



REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA MEDIANTE EL FRESADO Y RECICLADO EN FRÍO

Mario Severich 1
Catedrático - Universidad del Valle - Cochabamba
Rodrigo Andrés Valenzuela Galindo 2

RESUMEN

Objetivo general

Proponer el método del fresado y reciclado en frío como una alternativa viable para la restauración y rehabilitación de pavimentos asfálticos de la ciudad de Cochabamba

Objetivos específicos

- Describir las consideraciones generales sobre pavimentos y las anomalías que un pavimento asfáltico pudiese contener.
- Realización de un estudio y análisis de la zona del proyecto para determinar las Alternativas de Rehabilitación del Pavimento Asfáltico.
- Descripción y realización del diseño de las Alternativas convencionales para la Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos.
- Caracterización y descripción del procedimiento y la maquinaria involucrada en la técnica del fresado y reciclado de Pavimentos Asfálticos.
- Realización del diseño de espesores y mezclas asfálticas recicladas.
- Realización de un análisis para la determinación de la Alternativa más viable

La pavimentación de la calle Hamiraya entre General Achá y Jordán cuenta con una condición de pavimento pobre, es decir, que posee una superficie de rodadura con reparaciones o parchados, grietas e imperfecciones, causando así molestias a los conductores. El as-

falto, al verse afectado, necesita de una solución rápida y eficiente, la cual se pretende dar con la utilización del método del fresado y reciclado en frío.

Actualmente, los métodos utilizados para la restauración y rehabilitación de los pavimentos asfálticos en mal estado son ineficientes y no garantizan su durabilidad, ya que tienen un sistema de mantenimiento mal planificado.

Por lo mismo se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuál es el método y materiales viables para la restauración del pavimento asfáltico de la calle Hamiraya entre general Achá y Jordán de la ciudad de Cochabamba?

Para ello, primeramente se debe desarrollar el procedimiento necesario para determinar el método óptimo para la rehabilitación de pavimentos asfálticos. Previamente se debe establecer una recopilación de información histórica del tramo, es decir, especificaciones técnicas de la construcción del pavimento y materiales empleados en su construcción, un estudio de tráfico detallado, un análisis del material asfáltico existente en la vía y la realización de una auscultación visual de las fallas existentes.

Una vez determinado el problema existente mediante la auscultación visual de fallas, se evalúan las posibles Alternativas de Rehabilitación para el pavimento asfáltico.

-
1. Ingeniero
Magíster en Ingeniería
 2. Rodrigo Andrés Valenzuela Galindo
Egresado Ingeniería Civil - Universidad del Valle

TABLA N° 1
Alternativas de Rehabilitación

Alternativas		
Convencionales		No convencional
1	2	3
Escarificado o remoción del pavimento existente, seguido de un recapado asfáltico	Saneamiento de la carpeta existente mediante el bacheo y curado de fisuras, seguido de un recapado asfáltico	Fresado y reciclado en frío de pavimentos asfálticos

Fuente: Elaboración propia en base a (1), 2010

Una vez planteadas las alternativas, se debe realizar el diseño de espesores mediante el método del número estructural de la AASHTO (2).

En síntesis, para la Alternativa 1, referente al escarificado del pavimento, son necesarios 4 cm. de carpeta asfáltica en caliente, para soportar el tráfico que circulara por la vía en los próximos 8 años, es decir: 49789 vehículos. Para la Alternativa 2, referente al saneamiento de la carpeta asfáltica, son necesarios 2 cm. de refuerzo de carpeta asfáltica para la misma cantidad de tráfico. Finalmente para la Alternativa 3, referente al fresado y reciclado del pavimento asfáltico, también son necesarios 4 cm. de refuerzo, pero, en este caso, no se utiliza mezcla asfáltica en caliente; entonces, ¿Qué se utiliza?, ¿En qué consiste el método del fresado y reciclado de pavimentos? Pues veamos...

El fresado de pavimentos asfálticos consiste en la remoción del pavimento asfáltico mediante un cortador giratorio de ángulos diversos, o de varias freses, en movimiento giratorio continuo, entendiéndose por reciclaje de pavimentos a la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de un material de pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede emplearse para construir un refuerzo en la vía (3).

El proceso de reciclado consiste en la esparción, o no, de material de adición (grava, arena y filler) sobre la carpeta existente. Posteriormente, con la utilización de una máquina recicladora, que a la par de fresar y mezclar el material de la vía a una profundidad especificada, va incorporando emulsión asfáltica y agua, de tal manera de obtener una mezcla rica en ligantes, capaz de tener una buena compactación para poder así resistir al tráfico circulante y al clima (1).

Para el análisis de las alternativas que permitirán seleccionar la más conveniente, se consideraron tres aspectos: Tiempo de ejecución, Trabajabilidad y Costo. Una vez considerados los aspectos mencionados, se elabora una matriz para la toma de decisiones, en donde se asigna un valor a los parámetros evaluados, mediante la siguiente escala de valores (4):

Bueno	3
Moderado	2
Malo	1

La Alternativa con mayor puntaje será la seleccionada.

