

# ESTUDIO DE TECNICAS DE RECICLADO EN FRIO: PRIMERA PARTE

Por Guillermo Thenoux Z. y Gabriel García S.

## Resumen

*El reciclado en frío es actualmente, una alternativa de rehabilitación altamente conveniente para una gran cantidad de fallas de pavimentos asfálticos y tiene numerosas ventajas en comparación a los métodos tradicionales, especialmente referidas a la reducción del impacto ambiental y del impacto a los usuarios, además de su mayor costo-efectividad.*

*El presente trabajo corresponde a una primera publicación de tres, sobre el tema de reciclado en frío. El trabajo en su primera parte, es principalmente de recopilación bibliográfica y presenta un listado de las publicaciones más relevantes y actualizadas en el tema. El trabajo presenta un análisis de las principales ventajas de los proyectos de reciclado en particular cuando se le compara con otras alternativas de rehabilitación como lo son, las diversas soluciones de reconstrucción y de recapado.*

*El trabajo presenta un completo resumen de las diversas formas en que se puede abordar un proyecto de reciclado en frío. Se estudian las diversas técnicas constructivas así como el empleo de diferentes tipos de aditivos rejuvenecedores.*

## 1. INTRODUCCION

El reciclado en frío de pavimentos asfálticos, se define como el procesamiento y tratamiento con material bituminoso y/o aditivos químicos, de un pavimento asfáltico existente, sin aplicación de calor, para producir una capa de pavimento restaurado [AASHTO, 98].

El principal objetivo del reciclado en frío es rehabilitar un pavimento asfáltico deteriorado, restituyendo o mejorando las propiedades de la mezcla asfáltica así como las propiedades funcionales y estructurales del pavimento.

El reciclado en frío básicamente consiste en la recuperación de un pavimento asfáltico existente (RAP, Reclaimed Asphalt Pavement), el mezclado del pavimento asfáltico recuperado con asfalto, agregado nuevo (si es necesario) y aditivos (si es necesario). La recuperación de un pavimento en frío puede ser realizada por un equipo fresador el cual, es capaz de disgregar el material de modo tal que pueda ser reutilizado en el mismo lugar o bien transportado a una planta para ser utilizado en cualquier otro proyecto vial. Por otra parte, si no se dispone de una fresadora, el pavimento puede ser removido con métodos convencionales, transportado a una planta trituradora/seleccionadora y utilizarse en la preparación de mezclas en planta tanto en frío como en caliente.

Las mezclas recicladas podrán requerir la adición de agregado cuando el porcentaje de asfalto residual de la mezcla recuperada es muy alto y/o cuando sea necesario restaurar la granulometría del RAP. En relación al uso de aditivos estos se requieren, en general, para mejorar la adherencia asfalto/agregado y/o para mejorar las propiedades del asfalto que se utiliza. Por lo general, no es recomendable que la mezcla reciclada sea utilizada como carpeta estructural superficial por lo cual, sobre esta usualmente se coloca un recapado de mezcla asfáltica en caliente entre 3 a 5 cm., o algún tipo de sello de superficie.

## 2. BENEFICIOS DEL RECICLADO EN FRIO

Muchos son los beneficios que se pueden obtener al reciclar pavimentos asfálticos y en particular si se emplean técnicas de reciclado en frío. Entre estos se pueden listar los siguientes:

- Reducción del impacto ambiental, por concepto de:
  - Reducción en la explotación y transporte de nuevos materiales. Además al reutilizar los agregados existentes se tiene una garantía de buena calidad, en el sentido que estos han sido previamente probados y geológicamente se consideran de la misma edad.
  - Reducción por concepto de botadero debido a la reducción en la producción de escombros.
  - Reducción de la contaminación por varios efectos asociados a los sistemas constructivos (ejemplo; reducción del polvo, humo, etc.).
- Ahorro de energía en comparación a la alternativa de mezcla en caliente y por concepto de transporte (en particular para el reciclado in-situ).
- Se corrigen y eliminan deformaciones superficiales, baches y ahuellamientos. Se puede restaurar y/o corregir la sección transversales de los caminos.
- Se destruyen los patrones de agrietamiento de los pavimentos en servicio y en el caso de un reciclado a profundidad total se corrigen deficiencias estructurales.
- Si se compara con la alternativa de reconstrucción, el reciclado no perturba la subrasante que en muchas situaciones esta ya se encuentra compactada, consolidada y estable.
- Si se compara con la alternativa de recapado, el reciclado permite conservar las alturas de las soleras por lo cual no altera las condiciones de drenaje y canalización. Del mismo modo mantiene la continuidad de la rasante

de su mismo eje así como con los ejes que la cruzan.

