

**IAG250-06-2013**  
**EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE RECICLADO EN FRÍO UTILIZANDO**  
**EMULSIONES ASFÁLTICAS EN EL SALVADOR**  
**AVALIAÇÃO TÉCNICA DE USAR EMULSÕES ASFÁLTICAS FRIAS**  
**RECICLAGEM EM EL SALVADOR**

Erick Daniel Calidonio Molina  
Asfaltos de Centro América S.A de C.V  
San Salvador, El Salvador  
edcmcalidonio@gmail.com

## **RESUMEN**

Para El Salvador, contar con una infraestructura vial adecuada es de vital importancia para incrementar el desarrollo económico y social. Por tal razón es necesaria la implementación de alternativas que sean factibles, técnicas, económicas y que minimicen el impacto ambiental. Con este estudio se pretende evaluar la factibilidad de implementar el reciclado en frío utilizando emulsiones asfálticas, a fin de que forme parte de una alternativa viable para la rehabilitación de estructuras de pavimentos asfálticos en El Salvador. Para evaluarlo se tomó como base un tramo de una vía existente, codificada por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) como SAL-07W, tomando como referencia el tramo entre el desvío RN-06E (Los Planes de Renderos) y La Puerta del Diablo, en el departamento de San Salvador. Se desarrollaron tres etapas para la elaboración del proyecto. La primera fue la evaluación del tramo a través del método planteado por el Índice de Condición de Pavimentos (Pavement Condition Index, PCI por sus siglas en inglés), la segunda etapa se desarrolló haciendo una campaña geotécnica para evaluar los materiales a fin de determinar que alternativa de intervención era la más adecuada. La tercera etapa se desarrolló elaborando el diseño del espesor de la vía a través de los criterios establecidos en la norma AASHTO T-93. En esta última etapa la vía en estudio se dividió en dos para evaluar alternativas de espesor. Para el primer tramo se diseñó una base de 10 cms con 100% material de carpeta asfáltica y el segundo con una combinación de 10 cms de carpeta asfáltica existente y 15 cms de base con los materiales existentes. Se propuso para el primer tramo un porcentaje de emulsión del 3% y para el segundo 4% en base al ensayo de tracción indirecta (ITS, TSR) como criterio de selección.

## **RESUMO**

Para El Salvador, têm infra-estrutura viária adequada é vital para aumentar o desenvolvimento econômico e social. Por esta razão, é necessário implementar alternativas que sejam viáveis, técnica, econômica e minimizar o impacto ambiental. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da implementação usando frias reciclagem emulsões asfálticas, a fim de ser parte de uma alternativa viável para a reabilitação de estruturas de pavimento de asfalto em El Salvador. Para avaliar o que foi baseado em uma seção de uma estrada existente, codificada pelo Fundo de Manutenção Rodoviária (FOVIAL) e SAL-07W, com referência ao trecho entre o desvio RN-06E (Planos Renderos) e La Puerta del Diablo, no departamento de San Salvador. Três etapas foram desenvolvidas para a elaboração do projeto. O primeiro foi avaliar o caminho através do método

proposto pelo Índice de Condições de Pavement (Índice de Condições de Pavement, PCI por sua sigla em Inglês), a segunda etapa foi desenvolvida a campanha geotécnica para avaliar os materiais para determinar qual alternativa foi a intervenção mais adequada. A terceira etapa foi desenvolvido elaborar o projeto da espessura do caminho através dos critérios em AASHTO T-93. Nesta última fase, o trajecto sob consideração é dividido em dois para avaliar alternativas de espessura. Pela primeira seção foi concebida uma base de 10 cm, com 100% de material asfáltico e a segunda com uma combinação de 10 cms de asfalto e base existente de 15 cms com materiais existentes. Foi proposto para a primeira fase de emulsão percentagem de 3% e 4%, para a segunda base no ensaio de tracção indirecta (STI, a TSR) como um critério de selecção.

## INTRODUCCION

La tendencia actual en el tratamiento de residuos es la utilización máxima de sus recursos mediante su reutilización, reciclado, transformación, recuperación y aprovechamiento, antes de su cesación y eliminación; todo ello con el objetivo de cuidar el medio ambiente, evitar la masificación de los vertederos a cielo abierto y contribuir a la disminución del uso de materias primas naturales.

