

GUÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE
RECICLADO EN COLOMBIA

HELEN VIVIANA CASTILLO MARTINEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PAMPLONA

2016

GUÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE
RECICLADO EN COLOMBIA

HELEN VIVIANA CASTILLO MARTINEZ

Trabajo presentado como requisito de grado para obtener el título de Ingeniero Civil.

Director:

MARCELINO MALDONADO TRIGOS

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PAMPLONA

2016

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado principalmente al omnipotente, Dios y a mi virgencita del Carmen por ayudarme y acompañarme durante toda la vida por darme inteligencia, fortaleza y sabiduría para poder sortear todos los obstáculos presentados a lo largo de todo este tiempo vivido y para así poder culminar con éxito esta carrera.

A mis padres Abel Castillo Oviedo y Nelcy Martínez Regalado. Por apoyarme, aconsejarme y guiarme durante esta etapa de mi vida ya que gracias a su colaboración y sacrificio estoy culminando uno de mis más grandes sueños.

A mis hermanos Fernando Castillo Martínez y Heidy Castillo Martínez por su comprensión, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis familiares por sus buenos deseos y colaboración durante este periodo tan importante de mi vida. A mis amigos y compañeros los cuales estuvieron en las buenas y malas conmigo brindándome su apoyo, entusiasmo y colaboración.

A la luz de mi vida, mi bebé el cual llevo en mi vientre por ser un motivo más, para luchar por lo que quiero, para salir adelante. Por ultimo al amor de mi vida mi novio Yensy Suarez por su amor desinteresado, por estar siempre en los buenos y no tan buenos momentos, por impulsarme siempre a salir adelante y por su apoyo incondicional.

Helen Viviana

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO.....	9
INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. OBJETIVO GENERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. DESARROLLO DE LA TEMATICA	15
5.1. NORMATIVIDAD	15
5.2. RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	20
5.3. VENTAJAS DEL RECICLADO COMO TÉCNICA DE CONSERVACIÓN.....	33
5.4. MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RECICLADO.....	38
6. CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Franja granulométrica de los agregados reciclados en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos.....	16
Tabla 2. Tolerancias en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo.	16
Tabla 3. Verificación periódicas sobre los agregados de adición.....	17
Tabla 4. Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos.	17
Tabla 5. Tolerancias en el material por reciclar para considerarlo homogéneo	19
Tabla 6. Ensayos de verificación sobre el material disgregación por reciclar.....	19
Tabla 7. Fallas tratadas con la tecnología	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reciclado de pavimentos flexibles	20
---	----

LISTA DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Deterioro del pavimento asfáltico.....	28
Ilustración 2. Proceso de reciclado IN SITU EN CALIENTE	30
Ilustración 3. Equipos de reciclaje de pavimentos flexibles	38

1. TÍTULO

GUÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE
RECICLADO EN COLOMBIA

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha sido precursora en el desarrollo de las nuevas tecnologías para el reciclaje de los residuos en los procesos constructivos los cuales son desechados por haber cumplido su ciclo de vida. Por lo tanto algunos de estos pueden ser reutilizados como el caso de los pavimentos flexibles, que los materiales se pueden rehabilitar.

Esta implementación se está utilizando últimamente puesto que el planeta tierra cada vez está más contaminado y por lo tanto esto afecta al medio ambiente.

La idea principal de este trabajo es investigar todo el tema referente a los pavimentos flexibles reciclados, mostrarle las ventajas y toda la información al lector sobre como mitigar el impacto ambiental que se crea por la emisión de gases que genera la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, por esto es que se está desarrollando la técnica de los pavimentos flexibles reciclados puesto que se disminuyen los materiales a utilizar y el aumenta el rendimiento de la obra.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de los países está relacionado principalmente con el buen estado de las estructuras viales, para que así puedan dar una mejor movilidad.

En nuestro país Colombia, la mayoría de las vías nacionales existentes han cumplido su vida útil o estas se han deteriorado, debido a diversos factores tales como: la adecuación de materiales de baja calidad, erróneo estudio vehicular y malo o insuficientes drenajes.

En Colombia ya se está manejando la técnica de reciclaje en pavimentos flexibles, se está utilizando por el INVIAS ya que es viable y económica para el mejoramiento de las vías. El INVIAS se dedicado a recopilar información con respecto al tema y es un tema que ha venido creciendo durante años; por otro lado la técnica del pavimento flexible reciclado reduce al impacto ambiental que es ocasionado al tirar los escombros y no reutilizarlos, puesto que este se va a reutilizar y se le agregará asfaltos en adecuadas proporciones, agregados y así se hará una nueva mezcla con resistencia, calidad y durabilidad.

