



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA
ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA,
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN

Ing. Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey
Asesorado por Ma. Ing. César Augusto Castillo Morales

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA
ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA,
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ING. VÍCTOR GABRIEL ROLANDO MENDOZA CAMEY

ASESORADO POR: Ma. ING. CESAR AUGUSTO CASTILLO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES INGENIERIA VIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÒ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

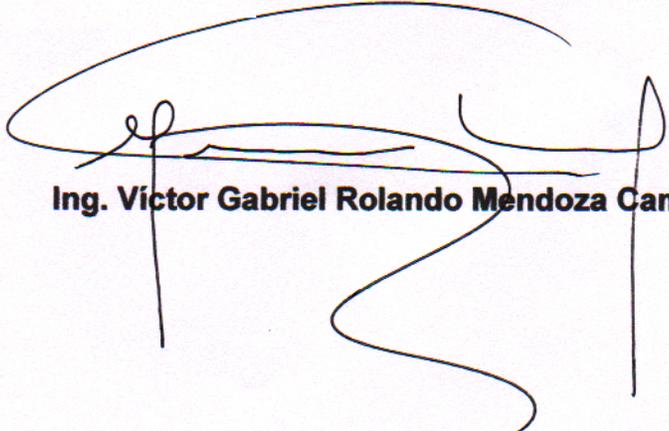
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Msc. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA, PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha julio de 2014.



Ing. Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



Ref. APT-2015-036

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría Ingeniería Vial titulado: **“MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA, PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN”**, presentado por el Ingeniero Civil **Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

“Id y Enseñad A Todos”

Ing. Angel Roberto Sic Garcia
DECANO

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

APT-2015-036

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **"MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA, PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN"** presentado por el Ingeniero Civil **Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey** correspondiente al programa de Maestría en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad A Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Septiembre de 2015.

Cc: archivo
/la



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

APT-2015-036

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de graduación titulado **"MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA, PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN"**, presentado por el Ingeniero Civil **Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad A Todos"

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Septiembre de 2015.

Cc: archivo
/la



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

APT-2015-036

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del Trabajo de Tesis titulado **“MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA, PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE REGULARIZACIÓN”**. Presentado por el Ingeniero Civil **Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“Id y Enseñad A Todos”

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Revisor(a)
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Septiembre de 2015.

Cc: archivo
/la

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Principio de toda sabiduría, gracias por brindarme la vida y permitirme alcanzar mis metas
Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Estudios de Postgrado	Por abrir sus puertas, trasmitirme los valiosos conocimientos para alcanzar un sueño importante en la vida.
Ma. Ing. César Augusto Castillo Morales	Por su valiosa asesoría de manera desinteresada para la elaboración del presente trabajo de graduación.
Covial	Por todo el apoyo.
Ingenieros catedráticos	Al transmitir sus conocimientos fortalecen nuestra vida profesional.
Ingenieros colegas y compañeros	Por su apoyo y amistad.
Mis padres	Santos Gabriel Mendoza, Dora Ercilia Camey Say de Mendoza, por su sacrificio, esfuerzo, apoyarme en todo momento para alcanzar mis metas, por sus sabios consejos.

Mi esposa

Rosa Eugenia Juárez Ortiz, eres mi complemento, una mujer fuerte y valiente. Sin tu gran amor, apoyo, comprensión, este sueño no fuera posible.

Mis pastores y suegros

Miguel de los Ángeles Juárez, Rosa Ortiz Lucas, por apoyarme y aconsejarme.

Mis hermanos

Lourdes, Josué y Alex, por compartir los mejores momentos de nuestra niñez.

Mis familiares

Por brindarme su amistad en los momentos difíciles.

La familia de mi esposa

Por su apoyo y gran amistad.

Mi familia en Cristo

Los aprecio y bendigo a cada uno.

Mis amigos

A todos en general, gracias por su apoyo en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
BREVE DESCRIPCIÓN DEL INFORME METODOLÓGICO.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXIX

1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

1.1. Pavimento.....	1
1.2. Pavimento flexible	1
1.2.1. Sub rasante.....	2
1.2.2. Sub base	2
1.2.3. Base.....	3
1.2.4. Carpeta de rodadura.....	3
1.3. Tipos de pavimentos flexibles.....	3
1.3.1. Mezcla asfáltica en frío.....	4
1.3.2. Mezcla asfáltica en caliente	4
1.3.3. Tratamiento superficial.....	4
1.3.4. Sellos asfálticos.....	5
1.4. Ventajas y desventajas de un pavimento flexible.....	5
1.4.1. Ventajas.....	5
1.4.2. Desventajas.....	5

1.5.	Aspectos importantes de los pavimentos flexibles.....	6
1.5.1.	Vida de un pavimento flexible	6
1.5.2.	Mecanismos de deformación.....	6
1.6.	Intervenciones que pueden realizarse a un pavimento flexible.....	6
1.6.1.	Mantenimiento.....	6
1.6.2.	Mejoramiento.....	7
1.6.3.	Rehabilitación.....	7

2. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1.	Lechada asfáltica (Slurry seals).....	10
2.2.	Tratamientos asfálticos superficiales.....	10
2.3.	Recapeo.....	11
2.4.	Microsurfacing.....	12
2.5.	Recuperación, escarificación, compactación del pavimento existente.....	13
2.6.	Método RAP.....	13

3. MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP)

3.1.	Antecedentes	15
3.2.	Por que reciclar	17
3.3.	Definición de RAP.....	18
3.4.	Técnicas de reciclado.....	20
3.4.1.	Reciclado en planta (en caliente).....	20
3.4.1.1.	Proceso constructivo	21
3.4.1.1.1.	Demolición	21

3.4.1.1.2.	Perfilado o fresado del pavimento	21
3.4.1.1.3.	Demolición en bloques	22
3.4.1.1.4.	Trituración	22
3.4.1.1.5.	Cribado (Clasificación)	22
3.4.1.1.6.	Análisis de los materiales	22
3.4.1.1.7.	Proceso en planta en caliente	23
3.4.1.1.8.	Capacidad instalada de plantas en caliente en Guatemala	28
3.4.2.	Reciclado en planta (en frío)	29
3.4.3.	Reciclado <i>in situ</i>	30
3.4.3.1.	Reciclado <i>in situ</i> (en caliente)	30
3.4.3.2.	Reciclado <i>in situ</i> (en frío)	32
3.4.3.2.1.	Capacidad instalada de maquinaria para reciclar en frío	37
3.5.	Ventajas del reciclado de pavimentos	38
3.6.	Aplicación del método RAP en la rehabilitación de carreteras en Guatemala	39
3.7.	Formas de reutilización del pavimento	40
3.8.	Condiciones de aplicación.....,,,,,,,,,,,,,	41
3.9.	Condiciones de uso	46
3.9.1.	Condiciones de asfalto	47
3.9.2.	Condiciones climáticas.....	48
3.9.3.	Condiciones topográficas	48
3.9.4.	Condiciones ambientales.....	48
3.9.5.	Condiciones de tránsito	49
3.9.6.	Condiciones económicas.....	49

4. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA EXISTENTE SOBRE EL RAP

4.1. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Septiembre 2001, Guatemala	53
4.2. Especificaciones especiales –COVIAL- 2013 vigentes.....	55
4.3. American Association of State Highway and Transportation Oficial (AASHTO) 1993.....	56
4.4. Manual Centroamericano Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA) 2004.....	57
4.5. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA) 2010.....	63
4.6. Instituciones y normativa.....	66

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Conocimiento del método de reciclado de pavimentos	68
5.2. Utilidad del material proveniente del fresado	68
5.3. Beneficio para el país al utilizar RAP o reciclado de pavimentos en mezclas asfálticas	69
5.4. Supervisión de rehabilitación de carreteras en diferentes condiciones climáticas	70
5.5. La incidencia de la topografía en la rehabilitación de carreteras	71
5.6. Conocimiento del deterioro que debe tener la estructura del pavimento para aplicar RAP	72
5.7. Capacidad y tecnología en Guatemala para aplicar el método RAP	73

5.8.	Recomendación del uso del RAP más que una mezcla diseñada con materiales vírgenes	74
5.9.	El RAP cumple con Normativa Ambiental	75
5.10.	Dificultades con el tránsito al utilizar RAP	76
6.	ANALISIS DE RESULTADOS	
6.1.	Encuestas	79
6.2.	Entrevistas e información de congreso de asfalto CILA 2013 ...	83
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	ANEXOS	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Capas que componen el pavimento flexible	2
2.	Aplicación de Lechada Asfáltica. Autopista Palin-Escuintla kilometro 25.....	10
3.	Aplicación de riego para tratamiento superficial.....	11
4.	Recapeo, tramo RD-PET-01-01 SAN BENITO EL RECREO.....	12
5.	Aplicación de microsurfacing. Aldea el Jocotillo.....	13
6.	Proceso de fresado para rehabilitación	14
7.	Control de concreto asfáltico en caliente, mezcla sin RAP.....	26
8.	Control de concreto asfáltico en caliente, mezcla con RAP.....	27
9.	Cámara de expansión.....	34
10.	El proceso de reciclaje de pavimentos	35
11.	Tren reciclador con mezclador de lechada	36
12.	Tren reciclador con mezclador de lechada y camión de asfalto.....	37
13.	Alternativa de rehabilitación para falla estructural	45
14.	Alternativa de rehabilitación para falla estructural en capas superiores	45
15.	Alternativa de rehabilitación para falla por asentamiento de la estructura	46
16.	Resultados software Decision Analyst STATS 2.0	67
17.	Conocimiento de método de reciclado de pavimentos	68
18.	Utilidad del material proveniente del fresado	69
19.	Beneficios de utilizar RAP en mezclas asfálticas	70
20.	Supervisión en diferentes condiciones climáticas.....	71

21.	Afecta la topografía de la carretera en la rehabilitación.....	72
22.	Conocimiento del grado de deterioro para aplicación del método RAP	73
23.	Capacidad y tecnología en Guatemala para aplicación de RAP	74
24.	Recomendación del uso del RAP	75
25.	El RAP cumple con Normativa Ambiental	76
26.	Dificultades al aplicar el método RAP	77

TABLAS

I.	Datos de control de calidad con y sin RAP	28
II.	Media de 60 producciones, control de calidad y comparación entre mezclas tipo E 12.5 mm, 30 producciones con y sin RAP	28
III.	Opciones recomendadas de reciclaje según el estado del pavimento	44
IV.	Costos unitarios de mezcla asfáltica en planta convencional.....	51
V.	Costos unitarios de mezcla asfáltica utilizando 20 % de RAP.....	52
VI.	Requisitos del cemento asfáltico	54
VII.	Especificaciones del cemento asfáltico	56
VIII.	Incorporación porcentual de RAP.....	57
IX.	Requerimientos de caras fracturadas	59
X.	Angularidad del agregado fino.....	59
XI.	Partículas chatas y alargadas	59
XII.	Muestreo y ensayo	61
XIII.	Requerimientos para mezcla asfáltica procesada en frío, para capas de base incorporando material reciclado	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
° C	Temperatura medida en grados centígrados
c/u	Cada uno
Cm	Centímetros
CQS-1h	Emulsión asfáltica cationica de quiebre controlado, color café, estado normal líquido
CSS-1	Emulsión asfáltica cationica de quiebre lento, de residuo blando, color café obscuro, estado líquido
CSS-1h	Es una emulsión asfáltica cationica de rompimiento lento, una mezcla de cemento asfáltico y agua
° F	Temperatura medida en grados Fahrenheit
W18	Carga de eje de 18,000 lb
Kg	Kilogramo: 1,000 gramos
Kg/m ²	Kilogramo por metro cuadrado
Km	Kilómetros: 1,000 metros
Km/h	Kilómetros por hora
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
Kip	Mil libras por pulgada cuadrada (453.6 Kg)
No.	Número
Po	Nivel de servicio inicial del pavimento
Pf	Nivel de servicio final del pavimento
Q.	Quetzales, moneda de Guatemala

QS	Emulsión asfáltica de rompimiento acelerado
QS-1h	Emulsión aniónica de rompimiento acelerado utilizado para sistemas de sellado
SS	Emulsión asfáltica de rompimiento lento
SS-1	Emulsión asfáltica aniónica de rompimiento lento, residuo blando, color café oscuro y estado líquido
SS-1h	Emulsión asfáltica aniónica de rompimiento lento, de Residuo duro, es utilizable como riego de liga
Ton	Tonelada

GLOSARIO

- Agregado:** Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- Ahuellamiento:** Es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos.
- Base:** Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.
- Carga:** Peso sostenido por una estructura.
- Carpeta o superficie de rodadura:** La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.

- Deformación:** La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo, debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.
- Emulsión Anionica:** Son las emulsiones asfálticas que derivan su nombre cuando al introducir dos electrodos en ellas y pasar una corriente eléctrica, los glóbulos de asfalto se dirigen hacia el ánodo, lo que significa que tiene carga negativa y es compatible con materiales pétreos electropositivos como las calizas y los basaltos.
- Emulsión Cationica:** Son las emulsiones asfálticas que derivan su nombre cuando al introducir dos electrodos en ellas y pasar una corriente eléctrica, los glóbulos de asfalto se dirigen hacia el cátodo, lo que significa que tiene carga positiva y es compatible con materiales pétreos electronegativos de naturaleza silicosa (cuarzo)
- Escarificación:** Realizar en la carretera un proceso de raspado o incisiones para facilitar el pegado de una capa sobre el pavimento existente.
- Equipo:** Toda la herramienta o maquinaria, necesaria para ejecutar una actividad de mantenimiento en la Red Vial.

Extendededor:	Las operaciones de extensión y compactación de todas los tipos de mezclas asfálticas en caliente responden a un fin común, en un dispositivo móvil.
Fresado:	Se refiere a la actividad de levantado de carpeta asfáltica dañada, realizado con equipo de corte llamado fresadora.
Ligante:	Partículas de un compuesto adhesivo que ligan y mantienen unidos dos elementos.
Mejoramiento:	Ejecución de las actividades necesarias para dotar a una carretera existente de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor nivel de servicio.
Mantenimiento:	Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra.
NCDOT	North Carolina Departament of Transportati6n (Departamento de Transporte de Carolina del Norte)
Pavimento:	Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas

del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Pavimento flexible:

Tipo de pavimento compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base, con un período de vida de entre 5 y 10 años.

RAP

Recycled Asphalt Pavement (Pavimento Asfalto Recuperado o Reciclado)

Rasante:

El trazo horizontal que determina el nivel superior, sobre la línea central, que se proyecta mantener a lo largo de la carretera. Muestra la elevación y la pendiente del trazo proyectado.

Rehabilitación:

Conjunto de actividades destinadas para habilitar de nuevo o restituir una carretera a su condición inicial. También se considera que es la reconstrucción y recuperación de una carretera.

Sub-base:

Las capas de material especificado de espesor establecido según el valor soporte de la sub-rasante, sobre ésta, para sostener la capa de base superior.

RESUMEN

La rehabilitación de las carreteras es un punto principal en la política vial de Guatemala y que se maneja a través del Plan de Desarrollo Vial 2008-2017, PDV, propuesto por la Dirección General de Caminos. Por tal razón, es importante dar a conocer un método alternativo para rehabilitar carreteras que involucre material reciclado, mismo que permitirá grandes ventajas y economías, y que su eficiencia ha sido comprobada en otros países.

El método Reclaimed Asphalt Pavement, RAP, consiste en extraer los materiales que conforman la carpeta asfáltica por medio de fresado y re utilizarlos como proceso *in situ* o en planta, esto representa ventajas, entre las que predomina la disponibilidad de la calidad y granulometrías de los agregados, del bitumen asfáltico, la reducción de los costos tanto de mano de obra como del equipo a utilizar, del acarreo de material a los vertederos, la reducción de contaminación ambiental.

El reciclaje de carpeta asfáltica en nuestro país ya comenzó a utilizarse, pero por aquellas empresas que son pioneras en la investigación y que tienen la capacidad económica para incorporar tecnología y adquirir la maquinaria necesaria.

Es posible el uso del método ya sea como reciclado en planta o *in situ*, depende de las condiciones o el deterioro que tenga la carpeta de rodadura y las capas subyacentes.

OBJETIVOS

General:

Describir las ventajas técnicas y económicas del método Reclaimed Asphalt Pavement (Pavimento de Asfalto Reciclado o Recuperado, RAP) para promover su uso en Guatemala, en la rehabilitación de carreteras con carpeta de rodadura de pavimento flexible.

Específicos:

1. Determinar el conocimiento que tienen los profesionales que se dedican al mantenimiento de carreteras, acerca del método RAP.
2. Realizar un análisis de normativa existente en Guatemala, para la rehabilitación de carreteras utilizando RAP, para incentivar la aplicación del método.
3. Describir las características, procesos y ventajas de utilizar RAP para rehabilitación de carreteras en Guatemala.
4. Determinar la capacidad instalada actual en Guatemala para la rehabilitación de carreteras con método RAP.
5. Presentar un análisis comparativo de costo por tonelada métrica fabricada en planta, de una rehabilitación de carretera utilizando el método RAP y un método convencional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección General de Caminos, DGC, en el año 2012, el tamaño de la Red Vial de Guatemala era de 16,293 kilómetros, 7,247 kilómetros están pavimentados, de los cuales 7,068 kilómetros son de concreto asfáltico.

Este pavimento asfáltico presenta deterioro, lo que en muchos casos se debe a que ya cumplió el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado, período que oscila entre 5 a 10 años.

Cada año, la DGC planifica la rehabilitación de tramos que componen la red vial, sin considerar políticas novedosas para el aprovechamiento de materiales que pudieran ser reutilizados, tal es el caso del material proveniente de la carpeta de rodadura cuando se realiza la actividad de fresado. Este recurso que no se está aprovechando para reciclar, podría en muchos casos, disminuir los costos de rehabilitación, cuyo ahorro aproximado es de más de Q 70.00 por tonelada, incorporando el 20 % de RAP en la mezcla asfáltica fabricada en planta.

La metodología RAP ha sido manejada en otros países con buenos resultados, derivado de una política para el aprovechamiento de los recursos existentes y el reciclaje de materiales que pueden ser utilizados nuevamente.

Se ha observado que en Guatemala, dicha política, no existe en la planificación de los proyectos de rehabilitación, a menos que sea el contratista en conjunto con el Supervisor, quienes le proponen al Estado la utilización de

esta metodología, a fin de aprovechar mejor los recursos físicos y financieros del proyecto. Esto puede significar que por falta de investigación y desconocimiento de dicha tecnología, no se impulse su uso a nivel nacional, no obstante los beneficios del aprovechamiento de materia prima existente, reducción de explotación de bancos de materiales, así como de los costos al utilizar menos la cantidad de materia prima en la nueva estructura del pavimento.

Según Cancinos (2013), la rehabilitación de carreteras utilizando la metodología tradicional, consiste en el retiro total de la estructura de la carpeta asfáltica existente, la que es transportada a vertederos de material de desperdicio, para luego restituirla por una totalmente nueva con materiales vírgenes. A simple vista, esto supone grandes inversiones dentro del proceso constructivo, lo cual repercute en un desperdicio de materiales que pudieran ser reutilizados, en sobre explotación de bancos de materiales, los cuales son cada vez más escasos lo cual provoca un deterioro ambiental, a la vez que siguiendo los procesos tradicionales, sigue vigente un rezago en el avance tecnológico de nuevas tecnologías.

Por lo anterior, es importante entender que en el proceso constructivo, hay fases que pueden ser replanteadas para optimizar los materiales existentes y según la experiencia de otros países, pueden ser introducidos y aprovechados en Guatemala.

El método RAP ha significado tanto en América Latina, como Europa, grandes avances tecnológicos, ya que la maquinaria y el equipo cada día es más eficiente y especializada, así como más amigable con el medioambiente, al disminuir el consumo de nuevos materiales y reducir la extracción de materiales para la fabricación de mezclas asfálticas para la rehabilitación de carreteras.

En los Estados Unidos, el RAP se utiliza desde los años 70 y según un estudio realizado por la Federal Highway Administration (FHWA) y la Asociación Nacional de Pavimentos de Asfalto (NAPA) del año 2009 al año 2011, el asfalto es uno de los materiales más reciclados, aproximadamente el 98 % de los contratistas utilizan RAP en mezclas asfálticas, que representa cerca de 66.7 millones de toneladas en el año 2011.