Definiendo el reciclado como: **“Un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos”**

Las posibilidades que tiene el reciclado son muy amplias, tal es el caso del reciclaje de pavimentos asfálticos que actualmente es una tendencia al alza para la rehabilitación y mantenimiento de carreteras a nivel mundial.

La conservación de la red vial pavimentada de El Salvador es en la actualidad un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. El presupuesto necesario para el mantenimiento así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos y que sean respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, el reciclado de pavimentos como medio de racionalizar los recursos, toma un renovado protagonismo y se convierte en una necesidad.

La creciente sensibilización social acerca de la necesidad de preservar el medio ambiente ha hecho que las leyes ambientales sean hoy mucho más rigurosas que en el pasado. Esto dificulta la obtención de materias primas adecuadas, aumentando su costo y el de su transporte hasta la obra, ya que casi nunca se producen en el lugar donde se necesitan.

## GENERALIDADES

### Reciclado en frío

El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

### Aplicaciones de reciclado en frío

El reciclado en frío es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Dependiendo si el material es tratado o no con un agente estabilizador, se pueden identificar dos categorías de reciclado en frío. Luego, como un segundo grupo de clasificación, cada categoría (con o sin agente estabilizador) puede ser a su vez categorizada por el tipo de tratamiento que el material recibe. Las dos categorías principales son las siguientes:

- **Reciclado del 100% de RAP.** Depende su uso dependiendo de factores como: Naturaleza y composición del pavimento existente (granulometría, contenido de asfalto, etc.), Tipo y causas del deterioro, Tipo y causas del deterioro.
- **Recuperación de espesor completo o full depth reclamation (FDR).** Esta categoría de reciclado es típicamente aplicada como una medida para tratar estructuras de pavimentos deterioradas compuestas por bases granulares y superficies asfálticas delgadas, constituidas tanto por concreto asfáltico como por varias capas de sellos superficiales

En el FDR, la mezcla de los materiales sin la adición de aditivos ni estabilizantes son suficientes para actuar como una capa de base para la colocación de una nueva superficie de rodadura, sin embargo, si después de una evaluación adecuada de los proyectos se determina que los materiales recuperados necesitan mejoras o modificaciones, se utiliza uno o tres diferentes tipos de estabilización los cuales pueden ser: mecánica (incorporando un material selecto), química (cal o cemento) y bituminosa (emulsión asfáltica o asfalto espumado).

Para determinar qué tipo de reciclado se necesita para nuestro proyecto, debemos de tomar en cuenta los siguientes puntos:

- **Evaluación de la Información Histórica.** Se determina en el pavimento existente las propiedades de la mezcla como por ejemplo: el tipo de mezcla que existe evaluando las características del asfalto y del agregado que constituye dicha mezcla, el espesor de capa y las propiedades de la capa subyacente.
- **Evaluación del Pavimento.** Se evalúa la condición actual del pavimento, determinando la gravedad y frecuencia de los daños (grietas, deformaciones, etc.)
- **Evaluación de la Capacidad Estructural.** Es importante determinar la capacidad estructural que se requiere para el periodo de vida útil de la rehabilitación; de esta forma se busca una característica del reciclado que cumpla con dicha capacidad estructural.

## Uso de la emulsión asfáltica más adecuada

Una emulsión asfáltica es una dispersión de un líquido en otro no miscible con el primero, son en definitiva dispersiones de un ligante asfáltico en un medio acuoso. Constituyen la solución lógica y natural para poner en obra betunes a temperatura ambiente sin miedo a la presencia de humedad ni a los problemas que produce una mala adhesividad con los áridos.

Cuando la emulsión asfáltica se pone en contacto con un agregado pétreo se inicia un proceso químico produciéndose la separación del asfalto y el agua, esto trae como consecuencia el recubrimiento del agregado con una película asfáltica por lo que el agua debe entonces, liberarse

y finalmente evaporarse. Cuando las emulsiones asfálticas se emplean como agentes estabilizadores de los reciclados se busca producir distintos efectos según las características propias de cada material que conforman la base reciclada. Se busca suministrar una resistencia cohesiva capaz de mantener las partículas unidas a su vez que tenga ciertas propiedades flexibles para que pueda absorber esfuerzos sin agrietarse ni deformarse.