A pesar de que esta técnica ha traído consigo grandes resultados habremos muchos que desconocemos los aspectos más importantes de ella y los conocimientos y documentaciones pertenecen a entidades extranjeras que difícilmente ponen al alcance de cualquiera que quiera conocer más acerca del reciclaje de pavimentos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer una guía en la cual se den a conocer los aspectos más relevantes para la recuperación de pavimentos flexibles por el método de reciclado en nuestro país.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar las normas que rigen el pavimento flexible reciclado en Colombia
- Investigar los métodos y procedimientos que se utilizan con frecuencia en la determinación de las opciones para recuperar un pavimento flexible.
- Consultar las ventajas y desventajas de la técnica de pavimentos flexibles reciclados e información que abarque el tema
- Describir los diferentes equipos utilizados para el método de reciclaje y sus características de uso.

4. JUSTIFICACIÓN

La acción continua del tránsito vehicular y el clima, generan deterioro en la estructura del pavimento, puesto que si no se atiende a tiempo podría generar un problema social ya que causaría una molestia transitar por la vía porque no se podría transitar de forma segura y confortable. La experiencia ha demostrado que la implementación de la técnica de reciclado de pavimentos flexibles cumple con los requerimientos que se necesitan, puesto que brinda la resistencia necesaria, calidad en la mezcla, es económico y es amigable con el medio ambiente.

Para la rehabilitación de un pavimento asfáltico por el método del reciclaje, los materiales deben estudiarse previamente para determinar si pueden ser recuperados y así ser procesados para producir nuevas mezclas asfálticas la cual deberá cumplir con determinadas especificaciones de tal forma que su utilización no sea causa de daños prematuros en la carretera.

La técnica del reciclaje está incrementando en nuestro país y no siempre se cuenta con material bibliográfico que brinde información teórica completa, que pueda ser aplicada a estudios previos, al diseño y ejecución de proyectos viales a ejecutarse.

El motivo principal para la realización de este trabajo es obtener una guía para informar al lector sobre las ventajas y desventajas que tienen los pavimentos flexibles reciclados, además recolectar información de los tipos más conocidos de los métodos de reciclaje; para que así puedan informarse de todo el tema referente a los pavimentos flexibles reciclados incluyendo la

normatividad. Sabiendo que la importancia está en la solución a la problemática ambiental, en el costo total de la obra y en los rendimientos pues se desea que sean los más óptimos.

5. DESARROLLO DE LA TEMATICA

5.1. NORMATIVIDAD

RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN FRÍO EN EL LUGAR EMPLEANDO LIGANTES BITUMINOSOS. ARTÍCULO 461 – 07

461.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la disgregación de las capas asfálticas y parte de la base granular de un pavimento existente, de acuerdo con las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto o indicadas por el Interventor; la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua, mejoradores de adherencia, controladores de rotura, puzolanas y otros elementos de aporte; la incorporación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado; y la mezcla, extensión, compactación y curado de los materiales tratados, de acuerdo con los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor.

461.2 MATERIALES

461.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos serán los resultantes de la pulverización mecánica de las capas de pavimento en el espesor indicado en el proyecto y ajustado por el Interventor cuando corresponda, los cuales deberán cumplir con la granulometría indicada en la Tabla 461.1.

Tabla 1. Franja granulométrica de los agregados reciclados en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
37.5 mm	1 1/2"	100
25.0 mm	1"	75-100
19.0 mm	3/4"	65-100
9.5 mm	3/8"	45-75
4.75 mm	No.4	30-60
2.00 mm	No 10	20-45
425 µm	No 40	10-30
75 µm	No.200	5-20

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

Tabla 2. Tolerancias en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo.

CARACTERÍSTICA		TOLERANCIA
Granulometría (tolerancia respecto de la masa total del material por reciclar)	Porcentaje que pasa tamiz de 2 mm y mayores (No 10 y mayores)	± 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 425 µm (No 40)	± 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 75 µm	± 3
Espesor (variación en el espesor de la capa, en mm)	Capas asfálticas	25
	Capas granulares	50

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

Tabla 3. Verificación periódicas sobre los agregados de adición.

ENSAYO		NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición			
Granulometría		E-213	1 por jornada
Dureza			
Desgaste Los Angeles (Gradación A)	- En seco, 500 revoluciones - En seco, 100 revoluciones - Después de 48 horas de inmersión 500 revoluciones	E-218	1 por mes
Micro-Deval (1)	- Agregado grueso	E-238	1 por mes
10% de finos (2)	- Seco y húmedo	E-224	1 por mes
Durabilidad			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos		E-220	1 por mes
Limpieza			
Límite líquido		E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad		E-126	1 por jornada
Equivalente de arena		E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno		E-235	cuando corresponda
Terrones de arcilla y partículas deleznales		E-211	1 por semana
Geometría de las partículas			
Partículas fracturadas mecánicamente		E-227	1 por jornada
Angularidad del agregado fino		E-239	1 por jornada
Partículas planas y alargadas		E-240	1 por semana
Resistencia			
CBR		E-148	1 por mes

(1) No es necesario en obras para vías con tránsito de diseño NT1
(2) No es necesario en obras para vías con tránsito de diseño NT1 y NT2

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

Tabla 4. Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos.