Por lo anterior, es de suma importancia realizar un estudio técnico y de costos, que incentive la implementación de la metodología RAP, a fin de conocer sus ventajas y recomendarlo como un método factible que pueda aplicarse en Guatemala, una vez se dote de la capacidad instalada necesaria.

Cabe mencionar que en marzo de 2015, se realizó una conferencia en el Colegio de Profesionales, organizado por el Colegio de Ingenieros de Guatemala, CEDUCA y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el que autoridades del Fondo Vial de El Salvador mostraron con resultados comprobables, a través del seguimiento a trabajos realizados en una carretera de prueba, que el reciclado de carpetas asfálticas es un método que les ha permitido optimizar los recursos disponibles, debido principalmente a la escasez de bancos de materiales. Por otra parte, conscientes de que poseen agregados y bitumen de una carpeta existente, pueden ser reutilizables en una carretera nueva de bajo tráfico o como sub base para luego colocar un asfalto modificado.

Como caso práctico, mencionan que el 70 % de la carretera que atraviesa el litoral del pacifico ha sido reciclada. Además indican que los contratos recientes de rehabilitación de carreteras especifican utilizar RAP *in situ*, como carpeta asfáltica para carreteras de bajo tráfico o como sub base,

para luego estabilizar y colocar un asfalto modificado. En otros casos, el material que proviene del fresado también es triturado, trasladado y colocado en un tramo de carretera no pavimentada, permitiendo incluso no utilizar material de balasto.

Además han realizado una estrategia dentro del Fondo Vial, llamada campaña Geotécnica, en donde determinan los espesores de capa de la estructura del pavimento y de carpeta asfáltica de una carretera, esto con el fin de saber cuánto espesor se puede reciclar de una carretera, proceso que se realiza con un estricto control de calidad.

Con esta propuesta, se ve que el Fondo Vial de El Salvador ha implementado nuevas tecnologías para resolver la carencia de banco de materiales y evitar contaminación del ambiente, a medida que tienen un ahorro económico considerable y así como un día imitaron las políticas que Guatemala utilizaba para el mantenimiento y rehabilitación de carreteras, ahora se podrá tomar las buenas referencias de su expertaje, para ser implementadas en nuestro país.

Todo lo anterior servirá para plantear la pregunta central de la presente investigación: ¿Cuáles son las características técnicas del método RAP para la rehabilitación de carreteras en Guatemala y si incide directamente en la reducción de costos de construcción?

Asimismo, definimos las preguntas auxiliares:

1. ¿Cuál será el conocimiento actual de los profesionales en carreteras acerca del método RAP?

2. ¿Existen normativas para la aplicación de la metodología RAP?
3. ¿Se conocen las características, procesos y ventajas de utilizar la metodología RAP para rehabilitar carreteras?
4. ¿Se tendrá la capacidad instalada para realizar RAP por parte de empresas nacionales?
5. ¿Existirán parámetros de comparación de costos de una mezcla asfáltica en planta, diseñada de manera convencional y una mezcla asfáltica utilizando RAP?.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL ENFOQUE METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, ya que con la información que se obtenga directamente de las encuestas y entrevistas, se procederá a realizar un análisis sin que pueda realizarse algún tipo de manipulación de los datos obtenidos, Adicionalmente es de tipo cualitativo a nivel exploratorio, porque conforme a la información proporcionada en las encuestas del año 2013 que fueron respondidas por supervisores de COVIAL, se determinó que es un tema poco estudiado y del cual no se tiene mucha documentación. Finalmente, se maneja el tipo descriptivo porque en cierta manera se podrán especificar, no ha profundidad, las propiedades y características del pavimento utilizando RAP.

Por medio de dicha encuesta de respuesta cerrada, se mostraron resultados simples, determinando un porcentaje del 20 % en cuanto al conocimiento del método RAP, considerado como bajo; dando lugar a la importancia de la presente investigación.

Se describen las características técnicas, procesos, ventajas del método RAP para rehabilitación de carreteras, por medio de la revisión bibliográfica con que se cuenta, esto incluye bibliografía nacional y de otros países, información del Congreso Ibero Latinoamericano de Asfalto XVII CILA 2013, realizado en la ciudad de Antigua Guatemala, aporte de documentación del departamento de infraestructura de COVIAL, entrevistas a profesionales conocedores del tema, los cuales fortalecen la investigación transmitiendo sus conocimientos y contribuyendo de acuerdo a su experiencia en el tema.

Para determinar la capacidad instalada y la inversión en el uso de nuevas tecnologías como el método RAP, se realizaron visitas técnicas, las que incluyeron entrevistas con profesionales conocedores del tema que han aplicado esta metodología en los siguientes proyectos: Proyecto de Mejoramiento M-03-2009 Los Encuentros – Chichicastenango – Quiché en el año 2009, en el año 2011 por medio de la DGC Tramo: Cabañas-La Reforma, Cabañas – San Vicente, Reforma – Sta. Cruz, río Hondo, Zacapa. Tramo CA-09 Sur Palín - Escuintla, Ruta Vieja, en el año 2012. De acuerdo a información proporcionada por el Área de Infraestructura de COVIAL, en el año 2010, en la 7ª. Avenida de la 5ta. a la 28 calle de la zona 12, se realizó un diseño de base estabilizada con emulsión por medio de la recuperación del pavimento existente, cabe mencionar que el proyecto tenía una longitud de 2.183 kilómetros aproximadamente y es una ruta alterna hacia la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Anillo Periférico, proyectos de los cuales se tiene referencia de una buena funcionalidad de acuerdo al diseño.

Se realizó un análisis acerca de la normativa existente en Guatemala para la rehabilitación de carreteras utilizando RAP, esto incluye las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes (2001), Especificaciones de COVIAL 2013 vigentes, Normativa AASHTO 1993, Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales SIECA 2004 y el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque en Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA 2010.

Para la presentación del análisis comparativo de costos de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica incorporando un 20 % de RAP, se utilizó el proceso de fabricación en planta.

Con lo anterior, se determinaron las ventajas técnicas y económicas que puede tener una carpeta asfáltica flexible, utilizando material reciclado, frente a una carpeta asfáltica realizada con metodología tradicional de sustitución completa, ambas fabricadas en planta.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo del presente trabajo se exponen las características técnicas del método Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), se determina el conocimiento en el ámbito vial de Guatemala, se describen sus procesos, ventajas, capacidad instalada, así como un análisis acerca de la normativa existente que sirve para su regularización.

En este sentido, el RAP se muestra como una alternativa de rehabilitación de carreteras, distinta a las técnicas tradicionales aplicables en nuestro país y que está basada en la experiencia de otros países como Estados Unidos, el cual lo realiza desde los años setenta.

Una de las ventajas de utilizar este método, consiste en que la demanda de materiales de los bancos se reduce considerablemente, permitiendo reducción de impactos ambientales al reciclar las carpetas y bases de un pavimento, ya que Guatemala es considerado como un país vulnerable a los efectos climáticos y ambientales, este método provoca una creciente sensibilización social acerca de la necesidad de preservar los recursos naturales.

En cuanto a los costos, se tiene la ventaja que aunque el material provenga de pavimentos envejecidos, estos conservan en buena parte sus propiedades, por lo que pueden ser reutilizados y no es necesario trasladarlos en su totalidad a los lugares para desperdicio sino basta con hacer un ajuste, según las granulometrías requeridas.

El fresado y reutilización del conglomerado asfáltico, reduce los costos de acarreo porque se disminuye la necesidad de trasladar material de los bancos hacia las plantas generadoras de asfalto.

Demanda un equipo y maquinaria diferente o modificada al convencional para la fabricación de este tipo de carpetas:

En el caso de fabricación en planta, se debe utilizar maquinaria de configuración especial y diferente que las plantas convencionales. En el boletín técnico T-127S fresado y reciclaje escrito por J. Don Brock de ASTEC propone cinco métodos para utilizar RAP en una planta dosificadora y cinco tipos básicos de plantas mezcladoras de tambor capaces de manejar RAP, que no serán descritos en este trabajo dejando la opción de un seguimiento para el presente.

Cuando se trata de reciclado en el lugar, Wirtgen Group propone un manual de reciclado en frío en el que define los tipos de trenes de maquinaria que se deben utilizar, proponiendo un fresado de la carpeta, adicionarlo a la tolva correspondiente, mezclarlo con los materiales y volver a colocar el nuevo pavimento que permite el ahorro de tiempo, colocación y apertura del tránsito en menos tiempo.

Para entender de una mejor manera el método RAP, se describirá brevemente la metodología tradicional de colocación de carpetas y se comparará con las características técnicas y económicas de un pavimento utilizando material reciclado.

Para formar el criterio de su funcionalidad y viabilidad constructiva, así como las especificaciones regionales para la construcción de pavimentos en

Guatemala y las especificaciones y normas internacionales, empleando este conocimiento para determinar las ventajas que el método ofrece.

El reciclado de los pavimentos deteriorados no es una idea nueva, no obstante, con el aumento de las exigencias medioambientales y económicas se ha convertido en una alternativa cada vez más utilizada por diferentes países en todo el mundo, tomando en cuenta que en Guatemala se tiene una escasa experiencia en el reciclado de pavimentos.

Los resultados de comparación de la tabla I y II, proporcionan información que una carpeta conteniendo material reciclado puede tener características similares a la de una carpeta con materiales vírgenes, además la propuesta de comparación económica de una mezcla fabricada en planta sin RAP y otra incorporándole el 20 % de RAP, evidencia un ahorro que es significativo, según la longitud del tramo que se debe rehabilitar.

Al estudiar las características, procesos, ventajas de una carpeta utilizando material reciclado, se puede determinar beneficios ambientales, pues no es necesario buscar bancos de materiales y si se recicla *in situ*, se evita la contaminación que genera enviar el material a vertederos, beneficios económicos, porque se utiliza un porcentaje incorporado en la nueva mezcla del material reciclado y cuando es reciclado *in situ* no es necesario transportar el material a vertederos, además permite habilitar el paso de vehículos en un tiempo menor, todas estas ventajas pueden ser aprovechada en nuestro país si se comprende el beneficio que representa, aunque represente una gran inversión económica inicial y capacitaciones e investigación más profunda con el transcurrir del tiempo puede convertirse en un método utilizable a nivel nacional como se usa en otros países como Estados Unidos donde el reciclado de carpetas es uno de los métodos con mayor uso, así como en otros países.

En el capítulo uno, se presentan generalidades de los pavimentos asfálticos, involucrando conceptos relacionados con pavimentos flexibles, mencionado sus componentes, tipos de pavimentos flexibles, ventajas y desventajas de un pavimento flexible, aspectos importantes y las actividades que pueden realizarse como; mantenimiento, mejoramiento, rehabilitación que es el punto principal de estudio.

Con la presente investigación, se aumentará la experiencia y el conocimiento, proveyendo información en cuanto al proceso de construcción de pavimentos reciclados y las normas correspondientes de regularización, debido a que los resultados obtenidos en las encuestas a los supervisores de COVIAL evidencian que no hay un conocimiento adecuado acerca del tema.

En el capítulo dos, se describen las técnicas existentes de rehabilitación de pavimentos flexibles en Guatemala.

En el capítulo tres, se refiere al método Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), su conocimiento, antecedentes, definición, técnicas de reciclado, ventajas del reciclado, proceso constructivo, sus condiciones para aplicación, sus condiciones de uso de asfalto, climáticas, topográficas, ambientales y de tránsito.

En el capítulo cuatro, se resume la Normativa existente en Guatemala sobre RAP que puede ser aplicable.

En el capítulo cinco se hace una presentación de los resultados obtenidos de las encuestas, de las entrevistas, de los aportes de profesionales en el área vial.

Finalmente, en el capítulo seis se realiza una discusión de los resultados obtenidos de las encuestas, de las entrevistas y de los aportes de los profesionales del área vial.

1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

1.1. Pavimento

Montejo (2002) define que un pavimento es “aquel constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras y deben resistir los esfuerzos que las cargas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada”.

Estos esfuerzos decrecen con la profundidad, por eso se deben colocar los materiales de mayor calidad y capacidad de carga en las capas superiores y de menor capacidad y calidad en las capas inferiores, siendo estos segundos más económicos

1.2. Pavimento flexible

“Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, se puede prescindir de cualquiera de estas dos capas, dependiendo de las necesidades particulares de cada obra” (Montejo, 2002, p. 2). Las capas que componen un pavimento flexible se muestran en la figura 1.

Figura 1. **Capas que componen el pavimento flexible**



Fuente: Carlos Arnaldo Morales

1.2.1. Sub rasante

“Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto” (Libro Azul, 2001, Sección 301.01). Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento.

De su calidad dependerán los espesores del pavimento, debe ser resistente, incompresible, no debe presentar expansión ni contracción por efectos de humedad.

1.2.2. Sub base

“Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar”. (Libro Azul, 2001, Sección 303.01).

Además funciona como drenaje y controla la ascensión de agua por capilaridad e impide que se contamine el material de la base con el material de la sub rasante.

1.2.3. Base

“Es la capa de la estructura del pavimento que recibe la mayor parte de los esfuerzos verticales producidos por los vehículos. La carpeta de rodadura es colocada sobre ella, regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.” (civilingeniero.blogspot.com,2013). Su propiedad predominante es la resistencia.

1.2.4. Carpeta de rodadura

La parte superior del pavimento flexible es la carpeta asfáltica o de rodadura, está elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico.

1.3. Tipos de pavimentos flexibles

Rodríguez (2004) menciona que el concepto de pavimento flexible nace de una superficie bituminosa que es plástica y fluye bajo cargas repetidas y sostenidas (repetitivas y temporales) dentro de los límites, la superficie bituminosa, se ajusta a la consolidación de las capas inferiores.

La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos

funcionando como aglutinante. El Libro Azul define los siguientes tipos de carpeta de rodadura asfáltica.

1.3.1. Mezcla asfáltica en frío

Es el sistema de agregados pétreos mezclados en frío con material bituminoso, en la carretera o en planta, para construir la capa de superficie del pavimento o esta misma mezcla, combinada con agregados recuperados de una carretera existente y material bituminoso para construir la capa de base de una carpeta.

1.3.2. Mezcla asfáltica en caliente

Es el sistema de construcción asfáltica, que consiste en la elaboración en planta, en caliente de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico y de requerirse, aditivos, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniformes.

1.3.3. Tratamiento superficial

Es una capa de revestimiento, formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados de diversos tamaños, esparcidos uniformemente, los cuales mediante el proceso de compactación son acomodados y orientados en su posición más densa. Esta capa está destinada principalmente a recibir directamente la acción del tránsito, proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

1.3.4. Sellos Asfálticos

Es el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de vacíos y grietas y/o evitar la desintegración de superficies asfálticas gastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento.

1.4. Ventajas y desventajas de un pavimento flexible

1.4.1. Ventajas

- Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- Tanto la construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo más corto.
- La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

1.4.2. Desventajas

- Se ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- Son frecuentes los baches, hundimientos y roderas, por la acción del tránsito y los agentes climáticos.

- Las acciones de conservación rutinarias y las reparaciones que se dan con frecuencia interrumpen el tránsito.

1.5. Aspectos importantes de los pavimentos flexibles

Rodríguez (2004) menciona “entre los aspectos más importantes de un pavimento flexible tenemos: la vida de un pavimento y los efectos de uso del pavimento (mecanismos de deformación)”.

1.5.1. Vida de un pavimento flexible.

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. La vida de un pavimento está relacionada con el período para el cual fue diseñado.

1.5.2. Mecanismos de deformación

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

1.6. Intervenciones que pueden realizarse a un pavimento flexible

1.6.1. Mantenimiento

“Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, con las previsiones de diseño y construcción de la obra” (BID, 1997) Entre las categorías de mantenimiento pueden mencionarse las siguientes: mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y mantenimiento preventivo.

Actualmente el mantenimiento vial en Guatemala está enfocado a la reparación de fallas mediante la programación de mantenimiento rutinario. Se debe cambiar al enfoque hacia el mantenimiento preventivo.

Las experiencias en otros países han comprobado que la implantación de programas de mantenimiento preventivo representa economías sustanciales.

Entre las actividades de mantenimiento preventivo puede involucrarse el fresado y reciclaje de pavimento asfálticos. .

1.6.2. Mejoramiento

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario.

1.6.3. Rehabilitación

Es el proceso por medio del cual la estructura del pavimento es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización, del pavimento existente en combinación con material de aporte si es necesario. En el siguiente capítulo, se amplía el tema de rehabilitación.

2. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE CARPETAS FLEXIBLES

En Guatemala existen diferentes opciones para la rehabilitación de una carpeta asfáltica, lo importante es determinar cuál de estas opciones es la adecuada, según el grado de deterioro de la misma, para ello es importante establecer su condición física y estructural.

Conforme a la condición de la carpeta asfáltica se establece entonces si se aplica un tratamiento superficial o una rehabilitación que permita la restauración de la carpeta asfáltica a su condición original o similar de soporte.

Cuando se realiza la rehabilitación es importante tomar en cuenta el factor económico, la calidad de los materiales a utilizar, que se cumpla con las especificaciones requeridas y el tiempo de vida útil para el cual se diseña la carpeta asfáltica, factores que pueden afectar en el buen desempeño de la carretera para beneficio de los usuarios.

Las técnicas utilizadas por las entidades que actualmente se dedican a la rehabilitación de carreteras con pavimento flexible, se pueden catalogar como técnicas tradicionales. Entre ellas se diferencian las que se utilizan para dar tratamiento superficial a la carretera y las que restauran la carretera a su condición original de soporte.

Se definen las siguientes técnicas y alternativas de rehabilitación de pavimentos flexibles:

2.1. Lechada asfáltica (slurry seals)

Esta alternativa se utiliza en superficies que no tienen un nivel avanzado de deterioro. La fatiga o deformación permanente se consideran como deterioros avanzados.

El uso adecuado de las lechadas asfálticas permite brindar soluciones para sellar los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado.

Además, permite restaurar la textura superficial le provee mayor resistencia al deslizamiento, puede utilizarse para la impermeabilización de la capa de rodadura y también para corregir el desprendimiento de partículas (*“raveling”*).

Figura 2. **Aplicación de Lechada Asfáltica. Autopista Palin-Escuintla km. 25**



. Fuente: ASFALGUA

2.2. Tratamiento asfálticos superficiales

En este proceso se coloca una capa de revestimiento formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados

de tamaño uniforme esparcidos y mediante el proceso de compactación, son acomodados. Esta capa está destinada principalmente a recibir la acción del tránsito proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

Figura 3. Aplicación de riego para tratamiento superficial



Fuente. TDM ASFALTOS

2.3. Recapeo

Consiste en la colocación de mezcla asfáltica en caliente, en espesor no menor de 5 cm. sobre la carpeta de rodadura existente, con el objetivo de reforzar estructuralmente el pavimento. Después de realizar el fresado respectivo.

Figura 4. Recapeo, tramo RD-PET-01-01 SAN BENITO EL RECREO



. Fuente: elaboración propia

2.4. Microsurfacing

El sistema MS-1, también conocido como microsurfacing, consiste en una mezcla de Emulsión Catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre la superficie pavimentada.

Figura 5 . Aplicación de microsurfacing. Aldea el Jocotillo



Fuente: www.asfalca.com

2.5. Recuperación, escarificación, compactación del pavimento

Rehabilitar, es la acción de volver a habilitar o restituir una carretera a su condición original, y este método involucra la reconstrucción y recuperación de una vía o carretera, a través de la escarificación o fresado, desintegración, y retiro de la carpeta asfáltica existente para trasladar el material a vertederos y luego ser reemplazada por una carpeta nueva.

Figura 6. **Proceso de fresado para rehabilitación**



Fuente: Ministerio de Comunicaciones. Guatemala

2.6. Método RAP

Consiste en rehabilitar una carretera utilizando los materiales de la carpeta asfáltica proveniente del fresado y/o reciclado de carpetas asfálticas existentes y capas subyacentes (base, sub-base) según el caso y son utilizados como insumos para la preparación de nuevas mezclas asfálticas ya sea en planta o *in situ*, este tema se ampliará en el siguiente capítulo.

