la carpeta rehabilitada.</p> | | | | | |