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
2.00 mm (No.10) y mayores	± 6
425 µm (No.40)	± 4
75 µm (No.200)	± 3

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

Cuando los valores obtenidos incumplan este requisito, el Constructor deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión o asfalto espumado que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la mezcla elaborada con dicho material. Ella se someterá a las pruebas mencionadas en el numeral 461.4.3.

1

¹ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo cuarto, artículo 461-07

RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN PLANTA Y EN CALIENTE

ARTÍCULO 462 – 13

462.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en el acopio y utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada; la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos y con cemento asfáltico nuevos y, de ser necesario, agentes rejuvenecedores para reciclado y otros aditivos; el eventual almacenamiento, el transporte, la colocación y la compactación de la nueva mezcla, de acuerdo con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor.

La obtención del material por reciclar mediante la disgregación de parte o de la totalidad de las capas asfálticas de un pavimento existente, según las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto o indicadas por el Interventor; el cargue del material disgregado, su transporte y su descargue en el sitio de acopio, se encuentran cubiertos por el Artículo 460.

Los tipos de mezclas asfálticas elaboradas mediante el reciclado del pavimento asfáltico en planta y en caliente se denominarán de acuerdo con lo mencionado en el numeral 450.1, Tabla 450 - 1, del Artículo 450. Así mismo, las capas asfálticas elaboradas mediante esta técnica se denominarán de la forma descrita en el citado numeral, Tabla 450 - 2, en función de su posición dentro de la estructura del pavimento.

Tabla 5. Tolerancias en el material por reciclar para considerarlo homogéneo

CARACTERÍSTICA	TOLERANCIA RESPECTO DE LA MASA TOTAL DEL MATERIAL POR RECICLAR
Composición	
Porcentaje que pasa tamiz de 2 mm y mayores (No. 10 y mayores)	± 5
Porcentaje que pasa tamices de 425 y 180 μm (No. 40 y No. 80)	± 5
Porcentaje que pasa tamiz de 75 μm (No. 200)	± 2
Contenido de asfalto (%)	± 0.5
Caracterización del asfalto recuperado	
Penetración (0.1 mm)	± 5
Punto de ablandamiento (° C)	± 3

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

Tabla 6. Ensayos de verificación sobre el material disgregación por reciclar

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición		
Granulometría	E-782	1 por jornada
Contenido de asfalto (%)	E-732	1 por jornada
Caracterización del asfalto recuperado		
Penetración del asfalto recuperado (0.1 mm)	E-706	1 por semana
Punto de ablandamiento del asfalto recuperado (° C)	E-712	1 por semana

Fuente: tomado del Instituto Nacional de vías

2

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

² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo cuarto, artículo 462-13. JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL. Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles. Bogotá:2009

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

5.2. 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.

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 Fig. 1

Figura 1. Reciclado de pavimentos flexibles



Fuente: Adaptado por el autor de Montejo.

Reciclaje superficial.

Consiste en 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. Se 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. El proceso puede adelantarse en caliente o en frío y en este último caso el agente de reciclaje, si se requiere, se aplica en forma de emulsión.

Reciclaje en el lugar (in-situ).

Conocido también como reciclaje en frío, consiste en rehabilitar el pavimento asfáltico hasta una profundidad mayor de 2.5 cm, involucrando o no el material de la capa de base. Para ello, el espesor es escarificado y el material trozado resultante es triturado hasta un tamaño adecuado y luego, mezclado con un agente de reciclaje y eventualmente con cierto porcentaje de agregado nuevo, todo como para cumplir con las exigencias de la nueva mezcla. Como su nombre lo indica, el proceso se realiza generalmente en frío y los aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes. También es posible el reciclaje in-situ con cementos asfálticos de alto grado de penetración.

Reciclaje en planta.

Denominado también reciclaje en caliente, consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material trozado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por 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 adoptado. Para ello, se agregan materiales nuevos que comúnmente incluyen un agente de reciclaje y agregado pétreo virgen, así como asfalto nuevo. La nueva mezcla en caliente se lleva al sitio de origen o al que se haya elegido para su colocación, donde se distribuye y compacta mediante métodos y equipos convencionales.

En todos los casos, la estructura resultante del trabajo de reciclaje, respondiendo al proyecto correspondiente, podrá emplearse como capa de rodadura o base, caso este último en el cual se deberá superponer una nueva capa superficial.

3

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

³ MONTEJO FONSECA ALFONSO. Ingeniería de pavimentos para carreteras

Por tal motivo la rehabilitación se puede clasificar en dos categorías.

1. **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.

Posible solución: Sobre carpetas asfálticas, fresar y reemplazar, **Reciclado de carpeta asfáltica.**

2. **Estructural:** Son problemas que se presentan en la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla de la capacidad estructural del pavimento relacionadas con deformaciones.

Posible solución: Reconstrucción total, construcción de capas adicionales, **reciclado de carpeta asfáltica y capas granuladas profundo.**

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 compactada.

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 penetración.

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 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.

4

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

⁴ JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL. Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles. Bogotá:2009

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.