3. MÉTODO RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT, RAP (PAVIMENTO DE ALFALTO RECICLADO O RECUPERADO)

3.1. Antecedentes

Los pavimentos asfálticos, durante su vida en servicio, sufren un proceso continuo de deterioro debido a la acción del tráfico y de los agentes climatológicos. Por esto surge la necesidad de actuar sobre ellos para mejorar su estado y mantener sus condiciones de servicio. Normalmente suelen ser pequeñas actividades de conservación (conservación rutinaria), pero a veces, el estado del pavimento ha llegado a un deterioro excesivo o estructural que requiere de una rehabilitación.

En el caso de los pavimentos asfálticos esta rehabilitación consiste en reforzar mediante la aplicación de una nueva capa de mezcla asfáltica sobre las capas deterioradas del pavimento antiguo. Este procedimiento seguido en la rehabilitación de pavimentos asfálticos provoca una serie de dificultades ambientales, técnicas y económicas que hace que en muchos países se estén buscando otros métodos alternativos.

Una de ellos es el método del reciclado de esos materiales del pavimento para emplearlos en la rehabilitación.

“El reciclado es la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de un material de pavimento que ha cumplido su propósito para el cual fue diseñado, el cual se puede emplear para construir un refuerzo en la misma carretera o alguna capa de un pavimento nuevo”(Montejo, 2002, p. 589).

Al mismo tiempo, el reciclado o recuperado de pavimentos asfálticos presenta una respuesta adecuada al reto de la escasez de agregados utilizados como materia prima para la construcción de carreteras y la dificultad cada vez mayor de acumular residuos valiosos que son factibles para su reutilización.

El método del reciclado, a su vez, permite conservar los espesores y geometrías de las carreteras, interrumpiendo al tráfico en menor tiempo que otras técnicas o métodos.

El reciclado de las mezclas asfálticas que constituyen la capa de rodadura de los pavimentos ha sido una opción en el mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos desde la década del 70 producto de la crisis del petróleo, debido principalmente al impacto directo en el alza del precio del asfalto.

Se define el reciclado como: “un método de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de materiales procedentes de las capas que conforman el paquete estructural del pavimento que ya han estado en servicio: materiales que han perdido algunas de sus propiedades iniciales por el uso o envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría, etc.) pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas” (Botasso, 2008)

Además agrega que los procedimientos de construcción y conservación de carreteras consumen los siguientes recursos: naturales y energía. Mediante aplicación de reciclado, se reduce el consumo de ambos, esto permite disminuir el impacto ambiental evitando el acarreo de los materiales, así la carretera misma se transforma en banco de material y depósito de material fresado.

Inicialmente, el material reciclado de pavimentos asfálticos fue utilizado en caminos de bajo tráfico, pero a través de los años, y de las experiencias obtenidas de este método, se considera hoy en día para carreteras de tráfico pesado.

3.2. Por qué reciclar

Para Guatemala debería ser prioritario tener una política gubernamental que proponga una alternativa para reutilizar los recursos naturales existentes, utilizados en la pavimentación de carreteras y que en alguna época anterior fueron explotados para fines de desarrollo vial.

Normalmente nuestras carreteras han llegado al límite de su vida útil para la que fueron diseñadas tomando en cuenta el incremento en el parque vehicular, por lo tanto, se deben tomar decisiones serias en cuanto a rehabilitar las vías con el objeto de mejorar principalmente la calidad del rodado y por ende el confort al usuario de la vía. El criterio debe tomar en cuenta también factores como dificultades en el desvío del tránsito por períodos prolongados, si son vías de alto volumen de paso, condiciones climáticas y sobre todo, condiciones económicas para financiar la obra.

El proceso de reciclado produce capas ligadas gruesas que son homogéneas y trabajan armoniosamente en conjunto con las capas inferiores, ya que distribuyen de una mejor forma las cargas inducidas por el tráfico.

Se obtiene un beneficio en cuanto al tema de Seguridad Vial, ya que el proceso se realiza en forma alterna por carril y se puede coordinar el paso vehicular para no causar mayores inconvenientes al usuario, cuando es *in situ*.

El carril de trabajo quedará en uso al finalizar el día de trabajo.

Un punto interesante a destacar son los beneficios ambientales y económicos que implica la construcción de nuevas carreteras con materiales reciclados.

Son numerosos los estudios y autores que concuerdan que el uso de materiales reciclados para la rehabilitación de carreteras está creciendo ampliamente, reduciendo el uso de nuevos materiales y ayudando a disminuir la acumulación de materiales en los lugares destinados para la apilación que resulta del fresado, y además señalan, que se pueden lograr mezclas gruesas y semi densas, con tasas de material reciclado que van del 10 % al 30 % según la normativa AASHTO correspondiente, las cuales presentan propiedades mecánicas similares a las de las mezclas sin incorporación de material reciclado.

3.3. Definición del RAP

Es el método en el cual se utilizan los materiales de pavimento proveniente del fresado y/o reciclado de las carpetas asfálticas existentes, que conservan un asfalto residual involucrado en los agregados y estos son utilizados como insumos para la preparación de mezclas asfálticas nuevas.

El gran aporte de estas mezclas es el aprovechamiento de los recursos naturales no renovables como son el asfalto o bitumen residual y los agregados pétreos y, por ende, el beneficio ambiental que se genera al utilizar estos materiales realizando un aporte grandísimo a la conservación y preservación del medio ambiente. Estos materiales han sido retirados de la vía y requieren de una trituración previa para ser utilizados en el reciclaje, dicha trituración puede

darse *in situ* cuando se posee la capacidad instalada o en planta, según la decisión y el uso que se dará a la nueva mezcla asfáltica utilizando material reciclado.

En el mundo son generados cerca de 50 millones de toneladas al año de material para reciclado proveniente de carretera en mal estado, de las cuales el 33 % son utilizadas en reciclaje en caliente, el 47 % son utilizadas en el reciclaje en frío y cerca del 20 % son finalmente descartadas para ser posteriormente desechadas.

Puede requerir de la incorporación de agregados pétreos y asfaltos nuevos y de ser necesario de agentes rejuvenecedores y mejoradores de adherencia.

Con las exigencias del protocolo de Kioto sobre reducción de emisiones, el esfuerzo de los países industrializados ha sido enfocado hacia el mayor aprovechamiento de materiales reciclados en la fabricación de mezclas asfálticas. En Hong Kong, entre los años 2000 y 2002 la Región Administrativa Especial adelantó un programa, con el fin de evaluar la posibilidad de uso de materiales de reciclado en la producción de mezclas asfálticas tanto en Planta como *in situ*. Una vez que se acordó el uso del reciclaje en planta, se crearon directrices preliminares para la selección, diseño y construcción de procesos de reciclado de pavimentos asfálticos, y un programa de pruebas de laboratorio fue llevado a cabo para demostrar cómo las mezclas que contengan material reciclado pueden ser diseñadas para producir mezclas cuyo desempeño sea equivalente al de las mezclas convencionales.

En Estados Unidos se tienen estadísticas de que cerca del 75 % de las plantas asfálticas utilizan entre un 10 % y 25 % de material reciclado en sus mezclas nuevas, para esto, organismos como el Asphalt Institute (Instituto del

Asfalto) y la NAPA (National Asphalt Pavement Association) ha fijado directrices para el diseño de este tipo de mezclas, con el desarrollo de la tecnología SUPERPAVE (Superior Performance Pavement). El cual designa un pavimento asfáltico, cuya composición específica corresponde a una receta resultante de la investigación sobre pavimentos reciclados llevada a cabo en los EE UU entre 1987 y 1993, que en la actualidad podría ser aplicable en Guatemala.

3.4. Técnicas de reciclado

Se basan en la reutilización de los materiales del pavimento asfáltico defectuoso. Junto con estos materiales envejecidos, se pueden añadir otros elementos (agentes rejuvenecedores, nueva mezcla bituminosa, etc.). Se pueden distinguir variadas técnicas, entre las cuales se pueden mencionar:

3.4.1. Reciclado en planta (en caliente)

“Es el pavimento de concreto asfáltico compuesto por materiales provenientes del fresado de una carpeta existente y de la recuperación total o parcial de la base subyacente, si así se especifica en las Disposiciones Especiales, combinados con agregados triturados nuevos y cemento asfáltico, incluyendo agentes recicladores o rejuvenecedores cuando sean requeridos, mezclados en caliente, en una planta de concreto asfáltico para cumplir los requisitos de un pavimento asfáltico en caliente” (Libro Azul, 2001, sección 402-1).

Alarcon (2003) define que es un proceso que consiste básicamente en retirar las capas bituminosas de los pavimentos envejecidos mediante el proceso de fresado o demolición, para transportar dicho material a una planta, en la que es acopiado, caracterizado y eventualmente procesado, hasta cumplir con las condiciones deseadas.

Posteriormente es mezclado en caliente con agregados pétreos vírgenes que incluyen un agente de reciclaje, así como un asfalto nuevo.

3.4.1.1. Proceso constructivo

3.4.1.1.1 Demolición

Es la carpeta que será removida de una pavimentación existente, hay tres factores claves que limitan su uso y el porcentaje con el cual se pueda producir una nueva mezcla.

- Las características del aglutinante de RAP y las características deseadas en los nuevos ligantes para mezclas de asfalto en caliente (nuevo cemento asfáltico debe mezclar con el ligante remanente del RAP para rejuvenecer sus características).
- Las fracciones finas o gruesas de agregado en el RAP, pero específicamente “polvos de malla 200” de material. Estas fracciones están de alguna forma disgregadas en el RAP.
- Las capacidades de transferencia de calor de la Planta.

3.4.1.1.2 Perfilado o fresado del pavimento

Es el conjunto de actividades que se realiza con una fresadora para eliminar las deformaciones superficiales, producidas por una construcción que ha cumplido con su vida útil o por deficiencias de la capa de rodadura, con el fin de mejorar las características de comodidad y transitabilidad en la carretera.

3.4.1.1.3 Demolición en bloques

Es el conjunto de actividades que se necesitan para remover la carpeta asfáltica por medios mecánicos, a la profundidad, ancho y extensión requeridos, para ello se utilizaran tractores, motoniveladoras, cargadores, martillos de aire o hidráulicos. Esta técnica ha dejado de ser utilizada con el apareamiento de las fresadoras.

3.4.1.1.4 Trituración

Los residuos del producto del fresado, se cargarán y se transportarán al banco de apilamiento para poder ser analizadas sus características físicas tales como la granulometría que presenta y estas deberán ser ajustadas por métodos mecánicos de trituración para ajustarlos

3.4.1.1.5 Cribado (clasificación)

En esta etapa será necesario utilizar sistemas de separación de los excedentes de materiales para evitar las fracciones muy finas que se hayan encontrado en el material perfilado, o hacer desaparecer las fracciones consolidadas (brumos) que la perfiladora no haya quebrado.

3.4.1.1.6 Análisis de los materiales

Para cada uno de los materiales recuperados, existe una cantidad de material pétreo y de cemento asfáltico, por lo que se hace necesario realizar los análisis correspondientes. Curvas granulométricas y sus características contenido de residual de asfalto.

3.4.1.1.7 Proceso en planta (en caliente)

Miguel de Jesús Gallardo, de Pavimentos de Guatemala, S.A. en el Congreso del Asfalto CILA realizado en la Ciudad de Antigua Guatemala en el año 2013 expuso que debido a la tendencia mundial de la recuperación de materiales clasificados, conservación del medio ambiente y ahorro significativo en la producción, se implementó un plan para el reciclaje de carpetas asfálticas de una forma científica.

Este “plan consiste en la recolección y triturado de Pavimento Asfáltico Recuperado o en siglas en inglés RAP, se traslada a la planta donde es clasificado, triturado hasta alcanzar una granulometría de 12.5 mm a 0 mm y posteriormente apilado como agregado pétreo, cuyos valores de control de calidad son en función de la curva de granulometría del tipo de mezcla, tanto para mezcla con RAP como sin RAP, humedad y contenido de asfalto. Sea una mezcla tipo D 19 mm, E 12.5 mm y F 9.5 mm. Incorporando de 25% a un 30 % de RAP en ellas”. (Gallardo,2013).

Cuando son alcanzados los parámetros de calidad, según la normativa correspondiente, es posible adicionarlo a una mezcla con agregado virgen, tomando en cuenta que debe definirse la granulometría y contenido de bitumen del RAP.

La incorporación de RAP, es posible por medio de una planta de asfalto de producción continua de doble barril, en el cual un dosificador automatizado incorpora el RAP a la mezcla por otra cámara distinta a la de la entrada del agregado virgen, permitiendo que el RAP no pase por la flama directa, evitando así que el bitumen adherido a la piedra se derrita y eche a perder la mezcla y contamine internamente el doble barril.

Esta cámara incorpora el RAP después de calentar el agregado virgen, pero antes de la dosificación de asfalto, así pues, el calor obtenido del agregado virgen calentado por la flama es trasferido al RAP, por lo que la regulación de la temperatura debe ser mayor y de más control durante la producción y durante la colocación y compactación. Esto debido a que el calor viaja por medio de convección del agregado virgen, calentado al RAP, lo que conlleva a un enfriamiento más acelerado de la mezcla. Este es un aspecto que hay que considerar durante el manejo y compactación en el campo.

Se muestran resultados de laboratorio realizados por Pavimentos de Guatemala S.A., correspondientes al RAP incorporado en la mezcla caliente final comparado con mezcla de agregado virgen y ambas evaluadas por medio del método Marshall. Resaltando los resultados que la mezcla con RAP, está dentro de los parámetros que exige el Libro Azul en su sección 402.

Comparativamente una mezcla asfáltica tipo F 9.5 mm producida con agregado virgen contra una mezcla asfáltica igualmente tipo F 9.5 mm, pero producida con agregado recuperado (RAP), ambas producidas en la misma fecha, se observa que sus resultados presentan escasa diferencia, ejemplo puntual (Tabla I): en la densidad, la diferencia es apenas de 0.01, en los vacíos la diferencia es de 0.10, así mismo en la estabilidad Marshall la diferencia solo es de 60. En referencia a los resultados de contenido de bitumen la diferencia es únicamente de 0.09, pero debe de tomarse en cuenta que previamente se ha determinado el contenido de asfalto en el RAP utilizado y se le ha restado.

Para la mezcla E 12.5 mm, Pavimentos de Guatemala S.A. realizo un estudio con 30 producciones de mezcla sin RAP y 30 producciones de mezcla con RAP, entre los años 2011 y 2013, calculando la media en cada población

obteniendo variaciones mínimas entre los resultados, así mismo se ratifica que estos datos, no están fuera de los límites de las especificaciones (Tabla II).

Las producciones de estas mezclas han sido continuas desde 2009 en la Planta de Pavimentos de Guatemala S.A., este es un producto estandarizado, todos los proyectos en que se requiere material de la Planta se producen con RAP, con algunas excepciones. Los proyectos incluyen desde vías poco transitadas hasta vías con alto flujo vehicular.

En referencia a la durabilidad y desempeño de las mezclas que contienen RAP, es de cuidar la segregación en el momento del tendido, para que no exista pérdida de finos, esta segregación, se genera debido a la velocidad de enfriamiento, por lo que en este sentido no es igual la manejabilidad de las mezclas con RAP con respecto a una mezcla de asfalto con agregado virgen. Por lo que esto es un aspecto muy importante a tomar en cuenta, para que la durabilidad de la carpeta se extienda. Las figuras 7 y 8 muestran el control de concreto asfáltico en caliente con incorporación de R.A.P. y sin R.A.P.

Tabla I. Datos de control de calidad

Comparación entre mezclas tipo F 9.5 mm con y sin RAP

			Densidad	Vacios	V.A.M.	V.R.A.	Estabilidad	Flow	Est. Flow	Extracción Bitumen	% de Asfalto en RAP	TON Producidad
Fecha	Mezcla Tipo	LIMITE		03--05	> 13	65--75	1000-3800	8--14	120--275			
21/03/2013	F 9.5 mm	Sin RAP	2.386	4.14	16.55	74.98	2708	12	236	5.53	-	60
21/03/2013	F 9.5 mm	Con RAP	2.376	4.24	16.40	74.14	2648	12	230	5.44	4.60	60

Fuente Miguel de Jesús Gallardo

Tabla II. Media de 60 producciones. Control de calidad. Comparación entre mezclas tipo E 12.5 mm, 30 producciones con y sin RAP

	Media Sin RAP	Media Con RAP	
TIPO DE MEZCLA	E (12.5 mm)	E (12.5 mm)	LIMITES
% DE ALSFALTO (Extracción)	5.10	5.12	
RELACION FINOS -ASFALTO	1.27	1.31	0.6-1.6
ESTABILIDAD MARSHALL	2,877.00	2,383.00	1000-3800
FLOW	13.52	12.13	8 --14
RELACION ESTABILIDAD-FLOW	214.66	222.89	120-275
% DE VACIOS	4.17	4.15	3-- 5
VACIO AGREGADO MINERAL V.A.M.	15.77	15.67	>13
% DE VACIOS RELLENOS V.R.A.	73.30	73.48	65-75
DENSIDAD	2.39	2.38	

Fuente Miguel de Jesús Gallardo

3.4.1.1.8 Capacidad instalada de Plantas de Asfalto en caliente en Guatemala

De acuerdo a los datos proporcionados en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos 2002 en Guatemala estaban establecidas 18 plantas de fabricación de mezcla asfáltica, pertenecientes casi todas a empresas privadas que en la actualidad este número a disminuido considerablemente sin tener un dato exacto y de acuerdo a las entrevistas realizadas a profesionales y la

información proporcionada en el Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto XVII CILA 2013, realizado en Antigua Guatemala, se tiene el conocimiento de dos empresas privadas que cuentan con planta para producir mezcla asfáltica utilizando RAP debido a su preocupación por aplicar nuevos métodos y tener la suficiente capacidad económica para la obtención de las plantas con la configuración adecuada para el proceso, el laboratorio para el estricto control de calidad y el personal capacitado.

3.4.2. Reciclado en planta (en frío)

El reciclado en planta en frío se lleva a cabo con materiales provenientes del fresado, cuando es utilizado para capas bituminosas el material se mezcla con emulsiones en plantas continuas de mezcla en frío o en plantas de grava cemento modificadas para incorporar la emulsión. Las limitaciones que pueden surgir son las de la granulometría o exceso del ligante en el material reciclado.

Cuando se completa el proceso en planta, se transporta y es puesta en obra con maquinaria convencional, para la compactación se pueden utilizar rodillos vibratorios pesados.

La desventaja es que cuando se utiliza emulsión bituminosa o cemento, el tiempo de curado depende de las condiciones climáticas del lugar donde se coloque el material.

Esta técnica es utilizada para la construcción de capas de base o carpetas asfálticas de bajo tránsito, cuando el espesor de la capa supere los 20 centímetros se recomienda colocarla en dos capas.

3.4.3. Reciclado *in situ*

“Consiste en rehabilitar el pavimento asfáltico hasta una profundidad en la que puede involucrarse o no necesariamente el material de la base. “Para ello el espesor es escarificado y el material 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 las exigencias de la nueva mezcla. El proceso se realiza generalmente en frío y los aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cemento portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes. También es posible el reciclaje *in situ* con cementos asfálticos de alto grado de penetración” (Montejo, 2002, p. 275).

La recuperación puede ejecutarse mediante un equipo fresador capaz de disgregar el material o mediante métodos convencionales donde el proceso de disgregación ocurre con posterioridad a la recuperación. En general el material recuperado está formado no sólo por concreto asfáltico disgregado, sino también por agregados aportados por la base y sub-base granular existente, según la técnica que se aplique porque puede ser en frío o en caliente.

3.4.3.1. Reciclado *in situ* (en caliente)

Se trata de una técnica aplicada a materiales bituminosos. Debe realizarse con equipo especial, provisto de paneles infrarrojos capaces de elevar la temperatura del pavimento entre 120 °C y 160 °C y facilitar la disgregación del material. El elemento fundamental del equipo es el escarificador o fresador-calentador, el escarificador está provisto de dientes de acero con puntas de carburo, se puede controlar la profundidad del corte establecido en el proyecto, el material suelto es mezclado con betún blando o un agente rejuvenecedor.