- Se puede corregir la resistencia al deslizamiento. Específicamente, el fresado superficial permite mejorar la textura superficial del pavimento.
- Reducción del impacto a los usuarios, durante el proceso de construcción. En particular las técnicas de reciclado *in-situ*, permiten trabajar en una pista sin interferir las pistas contiguas de circulación. Se reduce también, el impacto por circulación de vehículos de transporte de materiales que no sólo redunda en un beneficio desde el punto de vista del tránsito sino que además desde el punto de vista de las menores solicitaciones en el pavimento por efecto de tránsito pesado de construcción. El beneficio al usuario, se puede además cuantificar debido a que el reciclado *in-situ*, en comparación con técnicas tradicionales se puede realizar en un tiempo mucho menor.

### 3. RECICLADO DEL ASFALTO

En el diseño de pavimentos reciclados, tradicionalmente se han enfrentado dos teorías contrapuestas en lo que refiere al reciclado del asfalto propiamente tal. La primera teoría trata el material recuperado (RAP) como un “agregado negro” con algo de asfalto endurecido recubriéndolo. En este caso, se asume que el RAP se comporta sólo como un agregado que presenta un bajo porcentaje de absorción por lo cual, se dosifica la cantidad de asfalto virgen sin considerar el asfalto existente. La segunda teoría, considera que el asfalto adherido al agregado puede ser reconstituido al adicionar un rejuvenecedor o agente ablandador el cual podría restaurar el asfalto a su condición original. En este segundo caso la dosificación de asfalto virgen considera las propiedades y cantidad de asfalto existente.

En investigaciones llevadas a cabo en California, Oregon, Nevada y Nuevo México, se ha concluido que lo más probable que ocurra es una combinación de ambas teorías [ROGGE, 92]. Un porcentaje del asfalto envejecido se combina con el asfalto virgen para producir un contenido de asfalto en la mezcla conocido como “asfalto efectivo”. El porcentaje que se combina en forma efectiva con el asfalto virgen es muy variable y depende fundamentalmente de cuatro factores:

- Tipo de asfalto virgen que se emplee. Es decir, asfalto cortado, emulsión asfáltica, asfalto espumado o cemento asfáltico.
- Porcentaje y estado de envejecimiento del asfalto residual.
- Tipo de aditivo rejuvenecedor. Aunque en esta última situación los aditivos rejuvenecedores podrían actuar más bien como aditivos reblandecedores y no restituyen las propiedades viscoelásticas del asfalto residual.
- Porcentaje de asfalto residual absorbido por el agregado.

En todo caso, no es fácil determinar con exactitud la proporción en que el asfalto residual se combinará con el asfalto virgen y cuales serán las propiedades del asfalto combinado. Para el reciclado en frío empleando emulsión es recomendable asumir que el asfalto virgen no se combinará con el asfalto residual adherido al agregado.

## 4. TIPOS DE RECICLADO EN FRÍO

Existen diferentes maneras de clasificar el reciclado en frío de pavimentos asfálticos. La Figura 1, muestra un resumen de las combinaciones de elementos que pueden dar origen a variadas formas de reciclado. Ejemplo, puede darse un reciclado profundo, *in-situ*, con asfalto espumado y adición de árido nuevo, o un reciclado parcial, en planta, con emulsión / cemento y sin adición de árido nuevo.

Por otra parte, existen grandes diferencias tanto en su finalidad como en su proceso constructivo entre algunos de ellos (por ejemplo, entre un fresado superficial y un reciclado profundo), y muchas similitudes entre otros (por ejemplo, entre un reciclado parcial, con emulsión y uno con asfalto espumado).

A continuación, se describirán resumidamente aquellos tipos, o combinación de ellos, que resultan de mayor ocurrencia e interés en la práctica.

### 4.1 Según el Lugar en que se Realiza:

#### a) Reciclado *in-situ*

Todo el procesamiento del material recuperado del pavimento asfáltico es realizado sobre la superficie misma en que se colocará, incluyendo la operación de mezclado. Aunque en la actualidad (dado el avance tecnológico experimentado en el último tiempo por la maquinaria para reciclado) hay una gran cantidad de variantes que dependen de los equipos empleados, se pueden distinguir dos tipos de procedimientos de reciclado en frío *in-situ* los cuales son designados como “tren de unidad simple” y “tren de unidades múltiples”.