En Colombia se ha implantado el sistema de reciclaje de pavimentos en frío para diversos proyectos, se pueden nombrar algunas experiencias al respecto como: En la ciudad de Bogotá se ha llevado a cabo algunos trabajos de reciclaje en frío en vías principales, tales como en la Avenida Américas, Avenida Boyacá, Avenida Lara Bonilla, entre otras.

5

Desde la perspectiva de la construcción, los procedimientos de diseño proveen una definición clara de los dos requisitos más importantes para el reciclaje:

- Las especificaciones de calidad de los materiales en la totalidad de la capa reciclada; y
- El espesor de la capa reciclada.

Evidentemente, el desempeño del pavimento rehabilitado depende del cumplimiento de estos dos requisitos básicos; ellos representan suposiciones fundamentales que se hacen para predecir la vida del pavimento rehabilitado, y cualquier omisión o error en éstas puede dar como resultado una falla prematura.

⁵ CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007.

Debido a la inmediatez de este tipo de trabajos, los proyectos de reciclaje necesitan un manejo apropiado.

Para obtener el máximo beneficio de este potencial, las operaciones de reciclaje deben manejarse con cuidado para asegurar que lo que se obtiene cumpla con los requerimientos especificados, supervisando que:

- Todos los aspectos del trabajo se analicen en detalle y se planeen meticulosamente;
- Los obstáculos al tren de reciclaje se identifiquen y remuevan a tiempo.
- La demanda de materiales (como los agentes estabilizadores) se satisfaga continuamente, y que éstos estén disponibles en el sitio de la obra a tiempo.
- La disponibilidad de la maquinaria esté garantizada mediante programas apropiados de mantenimiento preventivo.
- Los operarios y los supervisores estén entrenados adecuadamente y entiendan con claridad las diferentes facetas de la operación de reciclaje.
- Los asuntos de seguridad industrial reciban la atención que se merecen, particularmente cuando se trabaja en caliente con agentes estabilizadores bituminosos.

6

⁶ CARMEN ELENA RODRIGUEZ. Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclado, 2004

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 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 ambientales.

7

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 7 pueden ser eliminadas mediante el reciclaje *in situ* en caliente.

⁷ REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com

Tabla 7. 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

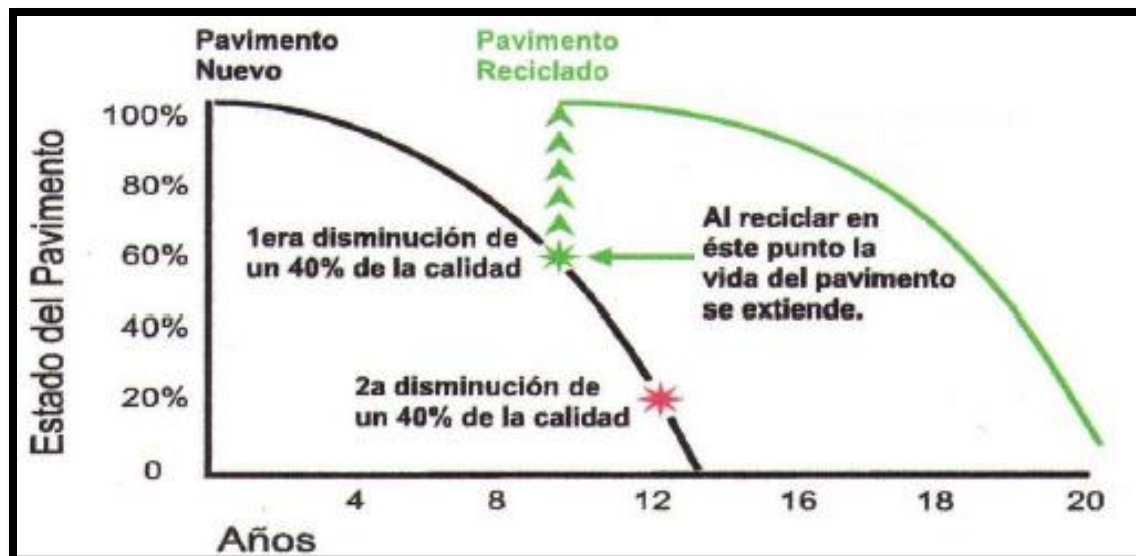
Fuente: Adaptado del autor REPAVING CUTLER

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 reconstrucción.

8

Ilustración 1. Deterioro del pavimento asfáltico

⁸ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos.