Esta técnica puede llevarse con o sin aportación de agregado nuevo y la operación de mezcla la realiza el mismo equipo.

Existen tres modos de aplicar esta técnica:

- **Termoreperfilado:** Proceso que consiste en calentar, fraccionar y remezclar, un agente rejuvenecedor puede adicionarse o no y compactar los 2-3 cms de la parte superior de la carpeta asfáltica, es aplicable para corregir pequeños deterioros superficiales o conseguir una buena adherencia en una capa superior a colocarse.
- **Termoregeneración:** Consiste en el calentamiento del asfalto en un rango de espesor de 3-5 cms. Superiores de la carpeta de rodadura y la aplicación de una capa fina de 2-3 cms., es aplicable para corregir irregularidades longitudinales o transversales, pérdida de material y superficies permeables y deslizantes.
- **Termoreciclado:** Técnica que consiste la única aportación de un ligante o agente rejuvenecedor y agregados nuevos si es necesario, remezclar todo y compactar. Estos métodos intentan solventar problemas de envejecimiento del ligante o defectos de la mezcla, aplicándose para espesores de 4 a 8 cm.

En las técnicas anteriores se utilizan máquinas o equipo integral que pueden realizar operaciones diferentes de manera secuencial en una sola pasada: calentamiento de la carpeta, levantado de un cierto espesor, formación de un cordón de material levantado, separación del material que no se va a utilizar, alguna aportación eventual de agregados nuevos, mezcla homogénea de materiales nuevos con los envejecidos, extensión y compactación.

Actualmente en Guatemala no existe empresa alguna que posea la maquinaria o la tecnología necesaria para la aplicación de esta técnica de reciclado.

3.4.3.2. Reciclado *in situ* (en frío)

Este tipo de reciclado se realiza in situ con equipos específicos multifunción que fresan el material y es mezclado con agua y el conglomerante o ligante seleccionado realizando todo el proceso en frío.

Se pueden reciclar con esta técnica capas de mezcla bituminosa, de materiales granulares, tratados con cemento o un conjunto de estas capas, esto involucra la carpeta asfáltica y el material de las carpetas subyacentes (base o sub base).

El ejemplo más claro de la técnica de reciclado in situ en frío es el asfalto espumado, “que se define como el proceso y tratamiento, con material bituminoso en forma de espuma, de un pavimento existente sin aplicación de calor, para producir una capa de pavimento restaurada”(Montejo, 2002)

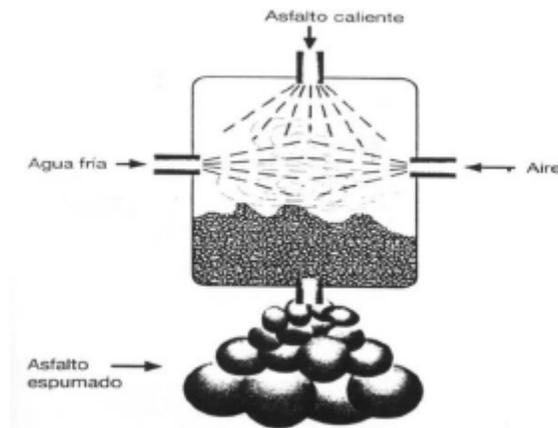
Gustavo Adolfo Cancinos Sazo (2013) indica que el desarrollo de la tecnología del asfalto espumado, expandido o celular se origina hace más de 40 años en la Universidad de Iowa, Estados Unidos, donde se utilizó por primera vez un proceso de vapor inyectado para formar una espuma. Posteriormente la empresa Mobil Oil de Australia en 1968, mejoró esta tecnología al comprar los derechos de la patente de invención al mezclar agua fría con asfalto para generar la espuma, transformándose en un proceso más económico y con menor riesgo.

Define, al reciclaje en frío *in situ* de pavimentos con asfalto espumado, como “el proceso mediante el cual se recupera la mayor cantidad de material del pavimento existente, creando una nueva capa homogénea y gruesa, que es reforzada con la adición de asfalto espumado”. (Cancinos, 2013, p. 21)

Según el Manual de reciclaje en Frio de Wirtgen, el asfalto espumado se logra mediante un proceso físico, en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (1,0 a 2,0 % del peso del asfalto) y aire comprimido a una masa de cemento asfáltico caliente (160 °C – 180 °C), dentro de una cámara de expansión. En el momento en que se añade agua fría al cemento asfáltico caliente, se eleva la temperatura del agua a 100 °C y se produce una expansión instantánea de vapor debido a la cual el volumen se multiplica de 15 a 20 veces. Las burbujas de vapor son forzadas a introducirse en la fase continua del asfalto. La temperatura de la espuma se reduce, se condensa y provoca el colapso y desintegración de la espuma que produce miles de gotitas de asfalto las cuales al unirse recuperan su volumen inicial sin alterar sus propiedades originales. Para la producción con asfalto espumado el agregado debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentra en estado de espuma. Al desintegrarse la burbuja se mezcla con el agregado fino, produciéndose una pasta de asfalto fino que actúa como un mortero que provoca la adhesión del agregado grueso.

En la figura 9 se observa el proceso del asfalto espumado dentro de la cámara de expansión.

Figura 9. Cámara de expansión



Fuente: Evaluación y rehabilitación de pavimentos por el método de reciclaje

Este proceso obtiene los materiales por medio de una máquina recicladora móvil, los cuales son mezclados con cemento, cal, etc. y agregados nuevos sí fuese necesario, para formar una base asfáltica que será colocada en el mismo lugar.

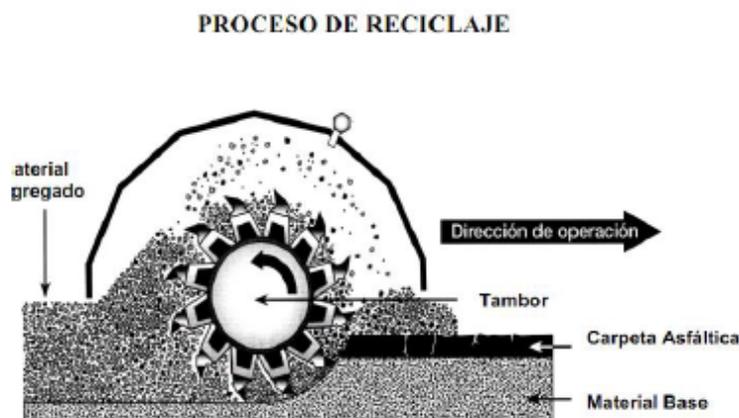
Actualmente, el reciclado in situ es de uso generalizado y realizado por máquinas modernas con relativa facilidad y costos de operación menores que las técnicas tradicionales de rehabilitación. Estas máquinas son diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimentos de gran espesor de una sola pasada. Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación. El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas especialmente diseñadas para este proceso. El tambor rota y pulveriza el material del pavimento existente.

En la medida que la maquina genera avance con el tambor en rotación, un tanque de agua va a acoplado a la recicladora, este se llena de agua mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado.

El flujo de agua es medido con precisión mediante un microprocesador controlado que es controlado por medio de un sistema de bombeo, entre tanto el tambor mezcla el agua con el material que se recicla para alcanzar el necesario contenido de humedad. Así de esta manera se consiguen altos niveles de compactación.

La cal hidratada o el cemento son esparcidos delante de la recicladora, funcionando como agentes estabilizadores que son mezclados con el material reciclado, para que de una sola vez pueda inyectarle el agua correspondiente.

Figura 10. **El proceso de reciclaje de pavimentos**



Fuente: Wirtgen, Manual de reciclado en frío

“Los trenes de reciclado pueden ser configurados de distinta manera, dependiendo de la aplicación de reciclado y del tipo de agente estabilizador que

sea utilizado. En cada caso la máquina recicladora ejerce la tracción en el tren de reciclado, empujando o tirando el equipo que está conectado a la misma mediante barras de empuje o lanzas” (Wirtgen, 2004, p.31). Las configuraciones de tren de reciclado se muestran en las Figuras 11 y 12. El tren de reciclado de la Figura 11 se utiliza cuando “el material es estabilizado con lechada de cemento. La tasa de aplicación requerida de cemento y agua se mide con exactitud antes de mezclarse para formar una lechada, la cual es bombeada a la recicladora mediante una manguera flexible y posteriormente inyectada dentro de la cámara pulverizadora. Alternativamente, el cemento puede ser esparcido sobre el pavimento existente delante de la recicladora, sustituyendo el mezclador de lechada por un tanque de agua” (Wirtgen, 2004, p. 31).

Figura 11. Tren reciclador con mezclador de lechada.

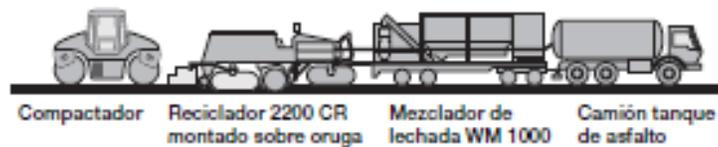


Fuente: Wirtgen, Manual de reciclado en frío.

El material proveniente de la recicladora es compactado inicialmente con el rodillo vibratorio pesado hasta que todo el material alcance una densidad uniforme. A continuación se perfila el material con una motoniveladora, finalmente el material se compacta con un rodillo vibratorio y compactador neumático. Al aplicar la emulsión o asfalto espumado en conjunto con la lechada de cemento la configuración del tren de reciclado es semejante al anterior, formado por un tanque que suministra asfalto empujado delante del mezclador de lechada como se muestra en la Figura 12. En el caso que el cemento es esparcido en la superficie como polvo, el tanque de asfalto debe acoplarse directamente a la recicladora y el tanque de agua va por delante del

tren empujado. En el caso de que se utilice una recicladora montada sobre orugas y equipada con una placa compactadora como se ilustra en la figura número 12, puede no haber necesidad de utilizar la motoniveladora que perfile la superficie.

Figura 12. **Tren reciclador con mezclador de lechada y camión de asfalto**



Fuente: Wirtgen, Manual de reciclado en frío

3.4.3.2.1 Capacidad instalada de maquinaria para reciclar en frío

En Guatemala de acuerdo a información proporcionada por los profesionales del área vial, se tiene el conocimiento de por lo menos cuatro empresas que tiene la capacidad instalada, es decir, el equipo para realizar la recuperación o reciclado de material proveniente de un pavimento flexible, utilizando asfalto espumado, entre las que se puede mencionar: Constructora Jireh, Servelco, Aspetro.

3.5. Ventajas del reciclado de pavimentos

Cuando se habla de reciclado de pavimentos existe un aprovechamiento de los recursos que se disponen en la carretera. Los materiales pueden reutilizarse por medio de métodos adecuados, de tal manera que son nuevamente válidos para la construcción de una carretera. Con esta metodología, se puede reducir la demanda de nuevos materiales, disminuyendo la necesidad de buscar bancos de materiales, mejorando los rendimientos de fabricación, debido a que los materiales que se reutilizan ya pasaron por un control de calidad.

Además, los métodos de reciclaje *in situ* permiten eliminar operaciones de acarreo de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un lugar adecuado como de los materiales nuevos desde donde se suministran hasta el proyecto, excepto cuando se utilice la forma de reciclado en planta y no se cuente con una propia. Todo lo anterior repercute en ahorros económicos al proyecto y mayor respeto a nuestro medio ambiente.

- Provee facilidad al cambio de geometría de la carretera de acuerdo a la planificación correcta, estos cambios pueden ser en la alineación vertical u horizontal sin la necesidad de grandes actividades como lo es mediante las técnicas clásicas.
- Optimiza los recursos disponibles, 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.

Además, esta actividad permite el paso del tráfico por los carriles que no son tratados.

- Es posible reciclar sólo un carril y permitir la circulación por los restantes.
- Provee la estabilidad de las capas inferiores cuando hay problemas ya sea relevantes o no y el aprovechamiento de la carpeta de rodadura envejecida. Es posible reparar algunas dificultades sin tener que desechar los materiales existentes.
- Mejora las condiciones de adherencia superficial, además, si la carretera posee deterioros estructurales o que lleguen a las capas por debajo de la carpeta asfáltica, el método de reciclado resuelve el problema con facilidad.
- La utilización de mezclas recicladas en caliente puede proveer ahorros económicos y ambientales, debido a que se reduce el uso de agregados vírgenes y en el caso de que el reciclado es *in situ* no hay necesidad de acarrear los materiales porque son utilizados en la carretera.

3.6. Aplicación del método RAP en la rehabilitación de carreteras en Guatemala

Conforme a la información recopilada, tanto a supervisores como a contratistas de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial Coviav, se tienen conocimiento de la aplicación de la metodología RAP en los siguientes proyectos: Proyecto de Mejoramiento M-03-2009 Los Encuentros – Chichicastenango – Quiché en el año 2009, en el año 2011 por medio de la Dirección General de Caminos Tramo: Cabañas-La Reforma, Cabañas – San Vicente, Reforma – Sta. Cruz, río Hondo, Zacapa. Tramo Palin - Escuintla,

CA09S, Ruta Vieja, en el año 2012, de acuerdo a información proporcionada por el Área de Infraestructura de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial COVIAL, en el año 2010 en la 7ª. Avenida de la 5ta. A la 28 calle de la zona 12 se realizó un diseño de base estabilizada con emulsión por medio de la recuperación del pavimento existente, cabe mencionar que el proyecto tenía una longitud de 2.183 kilómetros aproximadamente y es una ruta alterna hacia la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Anillo Periférico.

3.7. Formas de reutilización de pavimentos

- Para una base estabilizada con emulsión por medio de la recuperación de pavimento existente.

La recuperación de un pavimento existente es una técnica de rehabilitación en la cual la carpeta asfáltica existente y los materiales que existen debajo de ella, son uniformemente triturados, pulverizados y mezclados con una emulsión asfáltica para obtener una capa rejuvenecida de RAP.

Es el conjunto de actividades que se realizan para desintegrar totalmente la carpeta asfáltica y parte o totalidad del material de base por medios mecánicos en frío o caliente según sea la técnica a utilizar, recuperando con materiales pétreos nuevos, modificados o estabilizados con materiales asfálticos, cal cemento u otros que al colocar y compactar pueden formar una nueva carpeta o base asfáltica sobre la que posteriormente se colocará una nueva.

- Para nueva carpeta de rodadura adicionando RAP

El pavimento asfáltico reciclado es uno de los productos industriales que se obtienen en millones de toneladas cada año en otros países como Estados Unidos.

En Guatemala, la obtención quizá no se realice a gran escala, pero si puede obtenerse de algunos pavimentos que aun no cumplen su vida útil, material que puede ser reciclado y reutilizado para producir nuevas carpetas de mezcla asfáltica, incluso como una mantenimiento preventivo monitoreado.

Los pavimentos pueden ser retirados y pueden producir porcentajes de RAP que va en función de la graduación y las características del asfalto empleado originalmente, y dependerá del equipo de producción con que se cuente.

Es el conjunto de actividades que se realizan para re mezclar el material recuperado, en algunos casos con agregados vírgenes y material petreo, de tal manera que pueda surgir una nueva mezcla que cumpla con las especificaciones indispensables y pueda colocarse como una carpeta asfáltica que tenga características similares que una carpeta hecha con materiales nuevos.

3.8. Condiciones de aplicación

Las condiciones de aplicación están orientadas a las superficies con presencia de fallas, que se pueden tener en el momento de aplicar este método constructivo.

Una falla es la condición que se presenta en un pavimento cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

- Falla Estructural:

Se considera como una deficiencia que ocasiona de inmediato o posteriormente, la reducción en la capacidad de carga. Las fallas pueden clasificarse al tomar en cuenta el elemento estructural donde es originada:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interface, carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, ocurre por una mal acople de la base y la carpeta asfáltica.
- Fallas que se originan en la base, sub base o sub rasante, a causa de la inestabilidad de una o más de estas capas.
- Fallas que se originan por la repetición de cargas.
- Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.
- Fallas ocasionadas por hormigueros.
- Fallas ocasionadas por madrigueras de algunos animales, etc.

- Falla Funcional.

Esta falla se debe a la deficiencia en la superficie del pavimento, debido al índice de servicio que afecta a la capacidad de la carretera al proporcionar al usuario una transitabilidad que sea cómoda y segura.

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- Las ondulaciones longitudinales.

- Las deformaciones transversales.
 - La textura de la superficie.
 - El porcentaje de baches y áreas reparadas.
-
- Fallas más comunes

Los tres principales tipos de daños en un pavimento flexible son: fisuras y grietas, deformaciones superficiales y desintegración del pavimento. Las fallas en pavimentos flexibles donde se puede utilizar el método rap para la rehabilitación del asfalto son las que no presentan daño en las capas inferiores de la carretera base o sub base.

A continuación se presenta una tabla propuesta para aplicar la metodología según el tipo de falla de la carretera.

Tabla III. Opciones recomendadas de reciclaje según el estado del pavimento

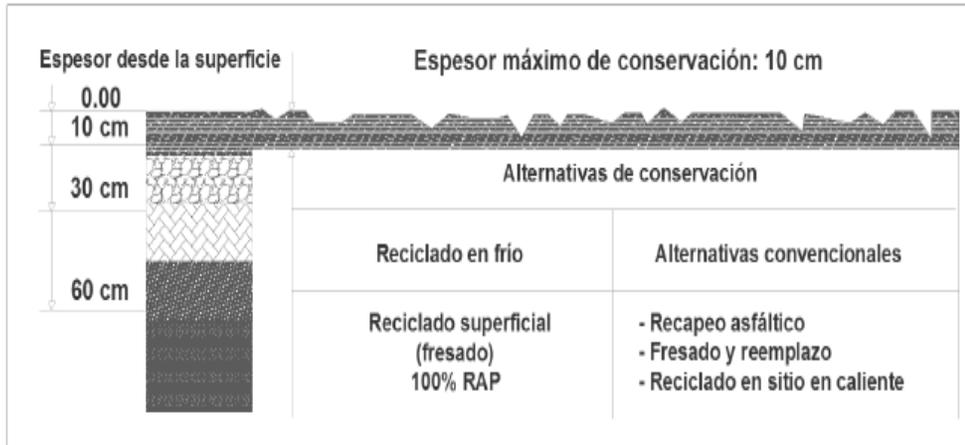
Condiciones del pavimento (inspección visual)	Técnica de reutilización/reciclaje									
	Rehabilitación de la capa de rodadura		Rehabilitación de capas bituminosas				Rehabilitación de capas bituminosas y capas ligadas con conglomerantes hidráulicos/ capas granulares			
	Caliente en planta	Caliente in situ	In situ		En planta		In situ		En planta	
			Caliente	Frío	Caliente	Frío	Caliente	Frío	Caliente	Frío
Irregularidad (roderas)	x	x	o ³⁾	o ³⁾	o ³⁾	o ³⁾	-	-	-	-
Irregularidad (capacidad de carga)	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Resistencia al deslizamiento (macrotextura)	x	x ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
Piel de cocodrilo	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Desprendimientos	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Baches	-	-	-	-	x	x	-	-	x	x
Grietas longitudinales	o ¹⁾	o ¹⁾	x	x	x	x	x	x	x	x
Grietas transversales	o ¹⁾	o ¹⁾	x	x	x	x	x	x	x	x

x viable, o viable con aclaraciones, - no viable / no económico
¹⁾ si las grietas tienen su origen en la superficie del pavimento
²⁾ termo-regeneración
³⁾ si las grietas se originan en la capa intermedia

. Fuente Direct-Mat

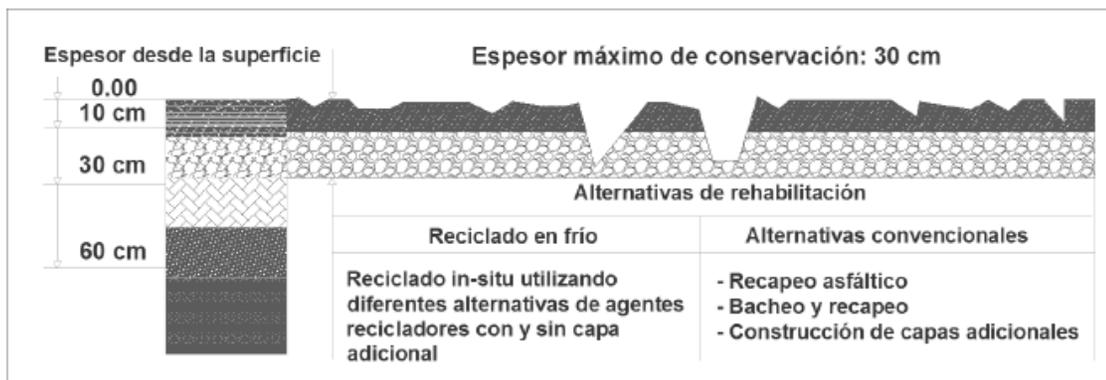
En el manual de reciclaje en frío de Wirtgen Group muestra una guía fácil para determinar las opciones de rehabilitación utilizando reciclado comparadas con las alternativas convencionales.