### **Criterios de selección de la emulsión bituminosa**

La emulsión debe ser compatible con la naturaleza y la granulometría de los materiales que se van a reciclar.

La estabilidad de la emulsión debe permitir antes de la rotura un reparto lo más homogéneo posible del asfalto residual en la masa de dichos materiales, y la toma de cohesión y las propiedades mecánicas finales de la mezcla deben ser las adecuadas para el tráfico durante la fase de ejecución y las sollicitaciones finales.

Estos requerimientos pueden ser desarrollados en los siguientes aspectos:

- a) La envuelta de las partículas más finas de los agregados. Precisamente en esto estriba una de las ventajas de las emulsiones sobre otros ligantes. Al reciclar un material bituminoso, las partículas del agregado están ya envueltas por ligante, con lo que su absorción superficial se encuentra ya consolidada.
- b) La rotura de la emulsión, que tiene que ser suficientemente lenta para no terminar prematuramente la fase de envuelta.
- c) Las características mecánicas finales de la mezcla deben ser alcanzadas en un plazo adecuado, y estas deben responder a las expectativas previstas.
- d) La adhesividad pasiva entre los agregados y el ligante debe resistir a la acción combinada del agua y del tráfico.

En base a esto se puede concluir que el tipo de emulsión, según la naturaleza de los materiales, debe ser estable para poder facilitar el proceso de envuelta. Sin embargo, esto no basta para poder definir adecuadamente el tipo de emulsión necesaria.

La estabilidad de la emulsión se debe comprobar con el material procedente del fresado, o sea, el mismo que luego se aplique sumado al ligante nuevo, los agregados de aporte y la humedad prevista de mezclado. Cuanto mayor sea la humedad de mezclado, tendrá la mezcla una mayor capacidad de envuelta.

## **DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO**

### **Descripción**

La Recuperación de la vía SAL-07W tramo: EST.0+000 desvío con RN-06E – Puerta del Diablo EST. 2+500, consiste en rehabilitar la estructura de pavimento existente utilizando la técnica de reciclado en frío, aplicando emulsiones asfálticas como agentes, estabilizadores, en una longitud aproximada de 2.5 kilómetros y en un ancho de rodaje promedio de 6.8 metros.

Este tramo está constituido en su totalidad con pavimento flexible. Al evaluarla, esta vía presenta rasgos de intervención esto con el objetivo de mantenerla en buen estado, pero esto implica que existan diferentes tipos de técnicas de mantenimiento hechas en periodos distintos e implementando diferentes tipos de materiales, creando una capa heterogénea en toda su longitud.

## Características de la vía existente

### Clasificación Nominal

La clasificación de vías utilizada en El Salvador, está fundamentada principalmente por las siguientes características:

- Ancho de Rodadura
- Tipo de material de la superficie de rodadura
- Características Geométricas
- Volumen de vehículos que circulan.
- Ancho del derecho de vía de la carretera

El tramo en estudio forma parte del inventario de la Red Vial Nacional de Vías Pavimentadas por parte del Ministerio de Obras Públicas y cuenta con una clasificación nominal de Secundaria. Cabe indicar que todas las vías incluidas dentro de la Red Vial Nacional son denominadas "carreteras", cuya clasificación funcional se resume en la siguiente imagen:

**Figura 1: Características y Clasificación Básica de la Red Vial Nacional**

Característica clasificación o categoría	Nivel de tránsito (Vpd)	Ancho del derecho de vía (m)	Ancho de plataforma (m)	Ancho de la superficie de rodamiento (m)	Tipo de superficie de rodamiento	Ancho de rodaje en puentes (m)
Especial	Condiciones geométricas superiores a las vías primarias					
Primaria	>2000	30	12.0	7.3		Mínimo 7.9
Secundaria	500-2000	20	9.5	6.5		Mínimo 7.4
Terciaria	100-500	20	6.0	6.0	No Pavimentada	Mínimo 6.5
Terciaria Modificada	100-500	20	6.0	6.0	No Pavimentada	Mínimo 6.5
Rural Modificada	100	15	5.0	5.0		Mínimo 3.0
Rural <sup>1</sup>	100	15	5.0	5.0	No Pavimentada	Mínimo 3.0

El tramo de estudio se clasifica por sus características como una vía secundaria, como lo ilustra la siguiente imagen:

**Figura 2: Fotografía ilustrativa del ancho de rodaje promedio**



## Estudio de Tránsito

Uno de los elementos primarios para el diseño y mantenimiento de carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año.