El tren de unidad simple, consiste en una máquina fresadora autopropulsada utilizada sólo para el procesamiento del RAP e incorporación del ligante (aditivo reciclador). Para un mejor control del tamaño del RAP, la fresadora debería tener un tambor fresador con profundidad de corte variable. La fresadora es equipada con un sistema de aditivo líquido y un esparcidor que controle volumétricamente la cantidad de líquido en base a la profundidad del fresado, al ancho de corte y a la velocidad de la máquina.

La Figura 2, muestra dos ejemplos de este tipo de equipos. En la parte a) se muestra una máquina recicladora montada sobre ruedas neumáticas que en este caso está utilizando emulsión como aditivo reciclador pero que podría ser asfalto espumado o un sistema mixto, también se muestra el camión suministrador de la emulsión; en la parte b) se presenta una máquina montada sobre orugas, en este caso se está usando ligante mixto (emulsión/cemento), además a la máquina recicladora se le ha agregado un mezclador para lechada (en la parte derecha) y un dispositivo especial para la extensión del material reciclado (en la parte izquierda), también se muestra el camión que suministra los aditivos recicladores y el agua para la preparación de la lechada.

El elemento clave en este tipo de máquinas es el tambor fresador/mezclador el que está equipado con una gran cantidad de dientes de corte. El tambor rota, fresando el material del pavimento existente como se muestra en la Figura 3.

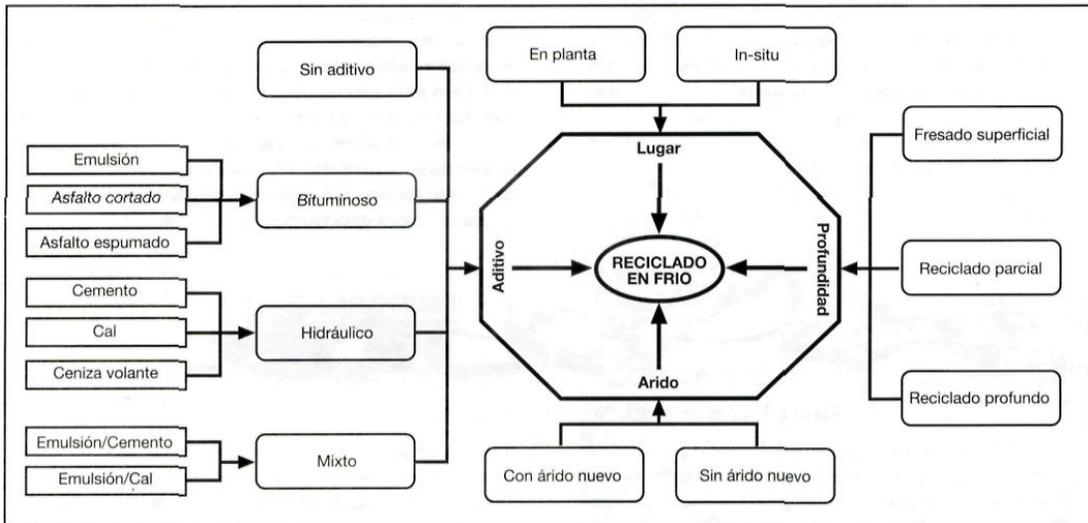


Figura 1. Tipos de reciclado en frío de pavimentos asfálticos.

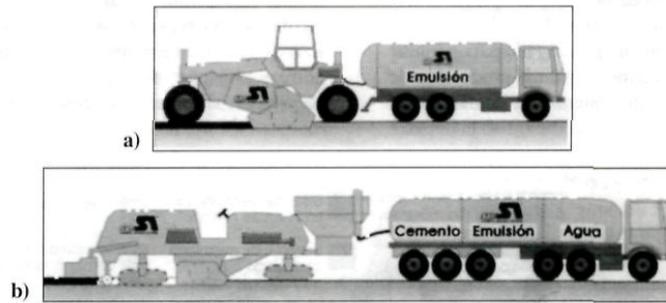


Figura 2. Dos tipos de tren de reciclado de unidad simple.