Figura 13. **Alternativa de rehabilitación para falla superficial**



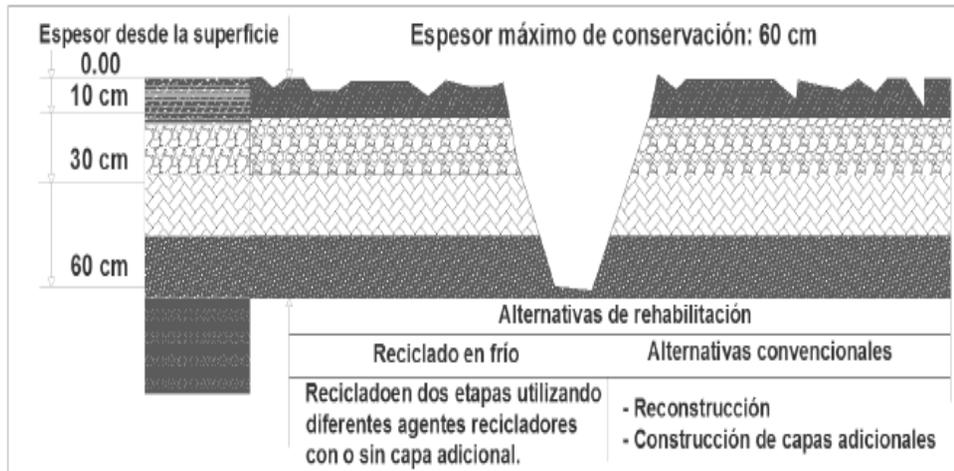
Fuente Wirtgen, Manual de reciclado en frío

Figura 14. **Alternativa de rehabilitación para falla estructural en capas superiores**



Fuente Wirtgen, Manual de reciclado en frío

Figura 15. **Alternativa de rehabilitación para falla por asentamiento de la estructura**



. Fuente Wirtgen, Manual de reciclado en frío

3.9 Condiciones de uso

En el mes de septiembre de 2014 se realizaron encuestas a profesionales que trabajan como supervisores para COVIAL, haciendo labores de mantenimiento y proyectos de rehabilitación de carreteras en la República de Guatemala, así como ingenieros de empresas de renombre en Guatemala, con el propósito de establecer las condiciones adecuadas para la aplicación de la metodología.

Vale la pena mencionar que solo el 20 % de los profesionales en el área vial entrevistados en COVIAL tienen el conocimiento necesario sobre la metodología RAP, esta afirmación puede respaldarse con las respuestas obtenidas de las encuestas y la pocos profesionales en el área vial entrevistados cuyo conocimiento se hace hermético y poco divulgado y los proyectos en Guatemala en los que la metodología ha sido aplicada son muy

pocos teniendo poca investigación de campo sobre la funcionalidad de una carpeta aplicando material reciclado, pero las empresas que son pioneras en el tema si tiene su propio banco de datos e información que les permite respaldar la buena aplicación del método, aunque entre los profesionales supervisores el desconocimiento es evidente según se refleja en el análisis de las respuestas a las preguntas planteadas en COVIAL, a un total de 79 profesionales supervisores, aunque cabe destacar que los pocos que conocen y han aplicado la metodología determinan puntos de relevancia que deben tomarse en cuenta para las condiciones en el uso del RAP.

Esta información se complementó con la encuesta realizada en el año 2013, a otro grupo de profesionales del área vial.

A continuación se describen las condiciones relevantes en que debe aplicarse la metodología RAP.

3.9.1. Condiciones de asfalto

El 20 % de los encuestados que si tienen algún tipo de conocimiento con la aplicación del método RAP para rehabilitación de carreteras, sugieren que de acuerdo al estado de la estructura del pavimento y conforme a la normativa correspondiente para la aplicación de reciclaje de pavimentos, así debe ser la decisión que se tome para utilizar la técnica adecuada de rehabilitación con reciclado de pavimentos, puede ser en planta o in situ según sea el caso particular y la experiencia.

3.9.2. Condiciones climáticas

Se pudo determinar que la variación de las condiciones climáticas afecta directamente la utilización de este método, por ejemplo, en condiciones de baja temperatura, lo trabajable de los elementos es más lenta y por lo contrario en climas cálidos se facilita su trabajabilidad. Un clima seco permite un mayor rendimiento sin riesgo de contaminación del área fresada, no así en época lluviosa cuando las aguas llevan consigo una gran cantidad de materia orgánica, que es un enemigo de la estructura de pavimento.

Un factor muy importante a considerar es la temperatura de los lugares donde se aplicara la mezcla ya que debe tenerse sumo cuidado de colocar la mezcla a la temperatura que exigen las especificaciones, esto es vital para obtener una buena capa de rodadura.

Estas condiciones son iguales para la aplicación de los métodos de rehabilitación convencional o tradicional.

3.9.3. Condiciones topográficas

La topografía del tramo carretero a rehabilitar inside en la utilización del método, principalmente dificulta la operación de la maquinaria, aquellos tramos que tienen pendientes muy pronunciadas, ya que Guatemala tienen áreas montañosas.

3.9.4. Condiciones ambientales

De acuerdo a las disposiciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales exige realizar una evaluación de Impacto Ambiental a los proyectos

de mantenimiento ejecutados por parte de Covial, el 20 % de los entrevistados que argumentaron tener algún conocimiento en el uso de RAP estuvieron de acuerdo en que la utilización del método ayuda a que el material reciclado sea utilizado en el porcentaje que se requiera o que se determine, reduciendo la contaminación, acumulación de material y de polvo. Además se disminuye la explotación de nuevos bancos, reduciendo el impacto en el terreno.

3.9.5. Condiciones de tránsito

Una de las dificultades que se afrontan con el tránsito cuando se utiliza alguna de las técnicas de rehabilitación de carretera, es el volumen continuo de tránsito, pero la ventaja de la utilización del método RAP es la posibilidad de trabajar la rehabilitación por carriles.

3.9.6. Condiciones económicas

Se puede determinar que el 20 % de los encuestados y los profesionales entrevistados que han tenido algún acercamiento a la utilización de este método, coinciden en que el uso de este método beneficia económicamente, ya que es posible utilizar los materiales existentes y se reduce el tiempo de ejecución del proyecto, lo cual influye en el costo del mismo.

Es importante mencionar que en el año 2011, la Asociación Nacional del Pavimento Asfáltico (NAPA) por sus siglas en inglés en colaboración con la Administración Federal de Carreteras (FHWA) por sus siglas en inglés, realizaron una encuesta en la temporada de construcción, determinando que se colocaron más de 66,7 millones de toneladas de RAP para utilizar en nuevas

aceras en los Estados Unidos, ahorrando a los contribuyentes más de \$ 2,2 mil millones de dólares.

A continuación se presentan dos tablas de costos unitarios, la tabla número IV correspondiente a una mezcla asfáltica en planta hecha de manera convencional con agregados vírgenes y la tabla número V una mezcla asfáltica hecha en planta adicionando un 20 % de RAP.

Como se podrá observar la variación del precio unitario de una mezcla asfáltica utilizando RAP respecto a una mezcla sin utilizar RAP varia en un 13% menos del costo, lo que representa un ahorro significativo de Q. 78.46 por Tonelada utilizando un 20 % de RAP. Si por ejemplo se aplicara a un proyecto donde se van a emplear 25,000 toneladas de mezcla asfáltica, supondría un ahorro de 25,000 toneladas x Q.78.46 ahorro por tonelada utilizando 20 % de RAP = Q. 1,961,500.00.

Tabla IV. Costos unitarios de mezcla asfáltica en planta convencional

		TON 600					
ACTIVIDAD: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA CONVENCIONAL				REGLON: ETE-02			
No.	TIPO DE MAQUINA		HORAS POR DIA	FACTOR DE USO	TOTAL DE HORAS	Q/HORA	TOTAL
	RENDIMIENTO Maquilado de concreto	600 TON/POR DIA					
1		Ton	600	1	600	Q80.00	Q48,000.00
1	Cargador frontal	Hrs.	8	1	8	Q500.00	Q4,000.00
1	Generador electrico	Hrs.	10	1	10	Q350.00	Q3,500.00
1	Camión de volteo	Hrs.	10	1	10	Q110.00	Q1,100.00
						SUBTOTAL	Q56,600.00
No.	MANO DE OBRA		HORAS C/U		TOTAL DE HORAS	Q/HORA	TOTAL Q
1	Control de producción		10		10	Q35.82	Q358.20
1	Control de calidad		10		10	Q35.00	Q350.00
2	Ayudantes		10		10	Q15.00	Q300.00
1	Control de materiales		10		10	Q18.00	Q180.00
						SUBTOTAL	Q1,188.20
			COSTO DE HERRAMIENTA= 5 % DE MANO DE OBRA				Q59.41
No.	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD			Q/HORA	TOTAL Q
	Agregados	m3	275			Q200.00	Q55,000.00
	Diesel	gal	1300			Q28.21	Q36,673.00
	AC-20	gal	8400			Q25.40	Q213,360.00
						SUBTOTAL	Q305,033.00

RESUMEN DE CONCEPTOS

COSTO DIRECTO	Q362,880.81
COSTO UNITARIO POR TONELADA	Q604.80

Fuente: EMPRESA CODICO

Tabla V. Costos unitarios de mezcla asfáltica utilizando 20 % de RAP

		TON 600					
ACTIVIDAD: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA CON 20 % DE RAP				RENLON: ETE-02			
No.	TIPO DE MAQUINA		HORAS POR DIA	FACTOR DE USO	TOTAL DE HORAS	Q/HORA	TOTAL
	RENDIMIENTO	600 TON/POR DIA					
1	Maquilado de concreto	Ton	600	1	600	Q80.00	Q48,000.00
1	Cargador frontal	Hrs.	8	1	8	Q500.00	Q4,000.00
1	Generador electrico	Hrs.	10	1	10	Q350.00	Q3,500.00
1	Camión de volteo	Hrs.	10	1	10	Q110.00	Q1,100.00
SUBTOTAL							Q56,600.00
No.	MANO DE OBRA		HORAS C/U		TOTAL DE HORAS	Q/HORA	TOTAL Q
1	Control de producción		10		10	Q35.82	Q358.20
1	Control de calidad		10		10	Q35.00	Q350.00
2	Ayudantes		10		10	Q15.00	Q300.00
1	Control de materiales		10		10	Q18.00	Q180.00
SUBTOTAL							Q1,188.20
COSTO DE HERRAMIENTA= 5 % DE MANO DE OBRA							Q59.41
No.	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD			Q/HORA	TOTAL Q
	Agregados	m3	210			Q200.00	Q42,000.00
	Diesel	gal	1300			Q28.21	Q36,673.00
	AC-20	gal	6960			Q25.40	Q176,784.00
	Agregado de aporte (perfilado y preparado)	m3	50			Q50.00	Q2,500.00
SUBTOTAL							Q257,957.00

RESUMEN DE CONCEPTOS

COSTO DIRECTO	Q315,804.61
COSTO UNITARIO POR TONELADA	Q526,34

Fuente: EMPRESA CODICO

4. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA EXISTENTE SOBRE EL RAP

En este capítulo se presenta un breve análisis de las normas y especificaciones vigentes en nuestro país que pueden utilizarse para aplicación de la técnica de RAP.

4.3. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, septiembre 2001, Guatemala

Este conjunto de especificaciones generales, representa un compendio de Normas de forma general que sirve para dictaminar las relaciones entre la Dirección General de Caminos y los contratistas, para todas sus obras que se realicen en Guatemala.

Específicamente interesa analizar en la División 400 de Pavimentos Asfálticos, Sección 402 Pavimento de Concreto Asfáltico Reciclado en Caliente.

En esta sección se define que es el pavimento de concreto asfáltico compuesto de materiales que provienen del fresado de una carpeta existente y se puede incluir la recuperación parcial o total de la base subyacente y si es especificado combinado con agregados nuevos y cemento asfáltico, incluyendo agentes rejuvenecedores o recicladores cuando se requieran, mezclados en caliente en una planta para su posterior colocación.

Los materiales que se pueden emplear para la fabricación del Pavimento de Concreto Asfáltico Reciclado en Caliente son: Agregado Grueso Nuevo retenido en el tamiz 4.75 mm. y lo que pasa de este tamiz es considerado como Agregado Fino Nuevo, o puede hacerse una mezcla compuesta por agregados

nuevos y reciclados o recuperados, polvo mineral, cemento asfáltico de tipo, grado y especificación según la tabla No. VI y con una viscosidad entre 160 y 240 Pascales según AASHTO T-202, el rango de temperaturas para producir los especímenes en el laboratorio debe cumplir con una Viscosidad Cinemática de 0.15 y 0.19 Pascales, según AASHTO T-201, debe contener un aditivo anti desvestimiento, un agente reciclador que cumpla con lo establecido en la Norma ASTM D 4552.

Los materiales deben tener un estricto control de calidad para que el proceso sea validado, se deben presentar muestras del material y resultados de los ensayos de laboratorio, por parte del Contratista y es el Delegado Residente quien hace la aprobación.

Tabla VI. **Requisitos del Cemento Asfáltico**

TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFALTICO	ESPECIFICACION
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> • AC-2.5 • AC-5 • AC-10 • AC-20 	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • 85-100 • 120-150 • 200-300 	AASHTO M 20

Fuente: especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes

En la preparación de la mezcla se debe utilizar un máximo de 35 % de RAP cuando se utilizan plantas de bachada y un máximo de 50 % de RAP para plantas de producción continua, estas plantas deben ser modificadas para procesar el material reciclado de acuerdo a las especificaciones del fabricante

del equipo y tipo de planta, se puede utilizar como referencia lo que se establece en el Manual MS-20 del Instituto del Asfalto.

4.2. Especificaciones Especiales –COVIAL- 2013 vigentes

Es un conjunto de Normas formuladas por la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL) y se aplican únicamente a contratos de Mantenimiento Vial, formando parte de los documentos de contratación y constituir una base para uniformizar todos los procedimientos de mantenimiento, en estas especificaciones se definen dos secciones que pueden ser aplicables.

La sección 302 que se refiere a la fabricación de concreto asfáltico en frío, y es la actividad de fabricación de una mezcla de agregados pétreos que deben cumplir con granulometrías establecidas según el tipo de graduación A (38.1 mm (1 ½”) máximo), B (25 mm (1”) máximo) , C (19 mm (¾”) máximo) o D (12.5 mm (½”) máximo) con un aglomerante bituminoso emulsificado que cumpla con lo establecido en la Norma AASHTO M-140.

La sección 303 se refiere a la fabricación de concreto asfáltico en caliente, es la actividad de fabricación de una mezcla de agregado pétreos que deben cumplir con la granulometría correspondiente según el tipo de graduación y tamaño máximo nominal sea A (50.8 mm 2”), B (38.1 mm 1 ½”), C (25.4 mm 1”) ,D (19 mm ¾”) , E (12.5 mm ½”) , F (9.5 mm ⅜”) con un aglomerante bituminoso que debe cumplir con lo establecido en la tabla No. VII.

Tabla VII. **Especificaciones del cemento asfáltico**

TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFALTICO	ESPECIFICACION
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> • AC-10 • AC-20 • AC-40 	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • 40 – 50 • 60 – 70 • 85 – 100 • 120-150 	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none"> • 64-22 • 70-22 • 76-22 • 82-22 	AASHTO MP 1

Fuente: especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes

Estas especificaciones pueden ser aplicables ya que los requisitos tanto de la granulometría como del material bituminoso son los mismos que se deben aplicar para la mezclas con material reciclado, además en la Sección se especifica que las Normas anteriores se deben complementar con las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, 2001.

4.3. American Association of State Highway and Transportation Oficial (AASHTO) 1993

A pesar de las similitudes entre la elaboración de mezclas asfálticas vírgenes o convencionales y mezclas asfálticas RAP, existen aún desafíos para maximizar el uso de RAP.

De acuerdo con AASHTO M 323, las directrices actuales de selección para empleo de mezclas de pavimento reciclado, se formularon con base a la

suposición de que la mezcla completa se produce entre los aglutinantes vírgenes y RAP.

Tabla VIII. **Incorporación porcentual de RAP**

Recomendación de Asfalto virgen y grado de aglutinante	RAP porcentual
Ningún cambio en la selección de carpeta	<15
Selección de aglutinante virgen un grado más suave de lo normal	15-25
Seguir las recomendaciones de las cartas de mezcla	> 25

Fuente: Federal Highway Administration HR-11-021

Se desarrollaron varias encuestas en el año 2007 por North Carolina Department of Transportation (NCDOT), y en ellas se determinó que debe tomarse en cuenta al momento de aplicar la metodología RAP, tales como las limitaciones en las especificaciones técnicas para su aplicación, que se debe procesar y analizar adecuadamente la granulometría de los agregados, también tomar en cuenta el material bituminoso que poseen los agregados para mezclarlos con los agregados vírgenes, así como un estricto control de calidad de estos materiales y del polvo y la humedad.

4.4. Manual Centroamericano de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA) 2004

Este Manual de especificaciones se publicó para la armonización y modernización de las técnicas de las normas técnica aplicables para las

carreteras con el propósito de mejorar la capacidad de la región centroamericana para mitigar efectos transnacionales, ayudando a reducir la vulnerabilidad del sistema vial ante los desastres naturales para acatar lo dispuesto en la Resolución N° 03-99, dictada en la vigésima primera reunión del consejo sectorial de ministros de transporte de Centroamérica (XXI COMITRAN), celebrada el jueves 18 de noviembre de 1999 en la ciudad de Guatemala.

Se tomarán como puntos de análisis dos secciones en particular, la sección 403 que se refiere a la mezcla asfáltica reciclada preparada en planta central en caliente y la sección 408 que se refiere a la mezcla asfáltica procesada en frío para capas de base incorporando material de reciclado

En la sección 403, se describe como la construcción de una o más capas asfálticas utilizando mezcla asfáltica que es producida en caliente en planta a la cual se le incorpora material reciclado o recuperado, la combinación de la granulometría del agregado nuevo con el agregado reciclado, la combinación del cemento asfáltico nuevo y el reciclado y el tipo de aditivo que permite la mejora de adherencia, así como el agente de reciclaje, se podrá utilizar hasta un 50 % del material reciclado. Los materiales deben cumplir con lo establecido en las siguientes tablas.

Tabla IX. **Requerimiento de caras fracturadas**

Tránsito, en 10 ⁶ ESAL	Profundidad desde la superficie	
	<100 mm	>100 mm
<0.3	55/-	-/-
> 0.3 – 1	65/-	-/-
>1 - 3	75/-	50/-
>3 - 10	85/80	60/-
>10- 30	95/90	80/75
>30 – 100	100/100	95/90
>100	100/100	100/100

Fuente: manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

Tabla X. **Angularidad del agregado fino**

Tránsito, en 10 ⁶ ESAL	Profundidad desde la superficie	
	<100 mm	>100 mm
<0.3	-	-
>0.3 - 1	40 min.	-
>1 - 3	40 min.	40 min.
> 3 - 30	45 min.	40 min.
>30	45min.	45 min.

Fuente: manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

Tabla XI. **Partículas chatas y alargadas**

Tránsito, en 10 ⁶ ESAL	Máx. porcentaje en peso
< 1	-
> 1	10

Fuente: manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

Para que la mezcla tenga la aceptación se debe presentar una muestra de la mezcla asfáltica reciclada, muestra del agregado que se reciclo, muestra de agentes de reciclaje de acuerdo a la dosificación del diseño, fuentes de todos los tipos de materiales de reciclaje, informes de laboratorio de los ligantes y el agente de reciclaje.