TABLA N° 2
Matriz para la toma de decisiones

Alternativa	Plazo	Trabajabilidad	Costo	Total
1	2	1	1	4
2	1	2	2	5
3	3	3	3	9

Fuente: Elaboración propia en base a (4), 2010

Se observa que la Alternativa con mayor puntaje es la tercera. La Alternativa 3 tiene el menor plazo de ejecución, debido al menor tiempo de Rehabilitación. Por tanto, esta alternativa reduce la interrupción en las vías y el perjuicio de la sociedad y/o usuarios. Desde el punto de vista ecológico, llega también a ser notablemente favorable, ya que se utiliza el 100% del material existente en la vía, minimizando la extracción de materiales de importación y evitando la creación de empresitos de materiales. Finalmente como consecuencia de todo lo expuesto anteriormente, esta alternativa tiene el costo más bajo.

Por último, mediante la comparación de Alternativas de Rehabilitación, se puede concluir que el proceso de fresado y reciclado en frío es un método viable para la rehabilitación del pavimento asfáltico tanto en la calle Hamiraya entre General Achá y Jordán, como también en otras vías construidas con pavimento asfáltico. Es viable debido al amplio campo de aplicación, al corto tiempo de ejecución, a la minimización del impacto ambiental y el bajo costo por metro cuadrado comparado con los métodos no convencionales de Rehabilitación.

Palabras Clave: Reciclado, fresado, pavimento asfáltico, rehabilitación de pavimentos, emulsión asfáltica, asfalto espumado, escarificado, recapado.

INTRODUCCIÓN

La oficina de la Compañía Constructora Cochabamba (ubicada sobre la calle Jordán) era la encargada de la construcción del alcantarillado de desagües pluviales y pavimentación de las calles de Cochabamba. A principios de 1938, llegaron los planos de la fábrica de tubos de cemento y la maquinaria necesaria para la planta de asfalto, así como también las cajas con la maquinaria para la fábrica mencionada. Se empezó la producción de tubos de enchufe y campana, con los cuales se podría terminar las obras de desagüe para posteriormente, iniciar los trabajos de pavimentación. En septiembre de 1938, empezó la pavimentación y se tenía planificado dos años para terminar el plan, es decir, hasta 1940, los cordones y aceras de cemento, calzada de base rígida sobre la que de acuerdo a especificaciones del contrato se vaciaba y colocaba la mezcla asfáltica. Se empezó en la calle Santivañez, esquina Hamiraya, hasta la calle Nataniel Aguirre y por ésta hacia la Ladislao Cabrera, siguiendo hasta la Junín, cerrando el circuito en la calle Santivañez (5).

Hoy en día, se cuenta con casi la totalidad de las calles del centro urbano pavimentadas con asfalto, existiendo problemas debido a factores externos, como el clima y el tráfico, e internos, como la mala estructuración, construcción y mantenimiento de la carpeta asfáltica. El asfalto, al verse afectado, necesita de una solución rápida y eficiente, la cual se pretende dar con la utilización del método del fresado y reciclado en frío. El pavimento asfáltico es proyectado y construido para ofrecer viajes confortables, seguros y económicos. Estos factores están determinados por la calidad de su superficie. Cuando el revestimiento no cumple más esta finalidad, se debe intervenir para su rehabilitación. La pavimentación de la calle Hamiraya entre General Achá y Jordán cuenta con una condición de pavimento pobre, es decir, que posee una superficie de rodadura con reparaciones, grietas e imperfecciones, causando así molestias a los conductores.

La condición del pavimento es un índice numérico, el cual varía de 0 -para pavimentos fallados- a 100 -para pavimentos en perfectas condiciones-. Este índice fue desarrollado para poder cuantificar la integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie (6).

Las grietas y fisuras con las que cuenta el pavimento asfáltico tienen una mayor incidencia en épocas de lluvia, debido a que el agua es el mayor causante del deterioro en este tipo de pavimento y, más aun, al no

contarse con sistemas de alcantarillado pluvial adecuados. Con el tránsito de los vehículos, las grietas irán aumentando de tamaño hasta que se generen baches, que pueden ocasionar problemas mayores.

También existe la posibilidad de que se generen problemas de orden estético, funcional y de seguridad, a consecuencia del mal uso de los métodos de Rehabilitación, como el bacheo asfáltico y el recapamiento, puesto que la cota de la capa de rodamiento es a veces mayor a la cota de las aceras, la cual tiene la finalidad de delimitar la vía peatonal; también se llega a modificar la sección transversal del desagüe de las aguas pluviales, ocasionando un problema de orden funcional, como es la inundación debido a que éstas disminuyen su capacidad.

Actualmente, los métodos utilizados para la restauración y rehabilitación de los pavimentos asfálticos en mal estado son ineficientes y no garantizan su durabilidad, ya que tienen un sistema de mantenimiento mal planificado. Por lo mismo, se planteó la siguiente interrogante:

¿Cuál es el método y materiales viables para la restauración del pavimento asfáltico de la calle Hamiraya entre general Achá y Jordán de la ciudad de Cochabamba?