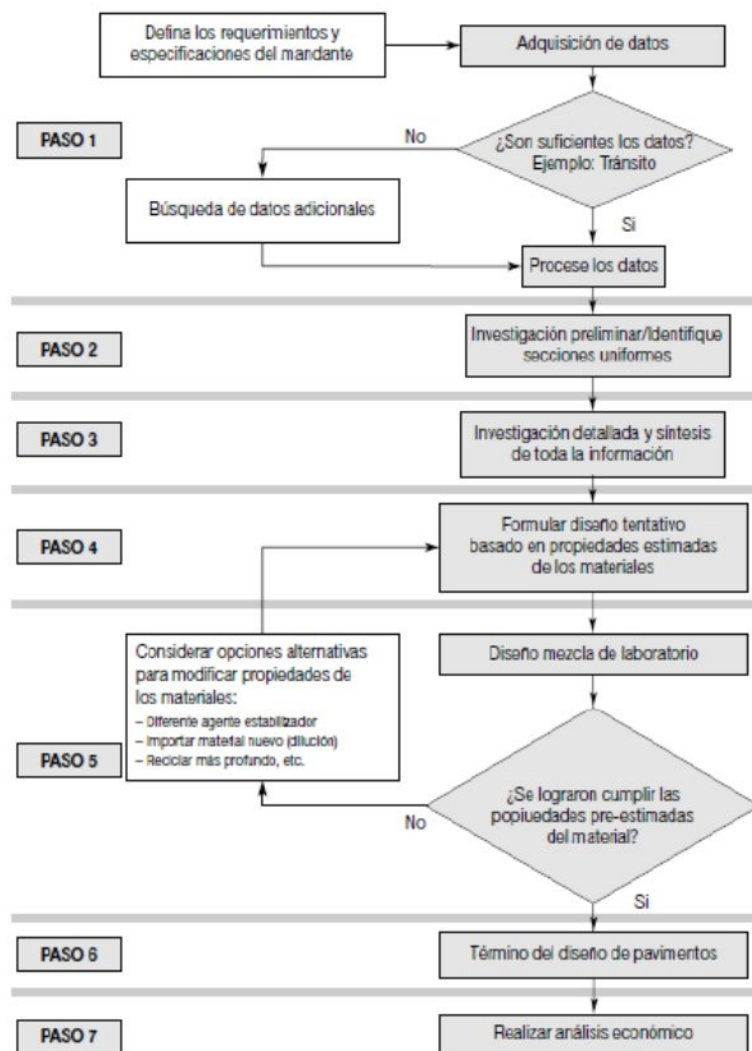
**Figura 3: Tránsito Promedio Diario Anual, Vía SAL07W. Actualización 2010**

Año	TPDA	Autos	Pick-up	M.bus	Autobús	C2	C3
2010	2,163	665	1,188	18	193	88	11

## DISEÑO DE REHABILITACIÓN

El procedimiento a seguir para el diseño de la vía a rehabilitar consiste en varios pasos a seguir, los cuales son los siguientes:

**Figura 4: Flujo Grama de Investigación y diseño de pavimentos**



## Estudio e investigación del estado actual de la vía sal-07w tramo: Desvío RN-06E – puerta del diablo

De las investigaciones preliminares realizadas al tramo de vía en estudio podemos mencionar:

- Visitas de campo.
- Realización de recorridos para una adaptación de las condiciones locales.
- Levantamiento de daños en el pavimento.
- Cálculo de PCI del pavimento.

### Estudio y Levantamiento de Daños

Para este estudio se realizó en base a la norma técnica ASTM D 6433-03. La cual ha sido desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norte América. En base a esta norma técnica se calculan el número de muestreos, los cuales se deben inspeccionar todas las unidades, sin embargo, de no ser posible el número mínimo de unidades de muestreo, estas pueden calcularse mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1: Determinación de Cantidad Mínima de Unidades de Muestreo

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento (en base al ancho de la calzada y al área total del pavimento).