Las plantas asfálticas deben ser modificadas, según la recomendación del fabricante para el correcto procesamiento de mezcla asfáltica reciclada ya sea en las plantas bacheras o las plantas con tambor secador y mezclador.

Se debe evaluar el contenido de asfalto, la granulometría del agregado , la densidad, la rugosidad superficial, las deflexiones medidas en la superficie, la deformación permanente y la fatiga, cuyos límites de tolerancia están especificadas en la sección 403.06 de aceptación y referente a la siguiente tabla:

Tabla XII. Muestreo y ensayo

Material o producto	Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba o especificación	Frecuencia	Punto de muestreo
Capa de superficie de concreto asfáltico procesado en planta en caliente, Con material recuperado.	Contenido de asfalto	I	FLH T 516, FLH T 517, o AASHTO T 164	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación, antes de la compactación
	Granulometría (1) 4.75 mm 600µm 75mm Otros tamices especificados	I II I II	AASHTO T 30 (4)	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación, antes de la Compactación
	Densidad en núcleos (2)	I	AASHTO T 166 y AASHTO T 209,	1 cada 500 Toneladas	En sitio, no más de dos semanas después de la compactación
	Rugosidad superficial (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 m a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la compactación
	Deflexión en la superficie del pavimento (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 m a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la compactación
	Deformación permanente (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por el Contratante	A definir por el Contratante
	Fatiga (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por Administración	A definir por Administración

Fuente: manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

En la sección 408 se refiere a la mezcla asfáltica procesada en frío para capas de base incorporando material de reciclado cuyo trabajo consiste en la construcción de una o más capas de base de mezcla asfáltica en frío incorporando material de reciclado de capas asfálticas y/o granulares, este tipo de proceso puede realizarse *in situ* o en planta procesadora, en esta operación es importante considerar la incorporación de agregado nuevo.

La mezcla asfáltica contendrá los siguientes materiales: mezcla asfáltica reciclada, agregado reciclado, agregado nuevo, agua, emulsión asfáltica, agente rejuvenecedor para ligante asfáltico y/o cal que cumpla los parámetros

de diseño de la tabla XIII. Se debe presentar la dosificación correspondiente de cada uno de los materiales.

Tabla XIII. Requerimientos para mezcla asfáltica procesada en frío para capas de base incorporando material reciclado

Parámetros de diseño (i)	Especificación	Procedimiento de ensayo
(a) Recubrimiento (%), mínimo (1) Capa de base	50	Visual (ii)
(b) Resistencia (iii) R_i a 22.8 +/- 3°C (1) Cura temprana (iv), mínimo (2) Cura total y condicionamiento con humedad (v), mínimo	70 78	(iii)
(c) Estabilidad Marshall (kN) (1) Mínimo a 22.2 +/- 1°C (2) Estabilidad retenida (vi) (%), mínimo	2.22 50	AASHTO T 245

- I. De acuerdo con Instituto del Asfalto; Manual Series No. 19 (MS-19).
- II. Se debe evaluar la mezcla posterior al secado de superficie, cuantificando el porcentaje de partículas recubiertas.
- III. $R_i = R + 0.05 C$
Donde:
R = valor de resistencia (AASHTO T 190).
C = valor de cohesiómetro (AASHTO T 246)
- IV. Curado en molde durante 24 horas a la temperatura especificada.
- V. Curado en molde durante 72 horas a la temperatura especificada y con desecación de vacío.
- VI. Después de saturación de vacíos e inmersión.

Fuente: manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

Para la producción de la mezcla asfáltica en frío pueden utilizarse mezcladores rotatorios, escarificadoras en frío, sistema de procesamiento móviles en serie, plantas mezcladoras estacionarias, siendo estos equipos autopropulsados, capaces de escarificar, triturar, mezclar, dosificar y colocar la mezcla asfáltica, estos equipos deben tener la capacidad de regular la tasa de adición de emulsión asfáltica, agente rejuvenecedor del ligante asfáltico y agua.

4.5. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA) 2010

El documento muestra la normativa consensuada del mantenimiento de carreteras cuyo objetivo principal es armonizar las normativas existentes en la región centroamericana. En el manual en mención se describe en la sección 313 reciclaje en frío de pavimentos bituminosos y la sección 315 que describe el reciclaje en caliente de pavimentos asfálticos.

La sección 313 se refiere al trabajo que consiste en pulverizar la superficie bituminosa en el lugar o solo la base o ambas capas en conjunto llegando a la profundidad que se desea según diseño, luego mezclado con un ligante o agua si es necesario, con el material que se pulverizo, para después esparcirlo y compactar la mezcla.

El ligante debe ser una emulsión asfáltica que debe cumplir con los requerimientos normalmente de tipo CSS-1 o igual.

Para el procedimiento de ejecución debe tomarse en cuenta que la temperatura atmosférica sea de 15 grados centígrados o más y no debe estar lloviendo, se deben dejar los traslapes indicados en el literal b) de la sección 313.03, para la dosificación se indica que el ligante debe ser aplicado al

material bituminoso pulverizado hasta que el 100 % pase por el tamiz 2" (50 mm) , posteriormente es compactado con una o más pasadas del rodo vibratorio y el rodaje final se debe hacer con rodo de acero vibratorio, estático o de rodos neumáticos con más de 18 toneladas de peso, la compactación debe ser a un mínimo del 96% de la densidad del espécimen compactado en el laboratorio de acuerdo con la Norma AASHTO T-245 y la frecuencia de la prueba de densidad se debe realizar una por cada 5,000 metros cuadrados, después de la compactación se le debe aplicar un sello de emulsión a la superficie en un rango de 0.11 lt/m² y material secante antes de abrir al tránsito.

Las recicladoras deben ser máquinas autopropulsadas capaces de pulverizar in situ, los materiales bituminosos o bases a la profundidad que se ha diseñado en una sola pasada, deben tener un rotor cortante con un ancho mínimo de 1.8 m, las maquinas deben tener la capacidad de cribado y de pulverizar para reducir los tamaños antes de que sean mezclados con el ligante.

Los rodillos compactadores deben ser de ruedas de acero , llantas neumáticas o combinación de ambos de 10 a 18 toneladas de peso y 213 cm de ancho.

La sección 315 se refiere a la construcción de una o más capas asfálticas con la incorporación de mezcla asfáltica recuperada o reciclada y/o agregado pétreo procedente del perfilado del pavimento y los agregados vírgenes necesario para la corrección de la granulometría de modo que se garantice la calidad de la mezcla, ligante asfáltico que debe ser una emulsión asfáltica que cumpla normalmente con los requerimiento CSS-1 o igual según especificaciones AASHTO M-208, ASTM D-2397 y los ensayos AASHTO T-59 o ASTM D-2444 y agente de reciclaje, cuyas características física y químicas

permitan devolverle al asfalto envejecido las condiciones necesarias para la nueva mezcla procesado en planta en caliente.

El proceso de construcción consiste en el perfilado del pavimento existente, para luego colocar la mezcla reciclada en el mismo tramo de vía donde se disgrego o perfiló el pavimento para su reciclado.

El material perfilado y reciclado se debe acarrear a la planta central para su posterior procesamiento, si se apila el material debe protegerse para evitar contaminación de materiales extraños y de la lluvia, previo a la dosificación para la confección de la mezcla reciclada deberá garantizar la adecuada disgregación del material, se logra mediante una leve trituración del material o mediante el uso de una malla de cinco cms de abertura colocada sobre la tolva de dosificación del RAP.

Para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente reciclada debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones: la humedad de los materiales reciclados, la temperatura de la mezcla reciclada, la temperatura de los materiales reciclados, la producción de la mezcla deseada, la capacidad del extractor de aire del tambor mezclador o de la balanza de pesaje sin embargo el porcentaje de materiales recuperados no podrá ser mayor del 30% por peso de la mezcla total.

Para el diseño de la mezcla se debe realizar un análisis previo de laboratorio del material reciclado que debe incluir: Muestreo, extracción de asfalto, graduación de los agregados, porcentaje de asfalto, viscosidad absoluta, penetración, abrasión, sanidad.

4.6. Instituciones y normativa

La institución directamente responsable del mantenimiento de la red vial de Guatemala es la Unidad Ejecutora de Conservación Vial –COVIAL-, de acuerdo a su creación y regulación en el año 1997, según Acuerdo Gubernativo No. 186-97. Es una dependencia del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda –CIV-, encargada de velar por la ejecución, administrativa y técnica del mantenimiento de la red vial nacional de carreteras registradas, en coordinación con la Dirección General de Caminos -DGC-, realizando trabajos de mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de pavimentos.

Actualmente, el Fondo Social de Solidaridad, creado el 11 de marzo del 2009, bajo el Acuerdo Gubernativo 71-2009, cuyo objetivo es ejecutar programas, proyecto y obras competentes al Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda –CIV-, también realiza trabajos de rehabilitación de carreteras en Guatemala.

Los trabajos que realizan estas instituciones gubernamentales se valen de la normativa anteriormente mencionada aplicándola según sea la necesidad particular.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para determinar la cantidad de personas que se deben encuestar, es decir para obtener el espacio muestral, en el Libro de Sampieri sugiere un software llamado Decisión Analist STATS. 2.0, en el cual se establecen parámetros de para la toma de decisión como se muestra a continuación:

Figura 16. Resultados software Decisión Analist STATS 2.0



Fuente: elaboración propia

Tamaño del Universo 100 personas

Porcentaje de Error 5%

Porcentaje de Nivel Estimado 50%

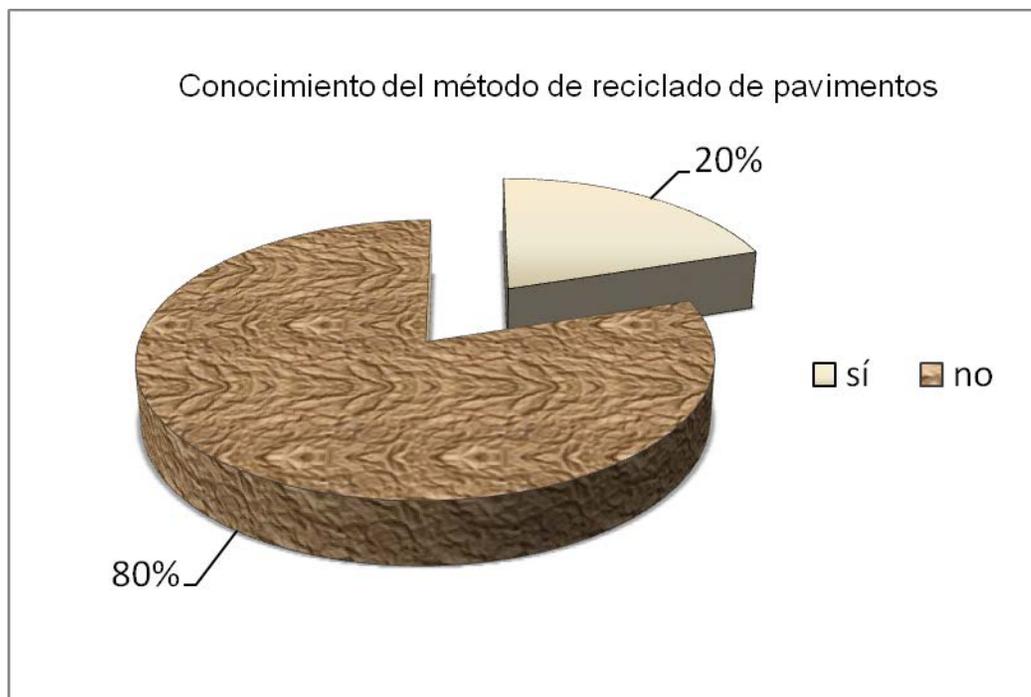
Porcentaje de Confiabilidad 95 %

Espacio Muestral 79 personas

5.1. Conocimiento del método de reciclado de pavimentos

Del total de 79 profesionales encuestados el 20 % respondió tener un conocimiento acerca del método de reciclado de pavimentos, el 80% no tiene conocimiento acerca de la metodología.

Figura 17. Conocimiento del método de reciclado de pavimento

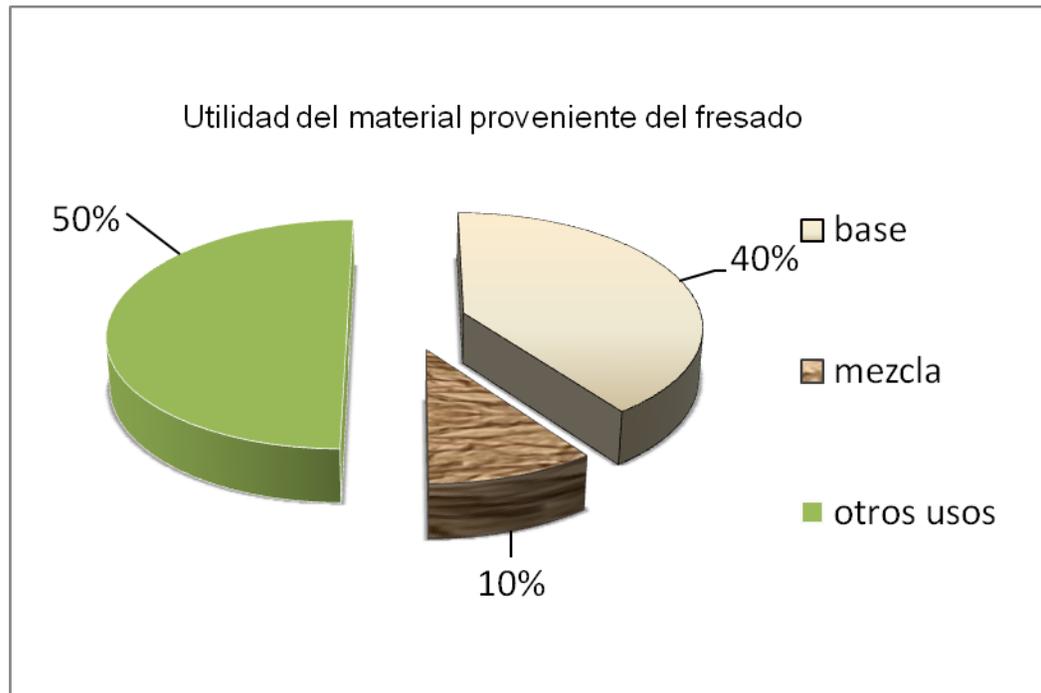


Fuente: elaboración propia

5.2. Utilidad del material proveniente del fresado

El 20 % de los supervisores con conocimiento de reciclado de pavimentos respondió que el 40 % del material proveniente del fresado lo utilizaron para una base, el 10 % para mezcla y el 50 % para otros usos como en caminos rurales, desperdicio, etc.

Figura 18. **Utilidad del material proveniente del fresado**

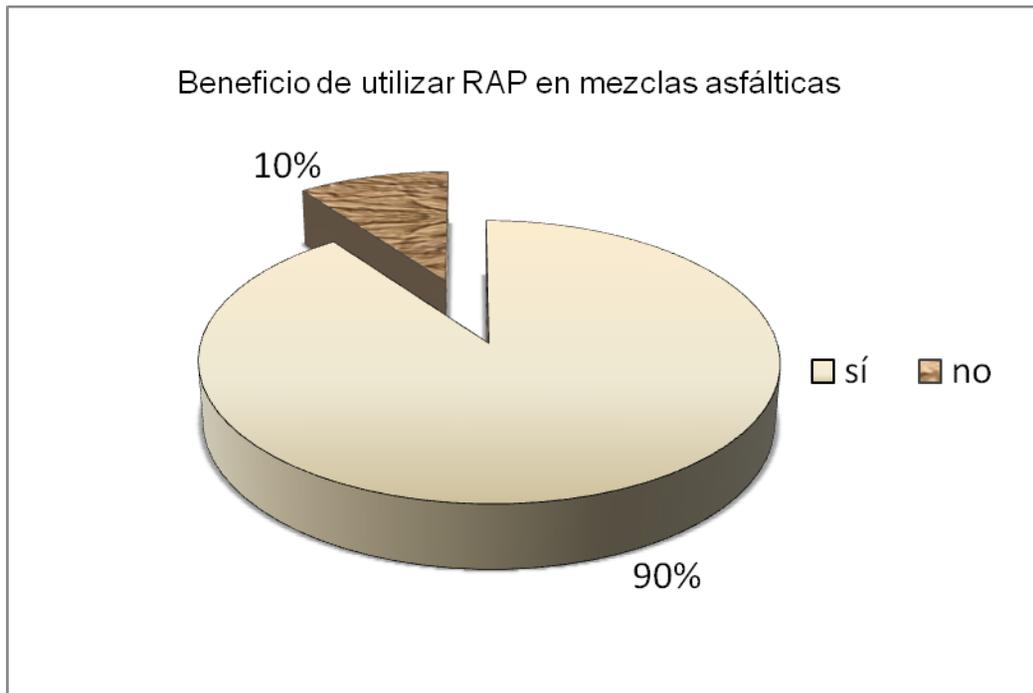


Fuente: elaboración propia

5.3. **Beneficio para el país al utilizar el RAP o reciclado de pavimentos en mezclas asfálticas**

Al dar una breve explicación sobre el RAP el 90% de los encuestados determinó que si beneficiaría al país el uso de esta metodología como una alternativa para la rehabilitación de carreteras por los grandes beneficios que representa.

Figura 19. **Beneficio de utilizar RAP en mezclas asfálticas**

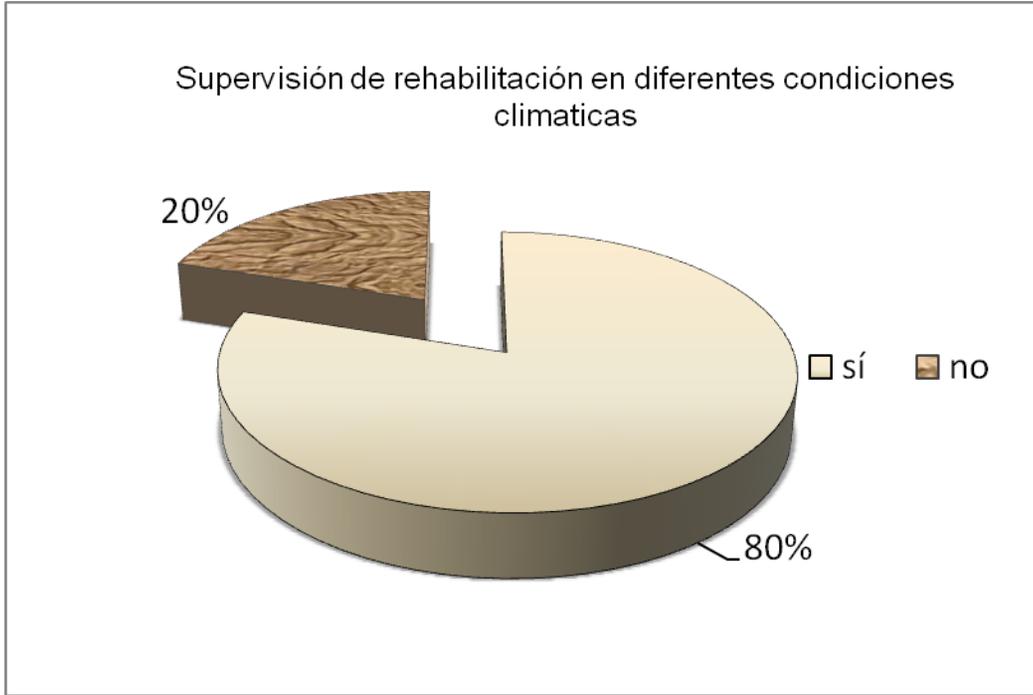


Fuente: elaboración propia

5.4. Supervisión de rehabilitación de carreteras en diferentes condiciones climáticas.

Guatemala cuenta con una diversidad de condiciones climáticas, zonas frías, cálidas, húmedas, secas, etc. Esa diversidad permite la ventaja de supervisar rehabilitación de carreteras en diferentes condiciones climáticas, el 80 % de los encuestados respondió que sí ha supervisado la rehabilitación en diferentes condiciones climáticas, el 20 % restante respondió que no por la poca experiencia en supervisión de proyectos.