El indicador de que un pavimento asfáltico necesita un mantenimiento se da cuando éste empieza a tener fallas e imperfecciones. Dependiendo del tipo de anomalía que se tenga, la aplicación del fresado y reciclado en frío es una solución técnicamente viable para muchos de los defectos existentes en los pavimentos asfálticos: El fresado es capaz de corregir defectos superficiales, así como también la corrección de la inclinación del pavimento, eliminación de zonas con agrietamientos, baches, depresiones, hundimientos de la calzada y nivelación de la pista con la acera, entre otros. Así, algunos de los beneficios más evidentes del fresado y reciclado en frío en la rehabilitación de pavimentos son:

- Se tendrá una trascendencia favorable hacia la sociedad, ya que el tiempo de rehabilitación de las vías es menor, debido a que las recicladoras son capaces de producir con altas tasas de rendimiento que reducen significativamente los tiempos de construcción, comparados con métodos alternativos de rehabilitación como el recapado asfáltico. Esta reducción de tiempos también disminuye los costos y las interrupciones de tráfico son menores, evitando así accidentes y congestiones.
- Ecológicamente, la implementación del método será

adecuado, ya que el material asfáltico extraído del pavimento será reutilizado para su rehabilitación. Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente y no es necesario crear sitios de alojamiento de materiales, así como también el volumen del nuevo material que debe ser importado a la obra desde bancos de agregados es minimizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder dar una solución al problema con el que cuenta el pavimento, se realizó investigaciones para adquirir información sobre el estado y comportamiento del pavimento existente; para ello se siguió un proceso de análisis, el cual contempla los siguientes puntos:

- Obtención de datos: Obtener conocimiento sobre la información histórica del paquete estructural original y actual del tramo, es decir, materiales utilizados, espesores de construcción, espesores y materiales actuales; también realizar un conteo vehicular para tener conocimiento del tránsito actual y futuro, para luego lograr la cantidad de ejes equivalentes circulantes por la vía, así obtener la carga a la cual estará sometido el pavimento.
- Investigación inicial: Determinación de las fallas existentes en el tramo mediante una evaluación visual de fallas, tomando notas detalladas de todos los deterioros evidenciados en la superficie del pavimento, los cuales son descritos de acuerdo a su severidad, frecuencia y posición. La inspección visual entrega indicaciones valiosas respecto a las causas de deterioro del pavimento, dado que los modelos de falla llegan a ser elementales una vez resumidos.

Para la auscultación visual de fallas, se utilizó la norma ASTM D 6433-03 denominada “Práctica normal para la determinación del índice de la condición de pavimentos de caminos y áreas de parqueo”. Dicha norma se basa en la calificación de la condición del pavimento con un rango de valores que varía del 0 al 100 (6).

TABLA Nº 3
Condición del pavimento y su denominación

PCI	Denominación
85 - 100	Excelente
70 - 85	Muy bueno
55 - 70	Bueno
40 - 55	Regular
25 - 40	Pobre
10 - 25	Muy pobre
0 - 10	Falló

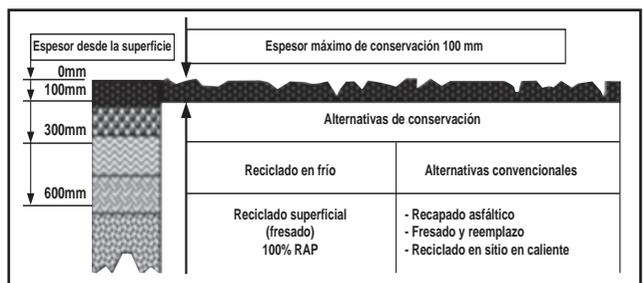
Fuente: (6)

- Investigación específica: Para cada sección representativa, se requirió una investigación detallada para evaluar la estructura del pavimento existente. Para ello, fue necesaria la extracción de testigos y ensayos de laboratorio. Los testigos permitieron conocer en forma precisa los espesores de los materiales ligados, tanto el espesor de la capa original como de las alteraciones realizadas. Los ensayos de laboratorio fueron necesarios para el posterior diseño de mezclas; éstos contemplaron la determinación del porcentaje de asfalto y la determinación de las densidades del asfalto de la vía.

Una vez realizados, se debió determinar las opciones de rehabilitación en base a las figuras siguientes:

FIGURA Nº 1

Alternativas de conservación para falla superficial en la carpeta de rodadura.

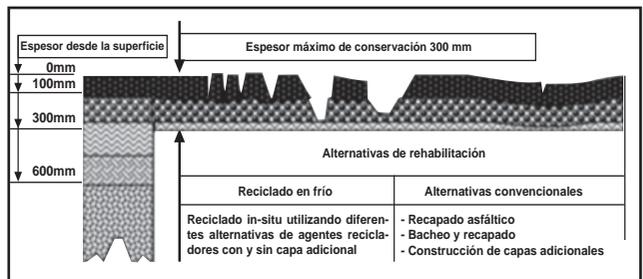


Fuente: (1)

La Figura 1 está referida a situaciones donde sólo la carpeta asfáltica se ve comprometida.

FIGURA Nº 2

Alternativas de conservación para falla estructural en capas superiores.