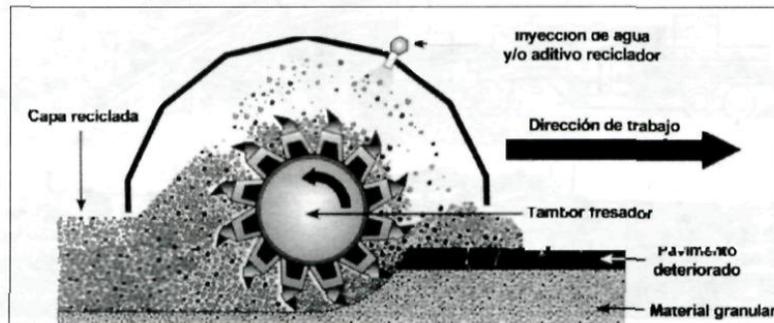


Figura 3. Tambor fresador/mezclador y sistema de inyección de aditivo.

En el caso del tren de unidades múltiples, el procesamiento del RAP es completado por un equipo distinto de la máquina fresadora. Se ha desarrollado un tren de dos unidades que consiste en una máquina fresadora que produce el RAP y en una unidad de mezclado/extensión para la incorporación del aditivo y colocación de la mezcla reciclada. También, hay trenes de dos unidades que consisten en una fresadora más un remolque que contiene una planta de cribado/chancado y un mezclador, ver Figura 4.

finos; la tercera unidad, la de más a la izquierda, está provista de un sistema de mezclado controlado por un microprocesador para mantener la mezcla de aditivo/RAP dentro de límites muy precisos y de un mezclador de flujo continuo. En este caso, el material reciclado es dejado en un cordón, lo cual puede ser realizado por medio de un brazo transportador de material (el cual no aparece en la figura); este brazo transportador también puede ser utilizado para cargar camiones directamente desde el mezclador.

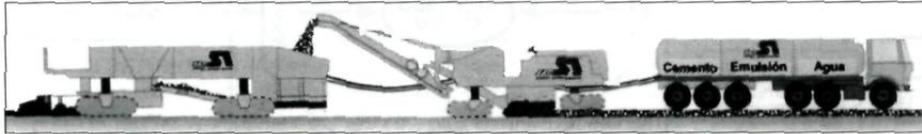


Figura 4. Tren de reciclado de dos unidades.

El tren de unidades múltiples más grande y de mayor capacidad de producción tiene tres unidades, una máquina fresadora, una planta de cribado / chancado montada sobre un remolque y un mezclador montado sobre otro remolque. El tamaño máximo del RAP es controlado por la unidad de cribado / chancado y la cantidad de aditivo líquido es controlada por una correa transportadora y un microprocesador en el mezclador.

La Figura 5, muestra un tren de reciclado de tres unidades. En la parte derecha de la figura se aprecia la fresadora; en la parte central se encuentra la unidad de chancado la que en este caso es en circuito cerrado para permitir procesar el RAP con sobretamaño y evitar la producción de desperdicios, todo esto sin incrementar el contenido de

b) Reciclado en planta

El RAP fresado es transportado hasta la planta donde es acopiado. Al construir los acopios de RAP, se deben seguir procedimientos preestablecidos para optimizar la posterior explotación. Diferentes tipos de RAP deberían ser separados para prevenir la contaminación del material y los acopios deberían ser construidos en capas horizontales para minimizar la segregación. También, la altura de los acopios debería ser mantenida a un máximo de 3 m. y evitar que los equipos operen sobre ellos para minimizar la compactación y la aglomeración de partículas.

La plantas pueden ser fijas o móviles y normalmente estarán compuestas por una tolva alimentadora de RAP (donde también puede incorporarse agregado virgen), correas transportadoras, sistema de pesaje del material, mezclador, sistema de adición de aditivo líquido y agua,

La plantas pueden ser fijas o móviles y normalmente estarán compuestas por una tolva alimentadora de RAP (donde también puede incorporarse agregado virgen), correas transportadoras, sistema de pesaje del material, mezclador, sistema de adición de aditivo líquido y agua,