Figura 20. **Supervisión de rehabilitación en diferentes condiciones climaticas**

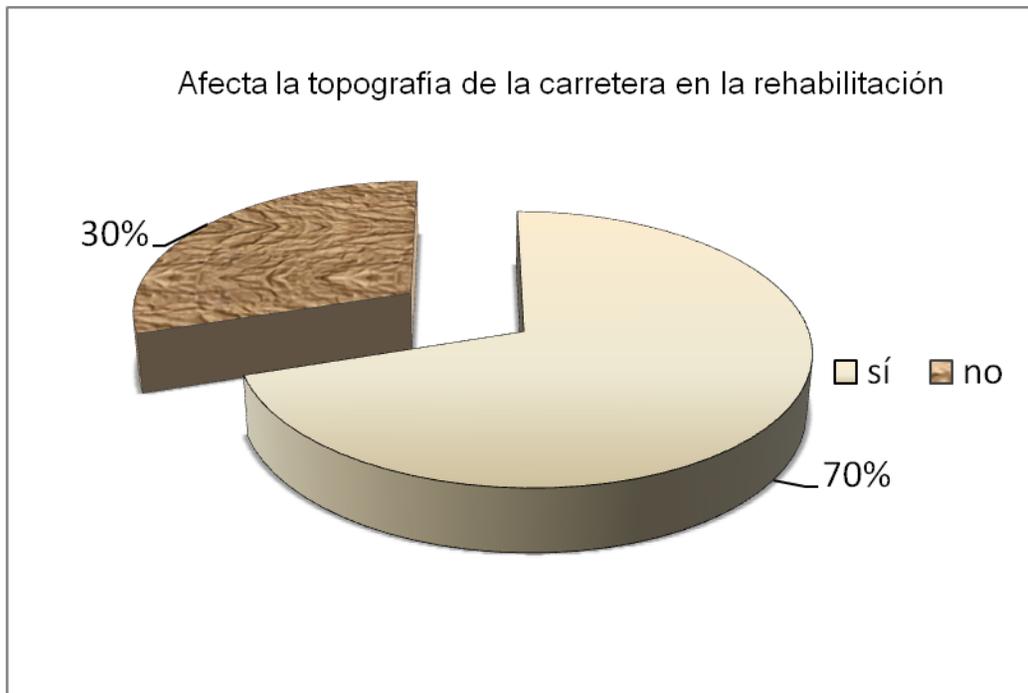


Fuente: elaboración propia

5.5. La incidencia de la topografía en la rehabilitación de carreteras.

Nuestro país es atravesado por una cordillera volcánica y montañosa tiene diferentes presentaciones topográficas y aun pendientes muy elevadas que en algún momento crean dificultad al rehabilitar una carretera. De los encuestados el 70 % respondió que la topografía si crea dificultad al rehabilitar una carretera.

Figura 21. **Afecta la topografía de la carretera en la rehabilitación**

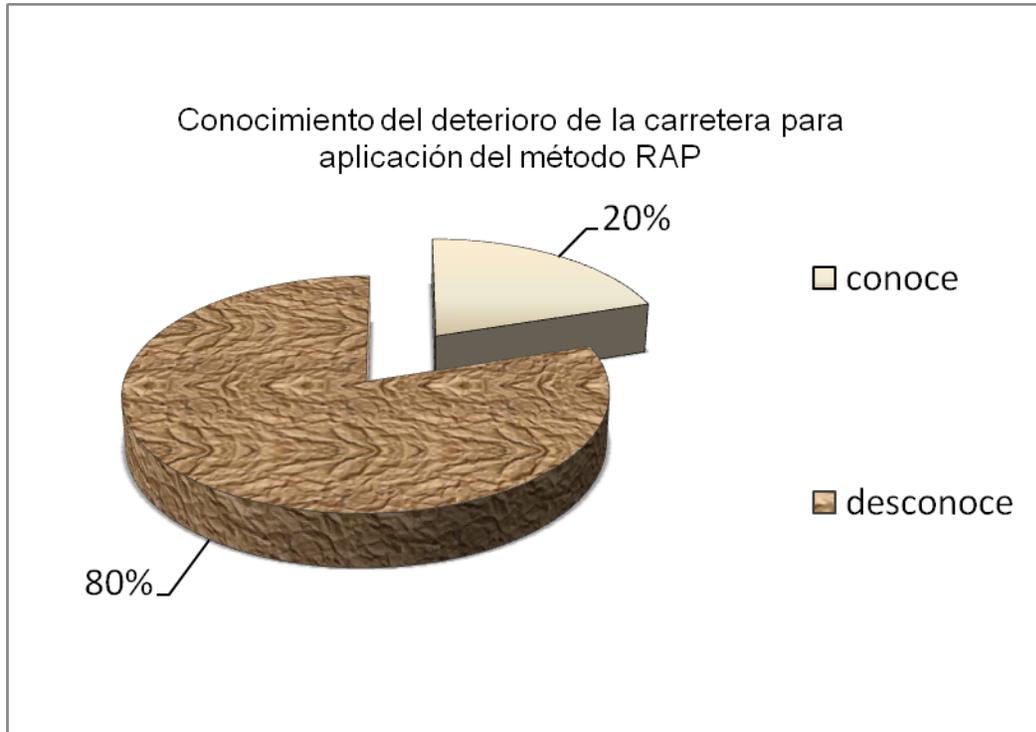


Fuente: elaboración propia

5.6. Conocimiento del deterioro que debe tener la estructura del pavimento para aplicar la metodología RAP.

El 80 % desconoce el tipo de deterioro de la estructura del pavimento para que pueda aplicarse la metodología RAP, el 20 % que si conoce indica que se realiza una observación y un recorrido por el tramo o los tramos a rehabilitar para determinar el tipo de deterioro, esto con el fin de aplicar el método RAP de la manera adecuada posible.

Figura 22. **Conocimiento del deterioro de la carretera para aplicación del método RAP**

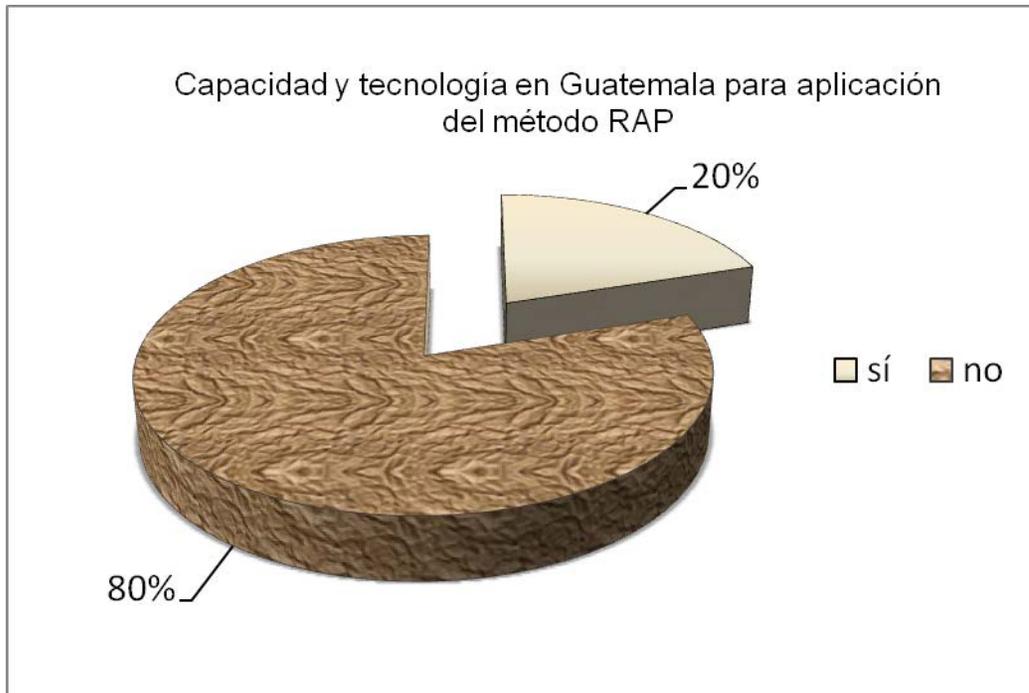


Fuente: elaboración propia

5.7. Capacidad y tecnología en Guatemala para aplicar el método RAP.

El 80 % de los encuestados argumentó que Guatemala no tiene la capacidad y tecnología para aplicar el método RAP, este porcentaje es un reflejo del desconocimiento que hay acerca del método.

Figura 23. Capacidad y tecnología en Guatemala para aplicación del método RAP

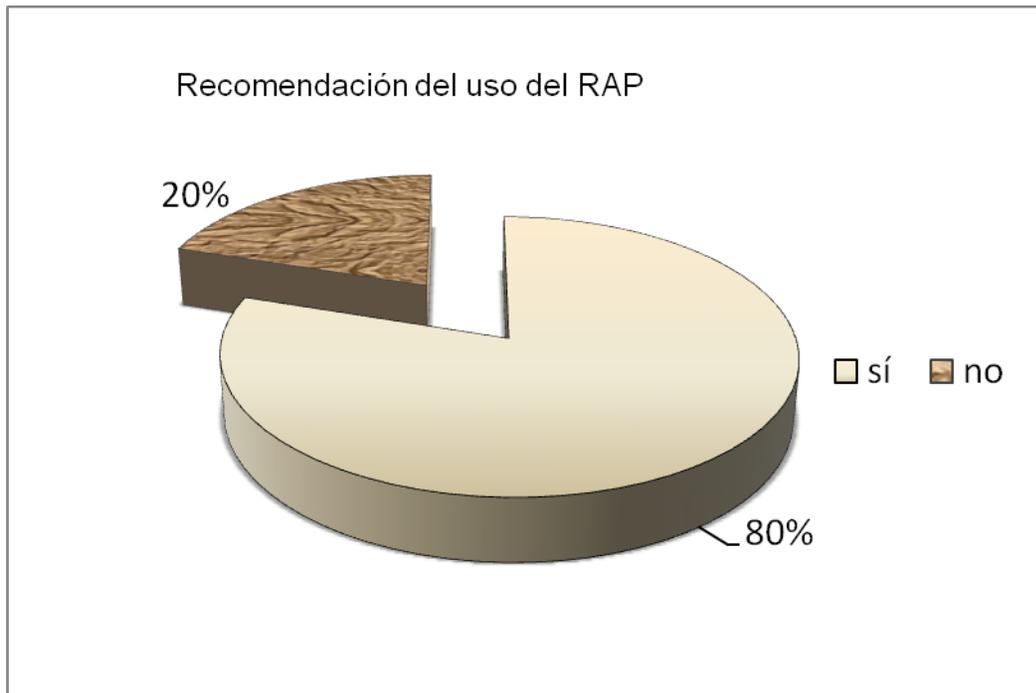


Fuente: elaboración propia

5.8. Recomendación del uso del RAP más que una mezcla diseñada con materiales vírgenes.

El 80% de los encuestados respondió que si recomendaría el uso del RAP como método para rehabilitar carreteras más que una mezcla diseñada con materiales vírgenes y el otro 20 % restante respondió que no lo recomendaría.

Figura 24. Recomendación del uso del RAP

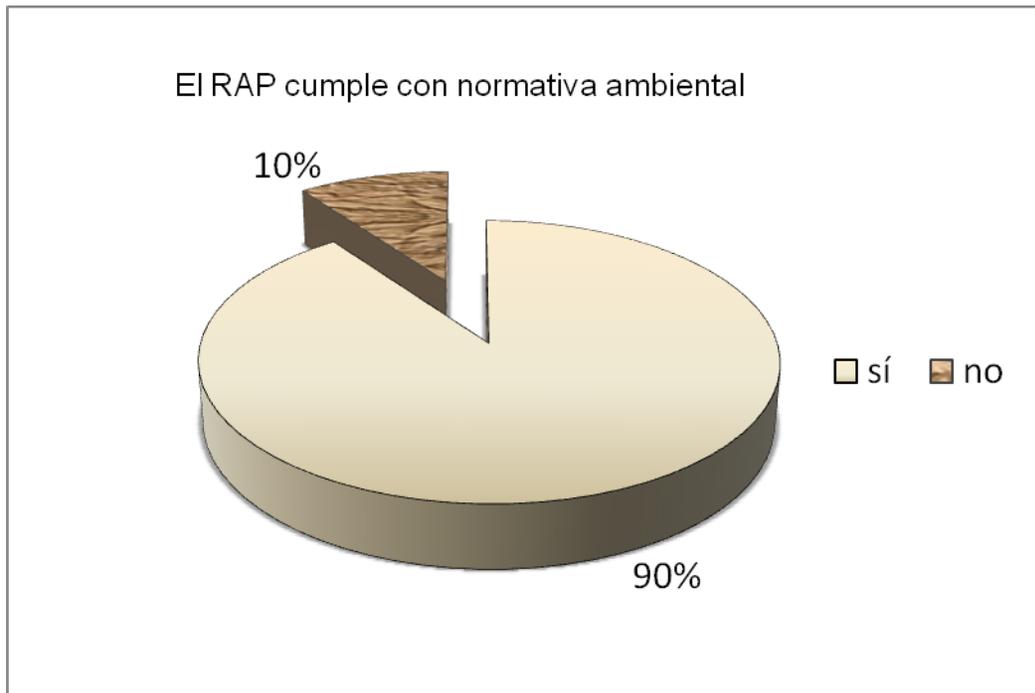


Fuente: elaboración propia

5.9. El RAP cumple con normativa ambiental

Partiendo del punto de vista que al hablar de reciclar un pavimento, efectivamente es un método amigable con el medio ambiente, porque disminuye el uso de materiales nuevos, sobre explotación de bancos de materiales, acarreo de materiales a botaderos, por lo tanto el 90 % de los encuestados respondió que si cumple con normativa ambiental el utilizar RAP en mezclas asfálticas.

Figura 25. **El RAP cumple con normativa ambiental**

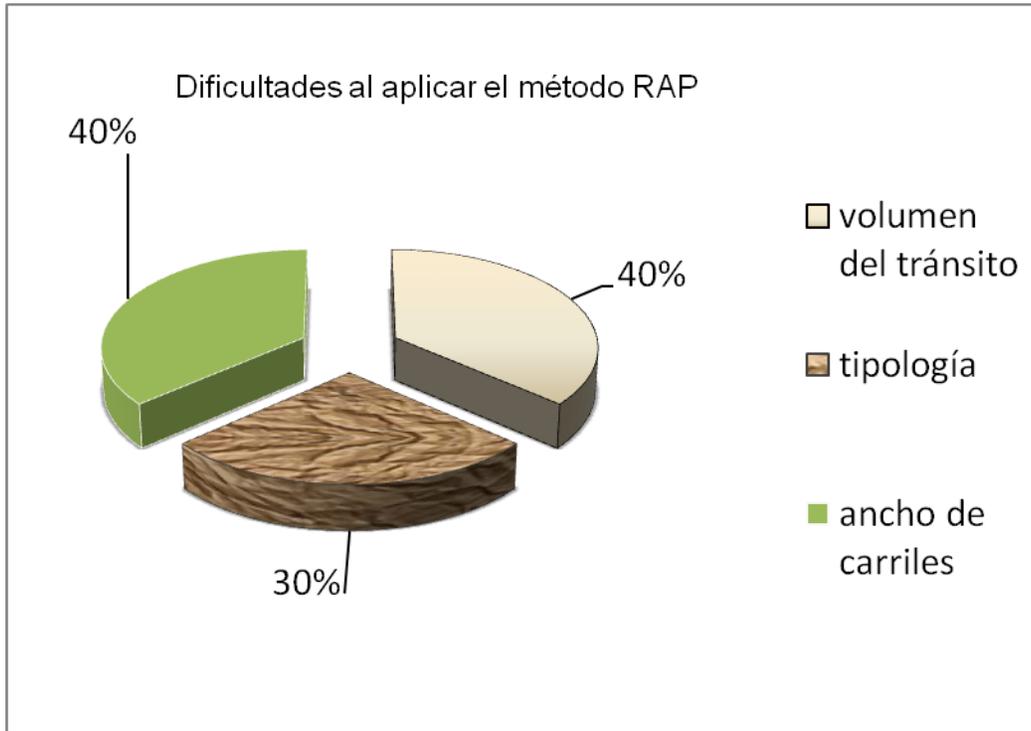


Fuente: elaboración propia

5.10. Dificultades con el tránsito al utilizar RAP

El 20 % de los supervisores que tiene conocimiento acerca del método RAP respondieron que el 40 % de las dificultades están relacionadas con el volumen del tránsito, el 30 con la tipología y el otro 30% considera que la dificultad radica en el ancho de carriles.

Figura 26. **Dificultades al aplicar el método RAP**



Fuente: elaboración propia

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Encuestas

Los resultados de las encuestas realizadas a los profesionales del ramo vial, refleja que actualmente en Guatemala no existe una política gubernamental definida que incentive la utilización del método RAP.

Solamente el 20 % de los Supervisores ha escuchado mencionar que existe un método que consiste en reciclar el pavimento y el otro 80 % no ha escuchado.

El porcentaje que conoce el método indica que consiste en utilizar la carpeta asfáltica y la base subyacente de un pavimento existente, quitarlo, almacenarlo, procesarlo y utilizar alguna parte para una nueva carpeta asfáltica.

Los proyectos supervisados donde se utilizó la metodología RAP son los siguientes: Mejoramiento M-03-2009 Los Encuentros – Chichicastenango – Quiché en el año 2009; en el año 2011 por medio de la Dirección General de Caminos Tramo: Cabañas-La Reforma, Cabañas – San Vicente, Reforma – Sta. Cruz, río Hondo, Zacapa; Tramo Palin - Escuintla, CA-09 SUR, Ruta Vieja, en el año 2012, de acuerdo a información proporcionada por el Área de Infraestructura de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial COVIAL, en el año 2010, en la 7ª. Avenida de la 5ta. A la 28 calle de la zona 12.

Considerando las bondades de la carpeta asfáltica de una carretera es posible utilizar nuevamente el material fresado, en un rango del 30 al 50 % en una base negra o caminos municipales o caminos rurales.

El porcentaje representado por el 20 % de los encuestados que si tienen conocimiento acerca del reciclado de pavimento afirmo que el 40 % del material de fresado de una carretera puede utilizarse para formar una base y luego colocar una nueva carpeta asfaltica sobre esta base, el 10 % puede ser util para la fabricación de una mezcla asfaltica y el 50 % restante del material de fresado de una carretera puede tener otros usos, generalmente para ser colocado en caminos rurales, caminos municipales o para ser apilado en vertederos.

La metodología RAP sí cumple con los requisitos de calidad que exige la normativa de COVIAL

Habiendo dado una breve explicación acerca del método RAP, el 90 % de los supervisores respondió que sí beneficiaría a la economía del país, ya que se reduce el costo de transporte de carpeta a los vertederos, el uso de los agregados, reduciría costos en la producción de nuevas mezclas, también se optimizarían los recursos existentes disminuyendo el costo de un proyecto.

Debido a que los supervisores han supervisado la rehabilitación de carreteras en diferentes partes del país, han tenido diferentes condiciones climaticas, por ello el 80 % respondió que si han supervisado en diferentes condiciones climaticas y el otro 20 % no ha supervisado en diferentes condiciones climaticas por tener poco tiempo laborando en supervision de carreteras.

Las diferencias climáticas que hay en Guatemala son: el variado nivel de precipitación pluvial, en algunos casos con demasiada lluvia como la región de las verapaces, las diferencias de temperatura, en Guatemala hay lugares muy calurosos como Zacapa, Petén, lugares de costa como Escuintla,

Suchitepequez y Retalhuleu y en otros lugares como el Occidente del país, donde hay condiciones extremas de frío y neblina.

La mayoría de supervisores coincide que la época más favorable para rehabilitar una carretera es el verano, cuando existe ausencia de lluvias y las temperaturas son medianas, clima templado y sin lluvia.

El 70 % de los supervisores encuestados respondió que la topografía afecta al momento de rehabilitar una carretera, en el caso de algunos tramos que hay en Guatemala que tienen mucha pendiente, en lugares donde hay mucho derrumbe, en lugares donde hay paso de agua porque se debe diseñar un drenaje adecuado y el otro 40 % argumenta que la topografía no afecta la rehabilitación de una carretera siempre y cuando la misma este bien diseñada y cumpla con las especificaciones de diseño vigentes para nuestro país.