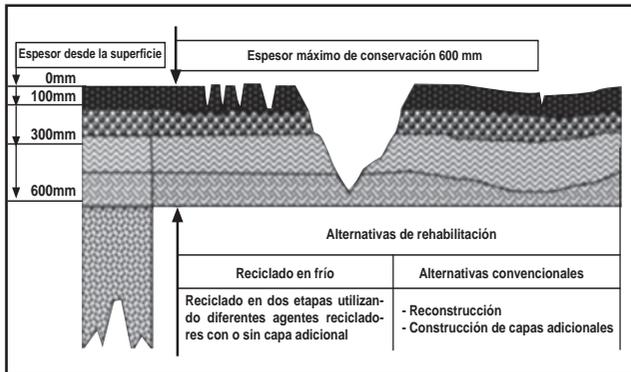


Fuente: (1)

La Figura 2 está referida a situaciones donde el problema viene a comprometer la base.

FIGURA N° 3

Alternativas de conservación para falla por asentamiento de la estructura



Fuente: (1)

La Figura 3 está referida a situaciones donde el problema viene a comprometer la base y la sub-base.

RESULTADOS

La obtención de datos dio información valiosa para tener conocimiento de la vía. Dicha información contempla:

TABLA N° 4
Información del paquete estructural

Datos de construcción			
Capa	Fecha de construcción	Espesor de capa (cm)	Material de capa
Asfáltica	09-1938	3	Asfalto
Base	09-1938	12	Concreto
Sub-base	-	-	-

Datos de mantenimiento			
Fecha de mantenimiento	Número de capa	Espesor de capa (cm)	Material de capa
Variable	1	Variable	Asfáltica
Variable	2	Variable	Concreto

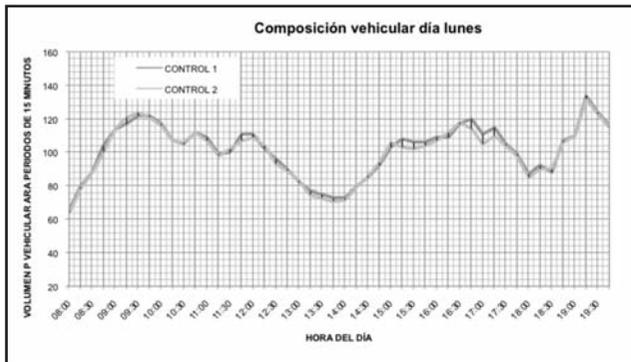
Fuente: Elaboración propia, 2010

TABLA N° 5
Variación diaria del volumen de tránsito

Día de la semana	Automóviles		Autobuses		Camiones pequeños		Total	
	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2
Lunes	4225	4185	633	628	15	14	4873	4827
Martes	4149	4128	622	619	14	14	4785	4761
Miércoles	4101	4086	615	613	14	14	4730	4713
Jueves	4203	4130	630	619	15	14	4848	4763
Viernes	4265	4206	639	631	15	15	4919	4851
Sábado	3790	3807	568	571	13	13	4371	4391
Domingo	1572	1573	236	236	5	5	1813	1814
						TOTAL	30339	30120

Fuente: Elaboración propia, 2010

FIGURA N° 4



Fuente: Elaboración propia, 2010

TABLA N° 6
Ejes equivalentes efectivos

Tipo de Pavimento	Total de Ejes Equivalentes	Fdi	Fca	W18
Flexible	314791	1	1	314791

Fuente: Elaboración propia en base a (7), 2010

La Investigación inicial permitió tener información sobre la condición del pavimento de la sección de estudio, determinada mediante la evaluación visual de fallas, la cual fue de 25.5, valor que se encuentra en el límite inferior del rango 25 - 40, es decir, la condición del pavimento es Pobre y está a poco de pasar a la condición de Muy Pobre, lo que indica la necesidad de realizar una rehabilitación.

También se realizó medidas de la profundidad del ahue llamiento, variando de 1.7 á 2.1 cm, en un ancho de 35 cm. aproximadamente; ello indica que son ahue llamientos angostos y puntuales, es decir, la falla es superficial y se encuentra en la carpeta asfáltica.

Así mismo, con la Investigación específica se realizó la extracción de testigos, que permitió conocer el espesor de asfalto con el que cuenta el tramo en estudio; dicho espesor fue de 2.8 cm.

Como se determinó que la falla del pavimento es superficial, es decir, que la falla se encuentra en la car-

peta asfáltica, se utilizó la Figura 1 para obtener las Alternativas de Rehabilitación. De dicha figura, se tuvo varias Alternativas de Rehabilitación, entre ellas, las convencionales (como el recapado asfáltico y la remoción del pavimento con un posterior colocado de carpeta asfáltica) y la Alternativa no convencional (como el fresado y reciclado en frío 100% RAP o Pavimento Asfáltico Recuperado) (1).