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

s: Desviación estándar del PCI entre las unidades. (s = 10)

Para la selección de de las unidades de muestreo por inspección, se utiliza la siguiente expresión:

#### Ecuación 2: Cálculo de Intervalos de Muestra

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

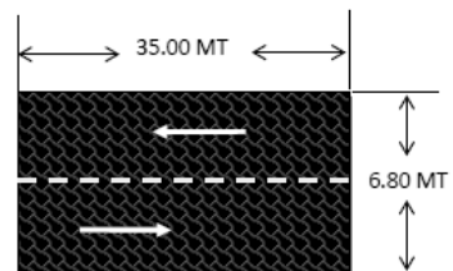
i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

En base al análisis anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Figura 5: Datos Para el Levantamiento de Daños**

Longitud de Unidad: 35.00 MT	Cantidad Mínima de Unidades de Estudio (n): 13
Cantidad Total de Unidades de Muestra: 77	Intervalos de Muestra: 5.00 Unidades

**Figura 6: Área de Unidad de Muestreo**

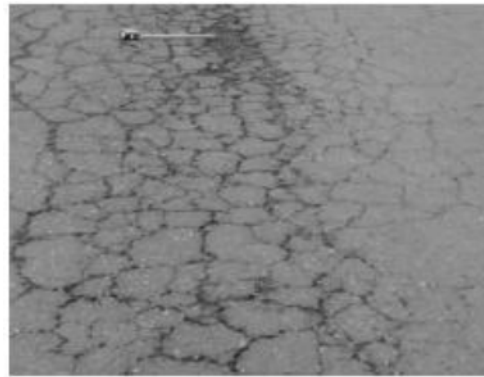


Consecuentemente, se realizó un estudio detallado para determinar el tipo de daño y la severidad del mismo, encontrando daños como: piel de cocodrilo, hundimientos, grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, parcheo donde el pavimento original fue removido y se colocó mezcla asfáltica nueva, huecos; los cuales justifican la intervención de la vía.

**Figura 7: Daño Tipo Huecos**



**Figura 8: Daño Tipo Piel de Cocodrilo**



En base a esta información, se determinó mediante el método PCI (Pavement Condition Index), que en general el pavimento su condición se clasifica de forma “Malo” y que es necesaria su intervención.

## **INVESTIGACIÓN DETALLADA**

Se realizaron un total de 14 calicatas, cuyas características principales son las siguientes:

**Método:** Manual, a cielo abierto con toma de muestras alteradas.

**Sección:** 1.0 x 1.0 Mt

**Profundidad:** 0.45 hasta 0.50 Mt

**Registro:** Clase de suelo, composición granulométrica, humedad natural, material orgánico.

A cada una de las muestras se le evaluó sus características físicas y mecánicas, mediante los de granulometría, límites de consistencia y humedad natural, a fin de determinar una clasificación del suelo.

### **Tramo I. Estación 0+000 – Estación 0+800**

Se puede afirmar en forma general, que todo este tramo presenta condiciones geotécnicas muy complicadas en la capa de base. Litológicamente este tramo está conformado por una secuencia de intercalaciones de Guijarros y posibles Boleos con diámetros mayores de 3” (sobre tamaño), los cuales conforman la capa de base en la estructura del pavimento. Es por ello que se omitió la realización de los ensayos granulométricos de las bases en las estaciones 0+000 hasta la estación 0+800. Sin embargo, los resultados de ensayos realizados a los materiales extraídos de la sub-rasante, proyectaron características propias de un buen material de fundación. Los materiales que conforman la capa inferior de la estructura del pavimento se encuentran dentro de la clasificación de los SM y SP, siendo estos, suelos arenosos con limos y gravas.