Fuente: acceso internet, Banco mundial 2010

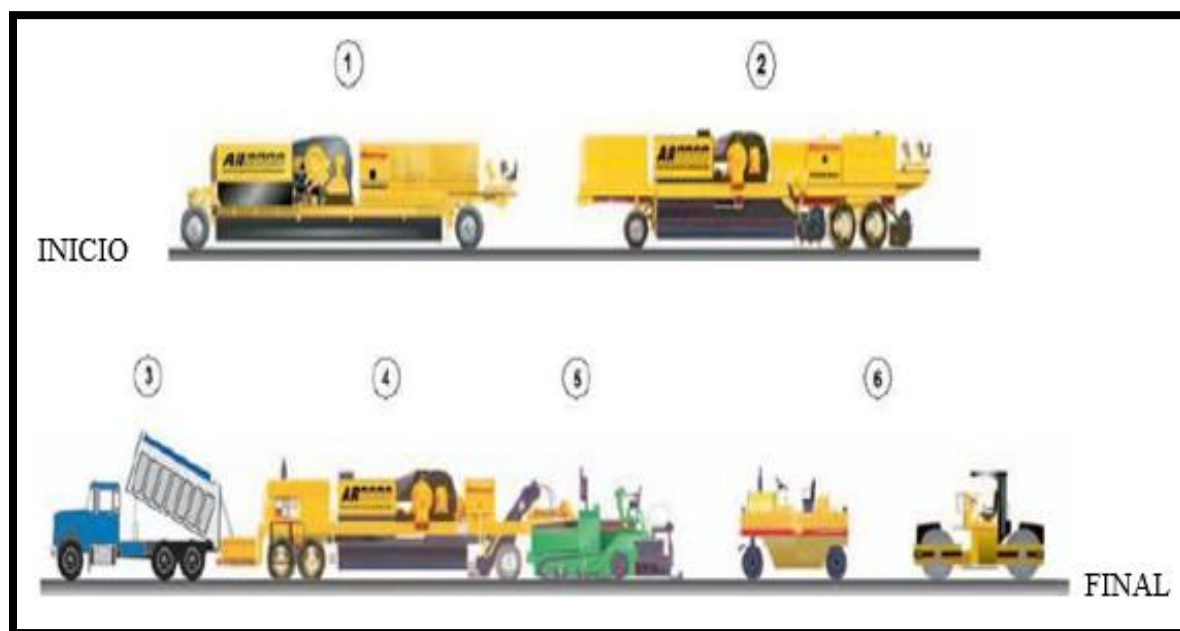
Como se muestra en la ilustración 1, el deterioro de los pavimentos de asfalto se acelera después de varios años de servicio, pero una rehabilitación a tiempo con tratamientos como la adición de una capa de rodadura o el reciclaje pueden devolver la calidad del pavimento y extender la vida útil de la carretera.

El procedimiento completo para la ejecución de los pavimentos flexibles reciclados en caliente contempla la utilización de los diferentes equipos de trabajo como podemos observar la secuencia habitual de un tren de reciclado presentado en la ilustración 2. Los diferentes equipos de trabajos 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*).⁹

⁹ MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling.

La ejecución de estos procedimientos debe cumplir con la normatividad vigente de recuperación en caliente de carpetas asfálticas para la correcta aplicación de la tecnología.

Ilustración 2. Proceso de reciclado IN SITU EN CALIENTE



Fuente: Adaptado por el autor

RECICLADO IN SITU EN CALIENTE.

Es una técnica aplicada a materiales bituminosos. El reciclado se realiza in situ con equipos especiales provistos de calefactores, que elevan la temperatura de la superficie y facilitan la disgregación del material. El elemento básico del equipo es el escarificador o fresador-calentador.

Generalmente el calentador consiste en unos paneles de rayos infrarrojos, que calientan la superficie a temperaturas entre 120°C a 160°C. Suele haber una serie de paneles que precalientan

la superficie y eliminan la humedad y en una o dos series (se reciclan 2cm o 3cm ya que suele hacerse en dos etapas) que aplican la temperatura final.

El equipo de escarificado está provisto de dientes de acero con puntas de carborundo aunque en otras veces se utilizan fresadoras convencionales.

El material suelto se mezcla con un betún blando o un agente rejuvenecedor. La mezcla puede llevarse a cabo con o sin aportación de árido nuevo, realizando la operación de mezcla el mismo equipo.

La extensión suele hacerse con una extendidora convencional que acompaña al equipo. La compactación debe realizarse muy rápidamente y es un punto crítico de la operación.

Existen tres maneras de aplicar esta técnica:

El termorreperfilado, La termorregeneración y el termorreclado.

El termorreperfilado.

Consiste en calentar, fraccionar, re mezclar y recompartar los 2cm - 3cm superiores del firme. Este se aplica para corregir ligeros deterioros superficiales también se puede aplicar como tratamiento previo a un refuerzo posterior, buscando así conseguir una buena adherencia entre las capas viejas y nuevas.

La termorregeneración.

Consiste en el calentamiento y fraccionamiento de los 3cm - 5 cm superiores del firme y la aplicación de una capa fina de refuerzo de 2cm - 3 cm con la compactación simultanea del conjunto. Este se aplica para corregir problemas de regularidad longitudinal o transversal, perdida de material superficial y por ultimo para superficie deslizantes o permeables.

El termorreiclado.

Consiste en el calentamiento y fraccionamiento del material, la adición del ligante o rejuvenecedor y si es necesario áridos nuevos. Este trata de resolver los problemas de envejecimiento del ligante o defectos de formulación de mezclas y generalmente se aplica a espesores de 4cm a 8cm.