Una vez obtenidas las Alternativas, se realiza el “Planteamiento de Alternativas convencionales para la Rehabilitación del pavimento asfáltico”

• **Alternativa 1.-** Esta Alternativa contempla:

- a) Escarificado de la carpeta asfáltica: Este trabajo consta de la remoción de la superficie de la vía en la profundidad total del material que forma la capa asfáltica existente, mediante el uso de una motoni-veladora con escarificador incorporado.
- b) Colocación de una nueva carpeta asfáltica: Seguido al escarificado, se coloca una capa de mezcla asfáltica en caliente previa colocación de un riego de liga sobre la superficie. Para saber el espesor de carpeta asfáltica a colocarse sobre la base de hormigón, se hará un diseño de espesores; para ello, se recurrirá al método del número estructural de la AASHTO, para el cual fueron necesarios los siguientes parámetros correspondientes al pavimento flexible (7):

Serviciabilidad: Inicial igual a 4.2 y Final igual a 2.
Confianza y desviación normal estándar: 90% y -1.282 respectivamente.
Error estándar combinado: 0.45
Modulo resiliente: 221182.5 MPa

Una vez determinadas todas las variables para el diseño, según la metodología AASHTO, dichas variables se aplicaron en la siguiente ecuación:

$$\text{Log } W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}(M_r) - 8.07$$

Remplazando los datos en la ecuación anterior, el número estructural requerido para el tramo en estudio fue de:

$$\text{Log}(314791) = -1.282 \cdot 0.45 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{2.2}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{3.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}(221182.5) - 8.07$$

$$SN = SN_{req} = 0.61''$$

Para la obtención del espesor de refuerzo, fue necesario conocer el coeficiente estructural; para ello, en base a la estabilidad de la mezcla, se obtiene un coeficiente estructural de 0.44; por tanto, el espesor requerido fue:

$$D_{req1} \geq \frac{SN_{req}}{a_1} = \frac{0.61}{0.44} = 1.39'' = 3.5cm \approx 4.0cm.$$

• **Alternativa 2.-** Esta Alternativa contempla:

a) Saneamiento de la carpeta existente, mediante el bacheo con mezcla asfáltica y curado de fisuras: Esta tarea consiste en la excavación de la carpeta asfáltica deteriorada hasta el espesor total de la misma. La excavación radica en la remoción del asfalto existente haciendo cortes perpendiculares y utilizando maquinaria de corte diamantado y equipo de uso manual. Posteriormente, se realiza la limpieza de la excavación, seguida de un riego de liga que consiste en la colocación de un asfalto diluido de curado rápido: RC-70; finalmente, se coloca con la terminadora la mezcla asfáltica en caliente y se prosigue con el compactado (8).

Para el curado de fisuras, se colocará material bituminoso en las mismas y, posteriormente, se incorporará arena para asegurar un buen sellado de la fisura y evitar es desprendimiento del asfalto.

b) Colocación de una nueva carpeta asfáltica: Para determinar el espesor de la carpeta asfáltica, fue necesario determinar el aporte que brinda la carpeta asfáltica deteriorada existente o número estructural efectivo, que representa la medida de la capacidad estructural remanente de un pavimento existente. Para ello, es imprescindible basarse en la evaluación visual del pavimento existente. De acuerdo a tablas proporcionadas por el método AASHTO y al estudio de la condición del pavimento, donde se contó con un valor menor al 10% de grietas de piel de cocodrilo de baja severidad y un valor menor de 5% de fisuras transversales de media y alta severidad, se tiene un coeficiente estructural a_1 que varía entre 0.25 y 0.35, optándose el valor de 0.25. Multiplicándolo por el espesor de la

carpeta asfáltica, se obtuvo el número estructural efectivo (2):

$$SN_{ef} = 0.25 * 2.8 = 0.7 cm = 0.28''$$

Por tanto, el espesor de refuerzo requerido fue:

$$D_{req2} = \frac{0.61 - 0.28}{0.44} = 0.75'' = 1.9cm \approx 2.0cm$$

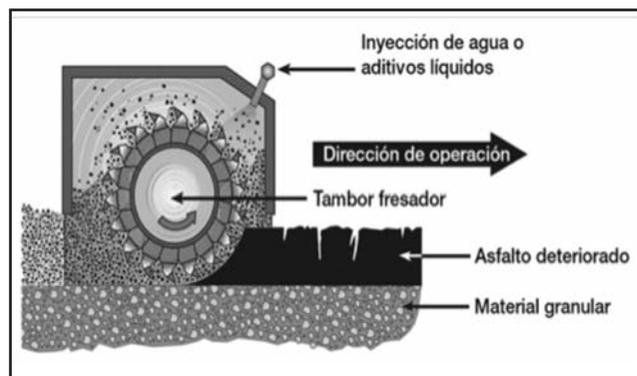
Una vez determinados los espesores requeridos de las Alternativas convencionales, se prosigue con el "Plan-teamiento de la Alternativa no convencional para la Re-habilitación del pavimento asfáltico".