El 80 % de los supervisores encuestados desconoce cual es el grado de deterioro recomendable para implementar la metodología RAP y por lo tanto no respondieron, el otro 20 % considera que puede ser recomendable implementar la metodología RAP pero debe hacerse la evaluación correspondiente y los ensayos necesarios a los materiales para determinar cómo utilizar la metodología mencionada.

Como la mayoría de supervisores desconoce el uso del método RAP para rehabilitación de carreteras, el 20 % de supervisores que ha tenido algún tipo de contacto con el método considera que se tiene un rendimiento de 500 metros por día aplicando un espesor de 0.05 metros.

El 80 % de los supervisores encuestados considera que sí se afrontan dificultades para aplicar nuevas tecnologías en mantenimiento o rehabilitación

de carreteras, entre ellos estan: La falta de equipo necesario, falta de laboratorios de investigación para el uso de nuevas tecnologías, falta de capacitaciones y divulgaciones adecuadas de las nuevas tecnologías, falta de inversión, la falta de especificaciones propias.

El 80 % de los supervisores encuestados considera que Guatemala no tiene la capacidad y la tecnología para aplicar el uso de RAP para nuevas mezclas asfálticas, pues a esta capacidad y tecnología solo pueden acceder las empresas grandes que son muy pocas en nuestro medio, pero con una buena política, divulgación, investigación podría incentivar el interes para que pueda aplicarse en nuestro pais como se ha hecho en otros paises.

El 90 % de los supervisores encuestados considera que si recomendaria el usos del pavimento reciclado mas que una mezcla diseñada con materiales virgenes siempre y cuando se tenga un correcto conocimiento de la aplicación del método y las ventajas que representa, además en este tiempo de globalización y tecnología vale la pena involucrarse en el uso de nuevos metodos de rehabilitación.

Los supervisores opinan que las condiciones óptimas para la aplicación del RAP, son las siguientes:

Que la carpeta asfáltica no se encuentre fatigada en su totalidad, o el grado de deterioro sea severo y que la calidad de los bitúmenes como los agregados cumplan con las especificaciones necesarias para la fabricación de la nueva mezcla asfáltica, contar con el equipo adecuado y el personal capacitado, que se divulgue e incentive el uso de nuevas tecnologías.

Se refleja poco interés para utilizar este método, por el desconocimiento de la metodología, dado que la utilización de este método les podría aumentar su porcentaje de ganancias.

Además la implementación del método puede generar un impacto en el ámbito social, porque proporciona la concientización acerca de la preservación de los recursos, utilizando el material proveniente del fresado que conserva parte de sus características y propiedades.

6.2. Entrevistas e información de congreso de asfalto, CILA 2013

Se muestran resultados de laboratorio correspondientes al RAP incorporado en la mezcla en caliente, evaluada por el método Marshall, demostrando que no hay alteraciones o variaciones que se consideren como significativas en los resultados.

Resultados de una mezcla asfáltica tipo F 9.5 mm producida en planta por Asfaltos de Guatemala, con agregado vírgenes comparada con una mezcla del mismo tipo pero incorporando RAP a la mezcla, no hay variaciones que puedan ser considerables en la granulometría, en la densidad de la mezcla la diferencia es apenas de 0.10, la estabilidad Marshall tiene una diferencia de 60 y de contenido de bitumen la diferencia es apenas de 0.09, como se observa en la tabla I.

En el caso de la mezcla tipo E 12.5 mm Asfaltos de Guatemala realizo un estudio con 30 producciones de mezcla sin RAP y 30 producciones de mezcla incorporando un porcentaje de RAP, entre los años 2011 y 2013, al determinar la media de ambas producciones se obtuvieron variaciones mínimas en los

resultados y los resultados no están fuera de los límites de las especificaciones como se observa en la tabla II.

En la comparación costos unitarios de las tablas III y IV, en donde se muestra los resultados de una mezcla asfáltica en planta realizada de manera convencional y otra mezcla que se le incorporó el 20 % de RAP, el RAP es más barato en la incorporación de los costos, debido a que como es un material que se va a desechar, el costo del mismo es relativamente bajo y se le debe adicionar el costo de acarreo más la aplicación de agente rejuvenecedor, se determinó un ahorro de Q. 78.46 por tonelada de mezcla asfáltica.

Con lo anterior se describen las ventajas técnicas y económicas del Método Reclaimed Asphalt Pavement RAP, para que se promueva su uso en Guatemala para la rehabilitación de carreteras.

Los resultados muestran que de los profesionales encuestados en COVIAL que se dedican al mantenimiento de carreteras, solo el 20 % tiene conocimiento acerca del método.

En Guatemala hay normativa para rehabilitación de carreteras incorporando RAP, pero ha sido muy poco utilizada por la falta de políticas que incentiven la utilización del método.

Al describir las características y procesos de utilizar RAP, se muestran las ventajas ambientales que posee por las razones ya expuestas y también las ventajas económicas según el análisis comparativo de costos presentado.

Se determinó la capacidad instalada actual en Guatemala, obteniendo como resultado que hay dos empresas de renombre con capacidad para producir

mezcla asfáltica en planta incorporando RAP y tres o cuatro empresas que cuentan con la maquinaria para producir reciclado en frío o asfalto espumado como es más conocido en el medio vial para producir una base negra a la cual se le incorpora una carpeta asfáltica modificada.

Con toda la información recopilada se avanza en la solución del problema con el desconocimiento de las características técnicas del método RAP y como incide en la reducción de impacto ambiental y de costos de construcción.

Aun hace falta investigar más sobre las ventajas del método RAP, divulgar la información con que se cuenta, que las autoridades responsables de crear las políticas de rehabilitación incentiven la utilización del método, tomando como ejemplo lo que realizan en el Salvador, un estricto control de calidad, monitoreo de carreteras, utilización del material reciclado para diferentes propósitos, dándole a las carreteras un mantenimiento preventivo más que correctivo.

El uso del método RAP provoca impacto social porque se concientiza a los profesionales en el área vial, contratistas y autoridades responsables del mantenimiento y rehabilitación de carretera acerca de una creciente sensibilización social sobre la necesidad de preservar los recursos naturales, utilizando material proveniente del fresado de carreteras, ya que conserva gran parte de sus características y propiedades, disminuyendo la demanda de materiales de los bancos, permitiendo reducción de impactos ambientales al reciclar las carpetas y bases de un pavimento, ya que Guatemala es considerado como un país vulnerable a los efectos climáticos y ambientales.

En cuanto a los impactos económicos se tiene la ventaja que aunque el material provenga de pavimentos envejecidos, estos conservan en buena parte

sus propiedades, por lo que pueden ser reutilizados y no es necesario trasladarlos en su totalidad a los lugares para desperdicio sino basta con hacer un ajuste según las granulometrías requeridas. El fresado y reutilización del conglomerado asfáltico, reduce también los costos de acarreo pues se disminuye la necesidad de trasladar material de los bancos hacia las plantas generadoras de asfalto.

En relación con los impactos técnicos, Guatemala es un país en vías de desarrollo, que con la creciente globalización debe conocer y aplicar investigación para la aplicación de nuevas tecnologías y métodos en este caso para rehabilitar carreteras a fin de evitar un rezago tecnológico.

Como ejemplo El Salvador siendo un país cercano al nuestro que un día imito las políticas de rehabilitación de nuestro país ahora han dado un salto en el avance tecnológico incentivando en sus políticas gubernamentales el uso del RAP para rehabilitación de carreteras por la escases de bancos de materiales y la necesidad de preservar sus recursos.

CONCLUSIONES

1. Se determinó en las encuestas realizadas un porcentaje equivalente al 20 %, considerado como bajo, de opinión que tienen los profesionales, acerca del uso del método RAP para la rehabilitación de carreteras en Guatemala, pero de los mismos encuestados el 90 % manifiesta interés por conocer los beneficios del método mencionado.
2. En Guatemala existe normativa aplicable al método RAP, pero la falta de políticas que incentiven el uso del mismo, hace que esta normativa solo se plasme en papel y no provoque la investigación e incentive aún más la capacidad instalada.
3. Una mezcla asfáltica fabricada con incorporación de RAP posee características similares a las mezclas fabricadas de forma convencional, las cuales cumplen con los parámetros establecidos en la normativa vigente en nuestro país, los procesos descritos para emplear el método están indicados en la normativa correspondiente.
4. Entre las ventajas sobresalientes de utilizar el método RAP están:
 - Ambientales: al utilizar un porcentaje del material producto del fresado de la carretera en la misma carretera u otra, se ayuda a reducir la extracción de volumen de material proveniente de bancos de materiales y ríos, se evita trasladar el material a botaderos, esto da como resultado un uso sustentable de los recursos.

- Económicas: cuando se incorpora un porcentaje de RAP, se reduce el costo del material que se debe utilizar para la nueva mezcla asfáltica, aprovechando el material proveniente del fresado.
 - Técnicas: Cada día se están fabricando máquinas más eficientes que pueden reducir el tiempo de la rehabilitación en una sola pasada, y la mezcla asfáltica con incorporación de RAP posee características que cumplen con los parámetros establecidos en la normativa correspondiente.
5. En Guatemala, de acuerdo con la información proporcionada por profesionales del área vial, se sabe que en el presente año 2015 hay dos empresas de renombre que se han dedicado a la investigación y creación de un plan para utilizar los materiales provenientes del fresado, que cuentan con planta configurada para la incorporación de RAP a la mezcla, el laboratorio adecuado para analizar los materiales y el personal capacitado para realizar el trabajo de rehabilitar utilizando RAP y hay como tres o cuatro empresas que poseen máquinas para reciclar en frío o fabricar asfalto espumado como base para pavimento.
 6. El análisis comparativo de costo por tonelada métrica fabricada en planta de una mezcla utilizando un método convencional versus una mezcla incorporándole un 20 % de RAP, indica que hay un ahorro de Q. 78.46 por tonelada de mezcla y para una mezcla de 600 toneladas el ahorro de material de agregado es de 65 metros cúbicos.

RECOMENDACIONES

1. Es importante crear una comisión de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ante la entidades gubernamentales, de tal manera que se pronuncie y promueva la profesionalización de su personal, así como el uso de nuevas tecnologías como el RAP, para dar a conocer las ventajas ambientales, económicas y técnicas que ofrece.
2. Que las entidades responsables del mantenimiento y rehabilitación de carreteras se actualicen y promuevan la actualización, capacitaciones y aun profesionalización en las diversas técnicas actuales de rehabilitación de carreteras en donde se dé a conocer la metodología, los beneficios y de los avances que se tienen en otros países.
3. Promover la aplicación de las normas para utilizar el RAP, como alternativa para la rehabilitación de carreteras en Guatemala.
4. Para una correcta aplicación del método RAP, se debe tener un laboratorio adecuado para determinar la calidad de los agregados provenientes del fresado, un diseño correcto de la mezcla a utilizar y una buena inversión para que en la planta o en el campo se tenga la maquinaria necesaria para una buena aplicación de mezcla asfáltica, así como el personal capacitado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

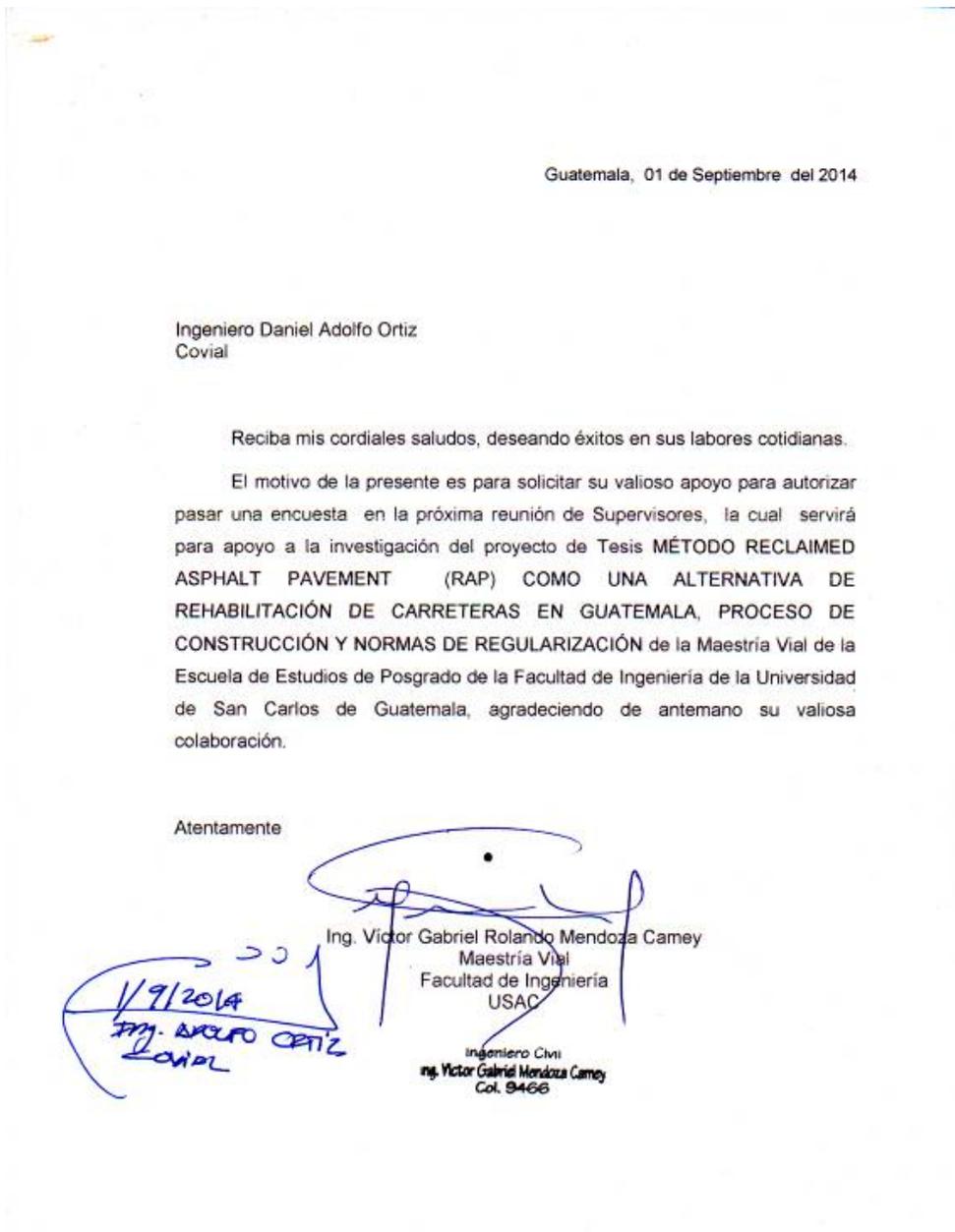
1. Administration, F. H. (2011). Pavimento asfaltico recuperado en mezclas asfalticas. Estados Unidos.
2. Botasso, H., Cuattrocchio, A., Rebollo, O., & Soengas, C. (2008). *Reciclado De pavimentos asfalticos en frio*. Obtenido de [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/2008_Reciclado de pavimentosAsf%C3%A1lticos-en Frio_6%C2%BAPROCQMA.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/2008_Reciclado_de_pavimentosAsf%C3%A1lticos-en_Frio_6%C2%BAPROCQMA.pdf). Recuperado 20 de enero de 2015.
3. Brock, J. D. (1988). *Fresado y reciclaje*. Obtenido de http://www.Astecinc.com/images/file/literatura/T127_SP.PDF. Recuperado 21 enero de 2015.
4. Caminos, D. G. (2001). Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala.
5. Cancinos, G. A. (2013). *Reciclado en frio in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumado y recomendaciones de especificaciones técnicas de construcción para Guatemala*. Guatemala.
6. Castañeda, A. (2011). *Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfaltico existente*. Guatemala.

7. Centroamericana, S. d. (2004). Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.
8. Gallardo Chavarry, M. (2013). Uso adecuado de RAP en mezclas asfálticas en caliente. Guatemala.
9. Gonzalez, M. (2010). *Caminos básicos y reciclado de pavimentos con la tecnología del asfalto espumado*. Obtenido de http://proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/II_Seminario_de_Conservacion_Vial_por_Resultados/Ing_%20Marcelo%20Gonz%C3%A1lez%20%20Pavimentos%20b%C3%A1sicos%20y%20asfaltados%20reciclados%20espumados.pdf. Recuperado 20 de enero de 2015.
10. Group, W. (2004). Manual de reciclaje en frío. Alemania.
11. Hernandez, & Costa, A. (2012). *Reciclado de firmes*. Obtenido de http://catedramln.unizar.es/files/cursos/20112012/firmes_2012/Conf_4_AndresCosta.pdf. Recuperado 21 enero de 2015.
12. Ibarra, & Alarcon, J. (2003). Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. España.
13. Moreno, M. (2005). Metodos de rehabilitacion en pavimentos. Mexico.
14. Officials, A. A. (1993). AASHTO. Washington.

15. Rodríguez, D. (2013). Experiencia de reciclado en Mexico. Evaluación del comportamiento y calidad de mezcla asfáltica reciclada con tasa del 100% de RAP. Monterrey, Mexico.
16. Vial, U. E. (2013). Especificaciones Especiales. División 300. MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA. Guatemala.
17. William, & A., E. (2013). Análisis de costos de mezclas asfálticas con RAP en la región de la Plata y Gran Buenos Aires. Argentina

ANEXOS

Anexo 1. Carta de solicitud a COVIAL para encuestas



. Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Encuestas para supervisores de COVIAL



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

1. ¿Conoce el método que consiste en reciclar el pavimento y volverlo a utilizar en nuevas mezclas asfálticas?

Sí_____ No_____

2. ¿Qué entiende por reciclar un pavimento?

3. Conoce el método RAP para rehabilitación de carreteras?

4. Ha supervisado algún proyecto donde se haya utilizado la metodología RAP? si su respuesta es sí, mencione ubicación geográfica, ruta, tramos.

Sí_____ No _____

5. ¿Si su respuesta anterior es sí, responda si se utilizó el material de corte?

Sí_____ No_____ Si lo utiliza, en qué porcentaje_____

6. ¿Para qué se utilizó el material de corte?

Base_____ Mezcla_____ Otros usos_____

7. ¿Cumple esta metodología con los requisitos de calidad que exige la normativa de COVIAL?

Sí_____ No_____ ¿Por qué?

8. ¿Sí existiera la política en el Ministerio de Comunicaciones sobre utilizar RAP en mezclas asfálticas, beneficiaría a la economía del País?

Sí_____ No_____ ¿Por qué?

9. ¿Ha supervisado la rehabilitación de carreteras en diferentes condiciones climáticas?

Sí_____ No_____ ¿Qué diferencias hay?

10. ¿Cuáles son las condiciones climáticas más favorables para rehabilitar una carretera?

11. ¿Afecta la Topografía de la pista al momento de usar el método RAP?

Sí_____ No_____ ¿Por qué?

12. ¿En qué grado de deterioro es recomendable implementar la metodología RAP en la rehabilitación de una carretera? y ¿por qué?

13. ¿Qué rendimiento en metros lineales es obtenido por día al utilizar esta metodología? (Especificar ancho y espesor de corte.)

14. ¿Qué dificultades técnicas afronta como supervisor para aplicar nuevas tecnologías?

15. ¿Considera que Guatemala tiene la capacidad y la tecnología para aplicar el uso de RAP para nuevas mezclas asfálticas?

16. ¿Recomendaría el uso del RAP más que las metodologías tradicionales de rehabilitación de carreteras?

Sí_____ No_____, ¿Por qué?

17. En su opinión ¿Cuáles son las condiciones óptimas para la aplicación del RAP? (en orden de prioridad)

18. ¿Será que la reutilización del pavimento cumple con alguna normativa ambiental que exija el ministerio de ambiente y recursos naturales?

Sí_____ No_____, Cuál_____

¿Por qué?

19. ¿Qué dificultad afronta con el tránsito cuando realiza el RAP? (enumere en orden de prioridad)

Volumen de tránsito_____ Tipología_____ Ancho de Carriles_____

Fuente: elaboración propia.