La ventaja de este método con respecto a la técnica de reciclado en frío es que esta degrada menos los áridos, aprovecha más la capacidad aglomerante del betún de la mezcla antigua.

La desventaja de esta es que no soluciona problemas estructurales y el calentamiento oxida y fragiliza el betún.

Por otro lado los humos, las quemaduras o peligros de esta a los operarios, los sobrecalentamientos por parada de las maquinas limitan la aplicación de este método.

RECICLADO IN SITU EN FRIO.

Se realiza con equipos específicos multifunción que fresan el material y lo mezclan con agua y con el ligante seleccionado, realizando así todo el procedimiento a temperatura ambiente. Con la técnica del reciclado se pueden reciclar capas de mezcla bituminosa, de materiales granulares o tratados con cemento.

Es muy importante tener en cuenta que solo conviene reciclar materiales deteriorados y no zonas sanas puesto que estas tendrán características mecánicas superiores a la del material reciclado.

La ventaja de este método con respecto a la técnica de reciclado en caliente es la falta de emisión de humos, menos energía empleada y la posibilidad de reciclar un mayor espesor de firme.

La desventaja de esta es la falta de aprovechamiento de la capacidad de aglomerante del betún antiguo, el tiempo necesario para la abertura al tráfico, la regularidad final de la capa, puesto que lleva compactaciones difíciles en muchos casos.

10

5.3. VENTAJAS DEL RECICLADO COMO TÉCNICA DE CONSERVACIÓN.

Las técnicas clásicas tienen importantes defectos. Un firme envejecido sin problemas estructurales graves se compone de unas capas inferiores más o menos sanas y de unas capas superficiales deterioradas. La colocación sin ningún tratamiento de una nueva capa sobre la superficie envejecida (refuerzo o recrecido) hace que en el nuevo firme exista una capa intermedia deteriorada que ha perdido sus cualidades mecánicas y que constituye por tanto un elemento inútil y perturbador para su buen funcionamiento. En la actualidad, multitud de capas de rodadura colocadas en una operación de refuerzo por recrecido convencional resultan grave y prematuramente dañadas debido a su mal asiento. El reciclaje de esta capa deteriorada antes de la extensión de la nueva capa superficial asegura un buen funcionamiento estructural del conjunto del firme, una mayor durabilidad y un mejor servicio a los usuarios.

¹⁰ Ficha técnica. Reciclado de pavimentos asfálticos. 2011

El reciclado de pavimentos asfálticos supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del firme. Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales (áridos, betún, etc.), se elimina la necesidad de encontrar canteras y vertederos próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación, etc. Además, los métodos de reciclaje in situ permiten eliminar las operaciones de transporte de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un vertedero como de los nuevos desde su punto de suministro hasta la obra.

Todas estas mejoras repercuten en importantes ahorros y en un mayor respeto hacia el medio ambiente. Los métodos de reciclaje tienen otras ventajas técnicas, entre las que están las siguientes:

- Evita problemas de gálibo. La técnica clásica de recrecer el firme, utilizada de forma sucesiva puede provocar problemas asociados al crecimiento de la cota de la superficie del firme. Suele darse este problema en túneles, en ciudades (pérdida de desnivel respecto a la acera), en puntos de recogida de aguas, puede afectar a las pendientes, a la altura de la señalización vertical, etc.
- Facilita las actuaciones relativas al cambio de la geometría de la carretera. Así, se pueden hacer cambios en la alineación vertical y horizontal sin la necesidad de grandes actuaciones, cosa que sería más difícil hacer mediante técnicas clásicas.

- Optimiza los recursos disponibles. El recrecimiento de los firmes puede no optimizar los recursos, como es el caso de una vía de varios carriles, donde los deterioros se concentran en los carriles exteriores ya que por ellos circulan los vehículos pesados de forma canalizada. La técnica clásica obliga a recrecer todos los carriles, quedando sobredimensionados los centrales, mientras que las técnicas de reciclado permiten rehabilitar sólo el carril que lo necesita. Además, esta actuación permite el paso del tráfico por los carriles que no son tratados.

- Tienen un nivel de afección al tráfico menor. Es posible reciclar sólo un carril y permitir la circulación por los restantes. Además, el tiempo de ocupación de la vía es menor que el de las técnicas clásicas, ya que un firme reciclado puede generalmente abrirse al tráfico en pocas horas.

- Permite la estabilización de las capas inferiores en caso de problemas estructurales y el aprovechamiento de la capa de rodadura envejecida. Es posible reparar fallos estructurales sin necesidad de desechar los materiales existentes.

- Mejora las condiciones de adherencia superficial. Además, si el firme tiene otros deterioros superficiales, el reciclado puede resolver el problema automáticamente.