### **Tramo II. Estación 1+000 – Estación 2+500**



Todo este tramo presenta condiciones geotécnicas de buenas a excelentes. Litológicamente este tramo está conformado por una capa de base confinada por materiales clasificados como gravas bien graduadas con arena, limos y arcillas de baja plasticidad (GW, GM, GC). Las capas inferiores de la sub-rasante están confinadas por materiales clasificados como gravas, gravas con arena, gravas limosas y arenas con limo (SP-SM, GM, GW, SP-SM) tal y como se observa en las siguientes fotografías:

**Figura 9: Material de Base y Sub-rasante en Estaciones 1+000 hasta 2+500**



## DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS DIFERENTES DISEÑOS DE RECICLADO

De los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para la clasificación y caracterización mecánica de los diferentes suelos que sustentan la estructura actual del pavimento, y de los análisis realizados, se concluye la propuesta de rehabilitación del tramo de vía en estudio, que están expresados en la siguiente figura:

**Figura 10: Propuesta de Rehabilitación para el Tramo de la Vía SAL07W**

Tramo: 0+000 a 0+800	Tramo: 1+000 a 2+500
Reciclado en frío In-Situ (RAP) con un espesor máximo de 10 centímetros.	Reciclado en frío In-Situ (FDR) con un espesor máximo de 25 centímetros.

En base a estas dos propuestas, se avalúan los materiales tanto individuales como de forma combinada, para determinar sus características físicas – mecánicas para su posterior análisis de resistencia, a continuación se muestran los resultados en las siguientes figuras:

**Figura 11: Resumen de Características de los Materiales Mezclados de Bases y Material Fresado**

Características Físicas y Mecánicas del Material Fresado		Características Físicas y Mecánicas del Material mezclado de Bases y Fresado	
Clasificación	GW (MF: 5.5)	Clasificación	GW (A-1-A)
Humedad Óptima de Compactación	6.5 %	Humedad Óptima de Compactación	9.1 %
Peso Volumétrico Húmedo Máximo	2,132 Kg/m³	Peso Volumétrico Húmedo Máximo	2,332 Kg/m³
Peso Volumétrico Seco Máximo	2,002 Kg/m³	Peso Volumétrico Seco Máximo	2,139 Kg/m³

## ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA REQUERIDA

Para determinar el porcentaje óptimo de emulsión bituminosa, se realiza mediante el ensayo de resistencia a la tracción indirecta (ITS) en seco y la relación entre este índice y el índice de tracción en húmedo, el cual se denomina Razón de Resistencia Retenida “TSR”. Estos especímenes se hicieron para las dos alternativas, evaluando varios porcentajes de emulsión, elaborándolos mediante moldes Marshall de 4 pulgadas de diámetro y con un espesor promedio de 2.5 pulgadas de altura cada espécimen. Estos especímenes se dejan curar en ventiladores eléctricos durante 24 horas y luego un curado posterior a horno por 48 horas a una temperatura aproximada de 40°C, esto para garantizar que gran parte del agua existente se evapore y que la mezcla tenga una cohesión deseada.

Según los ensayos realizados para cada propuesta, estos son los resultados:

- 3% de emulsión como valor de porcentaje óptimo de emulsión para el diseño de 100 %RAP.
- 4% de emulsión como valor de porcentaje óptimo de emulsión para el diseño de “FDR” con emulsión asfáltica.

Además se evaluó para la propuesta de recuperación de espesor completo “FDR” una adición del 1.0% de cemento, esto como alternativa constructiva para acelerar el proceso inicial de curado de la mezcla del material con la emulsión asfáltica, dando como porcentaje óptimo el 4% de emulsión según el ensayo de TSR.

## **CONCLUSIONES**

- Al estudiar la vía Sal-07W Tramo: Desvío RN-06W – Puerta del Diablo, de forma detallada y después de analizar los datos del levantamiento de daños, se pudo concluir que la vía es apta para la rehabilitación mediante la técnica de Reciclado de Pavimentos.
- La realización de los pozos a cielo abierto en la vía y los resultados de los ensayos de laboratorio, nos indican que los materiales de las bases y sub-rasantes del tramo analizado son de excelente calidad para soportar el tránsito actual y futuro.
- Los porcentajes óptimos de emulsión asfáltica a utilizar para cada diseño realizado están entre 3 y 4%, datos que están dentro de los parámetros normados para su uso y el tipo de suelo existente en la vía.

## **REFERENCIAS**

- Wirtgen GmbH. Manual de Reciclado en Frío WIRTGEN, 2da Edición, Alemania Noviembre 2004
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial. Edición 2010.

- ASTM International. Designation: D 6433 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. Barr Harbor Drive, United States 2003.