• **Alternativa 3.-** Teniendo en cuenta los conceptos bá-sicos, se ha analizado al fresado y reciclado en frío como la Alternativa 3 para la Rehabilitación del pavimen-to asfáltico. Esta Alternativa contempla:

a) Fresado del pavimento existente: El origen del tér-mino fresado remonta a la técnica de desbaste o corte de metales, u otras piezas, por intermedio de un engranaje constituido por un cortador giratorio de ángulos diversos, o de varias freses, en movi-miento giratorio continuo. El fresado dedicado a la restauración de pavimentos originó dos tipos de equipos y procesos específicos para tal: fresado en frío, que efectúa el desbaste de la estructura por medio simple abrasivo, y proceso en caliente, utili-za el precalentamiento de la estructura para facili-tar su desbaste (3).

b) Reciclado del pavimento existente: Reciclaje de pa-vimentos es la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de un material de pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede em-plearse para la construcción de un refuerzo en la vía. El proceso de reciclado es realizado con una máquina recicladora. Estas recicladoras son espe-cialmente diseñadas para lograr la capacidad de re-ciclar en una sola pasada capas de pavimento de gran espesor. El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especial-mente diseñadas para este proceso. El tambor rota y pulveriza el material del pavimento existente y, a la vez, va incorporando agua y aditivos líquidos como emulsión asfáltica y asfalto espumado, tal como se ilustra en la figura siguiente (1):

FIGURA N° 5
El proceso del reciclado



Fuente: (1)

Posteriormente, se realizó el diseño del refuerzo de carpeta asfáltica en base al número estructural requerido para el tráfico futuro (0.61”). El diseño de espesores para el refuerzo con material reciclado se realizó a través de la siguiente ecuación (7):

$$D_{req3} \geq \frac{SN_{req}}{a_{1r}}$$

Donde:

SN_{req} = Número estructural requerido para el tránsito futuro.

a_{1r} = Coeficiente estructural del refuerzo de concreto asfáltico reciclado.

D_{req3} = Espesor requerido del refuerzo Alternativa 3.

Para la determinación del coeficiente estructural a_{1r} , es necesario conocer el módulo resiliente para pavimentos asfálticos reciclados, el cual varía en el rango de 2500 á 4000 MPa, adoptándose el valor de 2500 MPa., valor con el cual se obtiene un coeficiente estructural de 0.4 para pavimentos reciclados. Reemplazando valores, se tiene:

$$D_{req3} \geq \frac{SN_{req}}{a_{1r}} = \frac{0.61}{0.40} = 1.53'' = 3.9cm \approx 4.0cm.$$

Una vez concluido el diseño de espesores, se prosigue con el diseño de mezclas, el cual es parte fundamental de la investigación de pavimentos y de los procedimientos de diseño y, como tal, su objetivo es establecer el método más efectivo para el tratamiento de los materiales en las capas recicladas. El método empleado para el diseño de mezclas es el proporcionado por el Instituto del Asfalto (9).

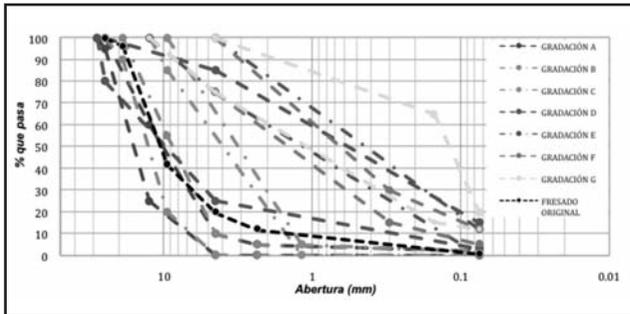
El proceso de diseño conlleva la determinación del tipo de agente estabilizador de la granulometría del material fresado de la vía; la importación de nuevo material, el cual será necesario agregar y extender sobre el camino antes de reciclar para corregir la sección transversal del camino, para mejorar la granulometría del material reciclado o para aumentar el espesor de la capa reciclada sin afectar la estructura subyacente. Si es necesaria la adición de material, se debe determinar el porcentaje del RAP y del material de importación. La granulometría del material fresado de la vía, es decir, sólo el material asfáltico debió cumplir ciertas gradaciones recomendadas para el reciclado.

TABLA N° 7
Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío

Tamiz		Porcentaje que pasa						
		Gradación abierta			Gradación densa			
mm.	Plg.	A	B	C	D	E	F	G
28,3	1 1/2	100			100			
25	1	95-100	100		80-100			
19	3/4		90-100					
12,5	1/2	25-60		100		100	100	100
9,5	3/8		20-55	85-100				
4,5	N° 4	0-10	0-10		25-85	75-100	75-100	75-100
2,36	N° 8	0-5	0-5					
1,18	N° 16			0-5				
0,3	N° 50						15-30	
0,15	N° 100							15-65
0,075	N° 200	0-2	0-2	0-2	3-15	0-12	5-12	12-20

Fuente: (9)

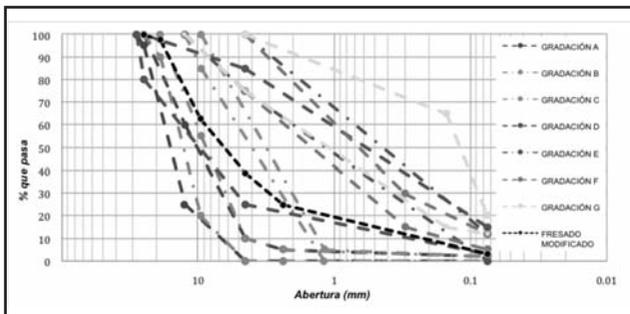
FIGURA N° 6
Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío y gradación fresado original



Fuente: Elaboración propia en base a (9), 2010

Se observa que no entró en ninguna de las gradaciones recomendadas; por tanto, dicha gradación debió ser modificada con la ayuda del material que será importado y colocado sobre la carpeta asfáltica. Una vez realizados los ensayos de laboratorio, se obtuvo la siguiente gradación del fresado modificado:

FIGURA N° 7
Comparación de las gradaciones sugeridas con la gradación fresada modificada.