El reciclaje no es aplicable a todas las operaciones de conservación realizables. Estas técnicas pueden tener un coste económico superior al de las clásicas, pueden no ser aceptables ambiental o socialmente, o simplemente pueden no dar buenos resultados

desde el punto de vista técnico. De este modo, el análisis de los fallos es fundamental para la elección de la técnica de conservación a emplear.

11

PASOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA EL PROCESO DE UN BUEN RECICLADO EN FRÍO.

1. Planeación para el reciclaje

El éxito en el desarrollo de un proyecto de reciclaje, como en todas las operaciones de alto volumen y gran complejidad, depende de la calidad en la planeación. Antes de comenzar los trabajos, hay que analizar con cuidado cada uno de los pasos y operaciones que deben ejecutarse y, diariamente, o para cada turno, pasar este proceso al papel en forma de un plan de producción.

2. Logística.

El reciclado en frío es un proceso rápido, que implica tasas de producción elevadas y que las máquinas estén alimentadas continuamente con agentes estabilizadores, agua y agregados importados (donde esto se requiera) para alcanzar este alto rendimiento. Esta situación presenta un reto en la procura de los diferentes materiales, en especial cuando las líneas de suministro son largas o el acceso al sitio es restringido. 376

¹¹ Introducción al reciclado de pavimentos asfálticos. Capítulo 2

La demanda diaria de todos los requerimientos importados ha de calcularse con anticipación, y programar las órdenes y sus envíos de manera tal que se asegure que el proceso de reciclado estará continuamente alimentado, pues sin los suministros necesarios la producción estará restringida y será imposible alcanzar el potencial completo de rendimiento. Estimar los requerimientos de materiales importados, agentes estabilizadores y agua, requiere proyectar los cálculos con base en los objetivos de la producción diaria, como se demuestra en los siguientes ejemplos.

3. Trabajos preliminares al reciclaje.

Los trabajos preliminares al reciclaje deben realizarse a tiempo para permitir que la recicladora trabaje sin interrupciones. Detener el tren de reciclaje no solo consume tiempo valioso sino que también genera discontinuidades en el producto terminado. Al igual que las discontinuidades en otras operaciones constructivas (como la pavimentación con asfaltos), se crean áreas potenciales de falla en el pavimento; por esta razón deben evitarse, siempre que sea posible.

En los proyectos de reciclaje frecuentemente se requieren cuatro tipos de trabajos preliminares. Cada uno es considera por separado en las siguientes secciones.

4. Operación de reciclaje

Esta etapa comprende todos aquellos procesos constructivos que dan como finalización el pavimento rehabilitado:

- Extensión del agente estabilizador
- Avance del tren de reciclaje
- Nivelación de la superficie
- Compactación.
- Acabado de la superficie.

5.4. MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RECICLADO.¹²

Ilustración 3. Equipos de reciclaje de pavimentos flexibles



Carro tanque de agua



Recicladora WIRTGEN

¹² CARMEN ELENA RODRIGUEZ. Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclado, 2004



Recicladora CAT



Carrotanque de asfalto



Motoniveladora



Compactador cilindro



Compactador de llantas neumáticas



Pavimentadora

CARROTANQUE DE AGUA.

La mayor parte de las operaciones de reciclaje, que incluyen agentes estabilizadores, necesitan la adición de agua para alcanzar el contenido de humedad para la cual se obtiene la compactación requerida.

Usualmente el Carrotanque de agua es el primer vehículo del tren y, por tanto, la manguera de suministro de este líquido es la más larga. Para prevenir la interrupción del flujo, el diámetro interno mínimo de todas las mangueras de suministro debe ser de 100 mm. Las mangueras tienen que ser flexibles y no colapsar bajo succión.

RECICLADORA WIRTGEN

Con una Wirgent queda eliminada la necesidad de una motoniveladora, debido a la regla montada en la máquina sobre orugas mientras que la motoniveladora si se requiere cuando se utiliza la RC 250, pero el uso de una u otro tipo de maquinaria dependerá de la disponibilidad y necesidad de quien ejecute la obra.

CARROTANQUE DE ASFALTO

Todos los tipos de agentes estabilizadores asfálticos necesitan Carrotanque para alimentar la recicladora, los cuales deben seleccionarse cuidadosamente con el objeto de evitar problemas. A menudo, el transporte de asfalto lo realizan terceros, quienes pueden tener diferentes tipos de Carrotanque, algunos de ellos adecuados para trabajar como parte de un tren de reciclaje.

MOTONIVELADORAS

Éstas deben ser lo suficientemente potentes para esparcir, colocar y nivelar el material reciclado.

Las siguientes especificaciones pueden usarse como guía:

- Motor de potencia de 100 Kw.
- Cuchilla de 3,66 m de longitud, con bordes reemplazables.
- Altura de la cuchilla de 610 mm; y
- Controles hidráulicos para una velocidad constante de ubicación de la cuchilla

COMPACTADORES

Al compactar un material estabilizado, el objetivo es reducir los huecos llenos de aire y agua, incrementando la densidad y, por lo tanto, la capacidad portante de una capa. Para la compactación de capas estabilizadas, normalmente se emplean Compactadores mono tambor en combinación con compactadores de neumáticos.

13

-
- ¹³ CARMEN ELENA RODRIGUEZ. Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclado, 2004

6. CONCLUSIONES

❖ El trabajo presentado ha ayudado en el enriquecimiento y conocimiento de nuevas ideas referente al tema de pavimentos flexibles reciclado tales como los métodos existentes, la aplicación que se le da a este. Gracias a esto se puede diferenciar el tipo de reciclado, los equipos a utilizar, los materiales que cada uno utiliza y las funciones que tienen.

❖ Después de haber hecho una investigación de la normatividad existente que rige el pavimento flexible reciclado, se puede concluir que se deben tener en cuenta estas para determinar los materiales a utilizar, la calidad de la mezcla asfáltica y los ensayos de verificación sobre el material disgregación por reciclar.

❖ Después de haber hecho una investigación sobre los métodos y procedimientos que se utilizan con frecuencia para el reciclaje de pavimentos flexibles, se concluye que:

Para la técnica del reciclado en frío no es conveniente utilizarla cuando el pavimento está muy antiguo puesto que se pueden encontrar en la base de la estructura piedras muy grandes por lo que hace difícil el trabajo y muy costoso.

Para la técnica del reciclado en caliente es recomendable aplicarlo solo si la capa superficial (carpeta asfáltica) está deteriorada de lo contrario no habrán los resultados esperados.

Como ya se sabe el reciclado en caliente solo mejora la carretera para una brindarle una mejor comodidad.

- ❖ Las técnicas de reciclaje de pavimentos pueden ser supervisadas eficientemente por controles de calidad tanto al momento de correcciones en la mezcla extraída como al momento de colocar la nueva mezcla. Sabiendo que se debe tener en cuenta que deber ser amigable con el medio ambiente.

- ❖ Los equipos que se utilizan para el reciclado de pavimentos flexibles son indispensables para el proceso de realización ya que sin estos sería más costoso, más tiempo invertido, más esfuerzo, diría que hasta imposible poder ejecutar la construcción sin la maquinaria necesaria, por tanto es muy importante saber que equipos serán los necesarios para poder implementarlos en la obra y culminar esta con éxito.

- ❖ La compactación de una carretera para la rehabilitación por el método del reciclaje no presenta cambios en el proceso. Se debe tener el mismo cuidado como si se tratara de una nueva carretera.

- ❖ la recicladora en caliente, puede prescindir del uso de otros equipos, ya que está tritura el pavimento, corrige sus propiedades, lo mezcla y lo coloca uniformemente dejándolo listo para su compactación.

RECOMENDACIONES

- Para la aplicación de los métodos para el reciclaje de pavimentos flexibles es recomendable que se revise el proceso constructivo con el cual se colocara la capa de rodadura sobre la capa de re niveladora del material reciclado.
- Es recomendable indagar sobre el grado de envejecimiento que tenga el pavimento a reciclar pues depende de este se hace la escogencia del método a utilizar y se quiere obviamente que sea la correcta, para de esta manera garantizar que el método escogido cumpla de manera eficaz con su finalidad.
- Considerando que existen varios tipos de asfalto, se recomienda investigar sobre los usos de estos en los procesos de reciclaje tanto en frío como en caliente, para así tener claro el tipo de material que se va a implementar para que este pueda brindar la mejor calidad.
- Sería muy bueno que le dieran aún más importancia a la nueva tecnología que es los pavimentos flexibles reciclado, donde haya más investigación y que se planteen más construcción de rehabilitaciones de carreteras por cualquiera de los métodos ya existentes ya que este es más económico, ayuda en la parte del medio ambiente con respecto a aplicar un nuevo pavimento, en fin trae muchos beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capitulo cuarto, articulo 462-13
- JUAN CARLOS SANCHEZ ANGEL. Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles. Bogotá:2009
- MONTEJO FONSECA ALFONSO. Ingeniería de pavimentos para carreteras
- ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007
- CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. Escuela Colombiana de Ingeniería. Reciclaje de Pavimentos. Bogotá: 2007
- REPAVING CUTLER. Asphalt recycling technology. www.cutlerrepaving.com
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. Mantenimiento de pavimentos.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS) y MINISTERIO DE TRANSPORTE.
- <http://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/831-reciclado-del-pavimento-una-tecnica-viable-y-economica-para-las-vias>
- MARTEC RECYCLING CORPORATION. Innovation in hot in-place recycling.

- Ficha técnica. Reciclado de pavimentos asfálticos, 2011
- Introducción al reciclado de pavimentos asfálticos. Capítulo 2
- Jorge Alarcón Ibarra. Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente. Capítulo 3
- CARMEN ELENA RODRIGUEZ. Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclado, 2004
- Manual de Reciclaje en Frío Wirtgen, Wirtgen GMBH. Segunda edición revisada, septiembre 2001.
- Manual de reciclaje en frío Wirtgen, 2da Edición, Septiembre 2001