Fuente: Elaboración propia en base a (9), 2010

La Gradación se encuentra dentro los límites de la gradación especificada “D” (Figura 7).

Para el proceso de rehabilitación, se utiliza una emulsión asfáltica como agente estabilizador y se añade cemento Portland para ayudar con la resistencia inicial. Para tales, debió calcularse la cantidad a añadir a la mezcla asfáltica reciclada.

Una vez realizado el cálculo de diseño de mezcla en función al espesor requerido, se determinó que los porcentajes de los materiales involucrados son: 64.09% de material reciclado, 34.41% de material granular de

adición, 1.5% de cemento Portland, 2.23% de emulsión asfáltica y 2.47% de agua. Posteriormente, con dichos porcentajes se realizaron pruebas de laboratorio para ajustar la dosificación; para ello, se debió realizar el Ensayo Marshall, el cual consiste en la mezcla de todos los materiales involucrados en el reciclado, para así elaborar probetas de 100 mm de diámetro, siguiendo el procedimiento según la Norma AASHTO T-180 D. Realizadas las pruebas de laboratorio para ajustar la dosificación, se verifica que los porcentajes de los materiales involucrados, satisfagan las necesidades de resistencia inicialmente adoptados.

Una vez concluido el proceso de diseño de todas las alternativas, se debe seleccionar la más conveniente; para ello, se dio una ponderación a cada alternativa, teniendo en cuenta el Tiempo de ejecución, Trabajabilidad y Costo: El tiempo de ejecución para cada alternativa se calculó tomando en cuenta el rendimiento de las maquinarias. La trabajabilidad se calculó en base a la posibilidad que tienen las alternativas de hacer frente a cualquier problema que se pudiese presentar. El costo y tiempo de ejecución de cada una de las alternativas se determinaron en función a los precios unitarios de los ítems que los componen y en base al área comprendía entre las calles de estudio, es decir, 1075 m² de superficie.

Una vez considerados los aspectos mencionados, se elaboró una matriz para la toma de decisiones; se asignó un valor a los parámetros evaluados, mediante la siguiente escala de valores (4):

Bueno	3
Moderado	2
Malo	1

La Alternativa con mayor puntaje fue la seleccionada. Haciendo referencia al análisis de las alternativas desarrolladas, se elaboró una matriz para la toma de decisiones, tomando en cuenta la determinación del costo que cada una de ella tiene en función a los precios unitarios, a la trabajabilidad de las mismas y al tiempo de ejecución. En resumen, se obtuvo:

TABLA N° 8
Tiempo de ejecución por Alternativas

	ALTERNATIVAS		
	1	2	3
Tiempo Ejecución (Días)	4,84	8,37	4,52

Fuente: Elaboración propia, 2010

TABLA N° 9
Costo por Alternativas

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Total materiales	13233,19	8790,12	5459,50
Total mano de obra	505,91	491,54	633,04
Total equipo, maquinaria y herramientas	1867,58	1749,13	3791,32
Total recargos	353,83	343,79	442,75
Total gastos generales y administrativos	1404,60	992,77	889,51
Total utilidad	1560,67	1103,08	988,39
Total impuestos a las transacciones	584,81	416,24	377,12
TOTAL PRECIO ALTERNATIVA	19.511,14	13.886,29	12.582,33

Fuente: *Elaboración propia, 2010*

Ponderando a cada Alternativa con la puntuación correspondiente, se tiene:

TABLA N° 10
Matriz para la toma de decisiones

Alternativa	Plazo	Trabajabilidad	Costo	Total
1	2	1	1	4
2	1	2	2	5
3	3	3	3	9

Fuente: *Elaboración propia en base a (4), 2010*

Como se puede observar, la Alternativa 3 cuenta con el mayor puntaje y fue la recomendada para la rehabilitación del pavimento asfáltico de la vía.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que el proceso de reciclado cuenta con características viables para la rehabilitación de pavimentos asfálticos y puede emplearse en aquellos casos en que las fallas puedan atribuirse a:

- Elevada rigidez del ligante asfáltico: Como consecuencia de su envejecimiento por acción del tiempo.
- Desprendimiento de los agregados: Ocasionado por una falla de adherencia con el asfalto o bien por el envejecimiento del mismo.
- Deformaciones plásticas que producen ahue-

miento, ondulaciones y corrimientos, atribuibles, principalmente, a mezclas con baja estabilidad.

- Pulimento de los agregados superficiales: Disminuye la resistencia al deslizamiento de la capa de rodamiento.
- Exudación. Como consecuencia de una falla en el diseño de la mezcla, que conduce también a superficies propensas al patinaje de los vehículos.
- Fisuras y grietas: Ocasionadas por fatiga de la capa asfáltica o bien por contracción producida por efectos térmicos.

Entonces, el reciclado en frío es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Los beneficios más evidentes del reciclado en frío para la rehabilitación de pavimentos son:

Factores medio ambientales. Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente. No se necesita crear sitios de empréstitos de materiales y el volumen del nuevo material que debe ser importado a la obra, desde pozos de agregados, es minimizado. Además, el transporte como el consumo de combustibles es reducido en forma drástica.

Calidad de la capa reciclada. Se logra una alta y consistente calidad de mezclado de los materiales in-situ con el agua y el agente estabilizador. El material reciclado, más los aditivos, son mezclados en forma intensa en la cámara del tambor fresador-mezclador.

Integridad estructural. El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas homogéneas.

Menores tiempos de construcción. Con la elevada producción con la que cuentan las recicladoras, se llega a reducir significativamente los tiempos de construcción comparados con métodos alternativos de rehabilitación como el recapado asfáltico. Esta reducción de tiempos también disminuye los costos y genera un beneficio intangible para los usuarios del camino, ya que las interrupciones de tráfico son menores.

Seguridad. Uno de los beneficios más importantes del proceso de reciclado en frío es la seguridad vial que es posible conseguir ya que el tren de reciclado completo se puede acomodar en el ancho de una pista.

Costo-efectividad. Los beneficios expuestos anteriormente se combinan para hacer del reciclado en frío una alternativa altamente atractiva para la Rehabilitación de pavimentos en términos de costo-efectividad.

Realizado el análisis de los factores que involucran la

rehabilitación del pavimento asfáltico y las condiciones particulares que pudiesen presentarse en el tramo de estudio, se llega a concluir:

- Que la Alternativa 3, siendo 36% más económica que la Alternativa 1 y 9% menor a la Alternativa 2, resulta ser la más conveniente.
- Que la Alternativa 3, debido a su menor tiempo de rehabilitación, reduce la interrupción en las vías y el perjuicio de la sociedad y/o usuarios; resulta también ser la más adecuada.
- Que desde el punto de vista ecológico, el uso del método de reciclado de pavimentos, llega a ser notablemente favorable, debido a que se utiliza el 100% del material existente en la vía, minimizando la extracción de materiales de importación y evitando la creación de empesitos de materiales.
- Que las dos alternativas de rehabilitación convencionales planteadas llegaron a satisfacer las características necesarias, pero a un costo y tiempo mucho mayor al del reciclado de pavimentos, a causa principalmente del elevado costo y cantidad necesaria de mezcla asfáltica en caliente.

Debido al estudio visual realizado, se llega a concluir que la condición del pavimento es pobre y en razón de que las anomalías encontradas en el tramo son semejantes, se puede deducir, que la estructura del pavimento cuenta con síntomas similares de deterioro. Por tanto, el comportamiento que la estructura tenga con la capa reciclada, será uniforme en todo el tramo.

La extracción de núcleos permitió observar el espesor de la capa asfáltica de la vía; como resultó ser bajo, se tuvo que añadir material granular para llegar al espesor requerido; por tanto, el costo y tiempo que demandará cualquier proyecto de reciclado, dependerá de este espesor. Si se contara con espesores mayores o iguales a los 5 cm, la adición de material no sería requerida y, por tanto, los costos y tiempos de colocación de material granular sobre la vía serían innecesarios, a no ser que se deba corregir la granulometría de la mezcla.

Por último, mediante la comparación de alternativas de rehabilitación, se puede concluir que el proceso de fre-

sado y reciclado en frío es un método viable para la rehabilitación del pavimento asfáltico tanto en la calle Hamiraya entre General Achá y Jordán, como también en otras vías construidas con pavimento asfáltico. Es viable debido al amplio campo de aplicación, al corto tiempo de ejecución, a la minimización del impacto ambiental y el bajo costo por metro cuadrado comparado con los métodos no convencionales de rehabilitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) WIRTGEN, "Manual de Reciclado en Frío", Alemania, 2004.
- (2) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS, "Guide for design of pavement structures" Washington D.C. 1993.
- (3) VALMIR, Bonfim, "Fresado de pavimentos asfálticos", Sao Paulo, Execão, 2008.
- (4) ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, "Orden de cambio N° 21, Proyecto de mantenimiento periódico Sacaba-Colomi-Paracti, tramo 1 Sacaba-Colomi", Bolivia, 2009.
- (5) GALINDO QUIROGA, Eudoro, "Memorias de un Ingeniero", Cochabamba, Arol, 1990.
- (6) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, "D 6433", 2003.
- (7) INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, "Diseño de pavimentos", La Paz, IBCH, 1996.
- (8) SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS, "Especificaciones técnicas generales", Bolivia, 2003.
- (9) MONTEJO FONSECA, Alfonso, "Ingeniería de pavimentos para carreteras", 2002.