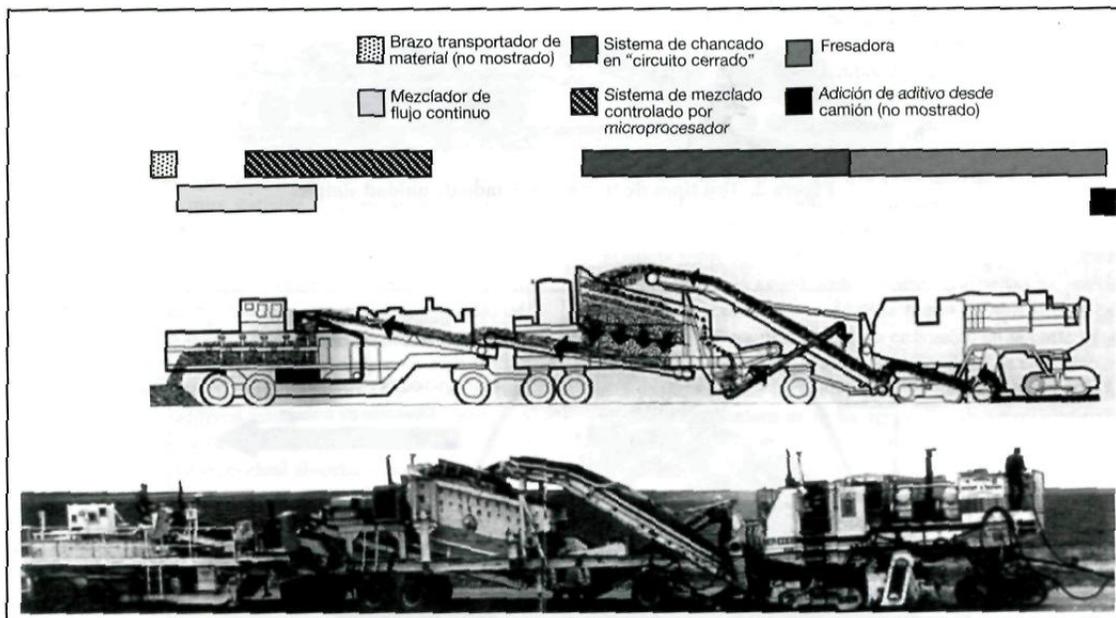


Figura 5. Tren de reciclado de unidades múltiples.

bombas y tanques de almacenamiento de aditivos. Se puede requerir una unidad de tamizado/chancado para asegurar un apropiado control del tamaño máximo del RAP. También se podría requerir de un estanque especial para producir lechada (ya sea con cemento o cal, dependiendo del aditivo que se quiera aplicar). Las únicas limitaciones en el proceso del material en planta son las que puedan deducirse de la granulometría o de los excesos de ligante en el material reciclado, que pueden exigir una corrección con aportación de árido nuevo.

La Figura 6, muestra una planta de reciclado móvil, en la parte inferior de dicha figura se ve la planta en régimen de operación, en cambio en la parte superior, se aprecia la misma planta en condición de ser movilizada.

En la Figura 7 se puede apreciar una planta de reciclado móvil (en la parte derecha de la figura) la cual ha sido complementada con una planta de chancado también móvil (en la parte izquierda de la figura).

#### 4.2 Según la Profundidad del Reciclado

##### a) Fresado superficial

Consiste en el fresado controlado del pavimento para restaurar la superficie hasta un perfil especificado. Rugosidad, ahuellamiento y otras irregularidades pueden ser removidas, dejando una textura superficial uniforme y con una resistencia al patinaje mejorada. El pavimento existente es fresado con una máquina fresadora de tambor rotatorio autopropulsado y el RAP resultante puede ser transferido directamente a camiones para ser trasladado a otro sitio. El pavimento restaurado puede ser usado inmediatamente por el tráfico regular y recarpetado algún tiempo después, o simplemente dejado en esa forma como una superficie texturada.



Figura 7. Planta de reciclado móvil complementada con chancadora móvil [WIRTGEN, 98].

La Figura 8, muestra un ejemplo de este tipo de reciclado. En la parte inferior de la figura se puede apreciar la diferencia entre el pavimento en su estado original (en la parte derecha) y el pavimento fresado (en la parte izquierda).

##### b) Reciclado parcial

Este tipo de reciclado es una técnica de rehabilitación de pavimentos asfálticos que reutiliza los materiales del pavimento existente y actúa sólo sobre las capas



Figura 6. Planta de reciclado móvil [WIRTGEN, 98].

asfálticas, sin llegar a la base granular. Todo el trabajo es completado sobre el pavimento que está siendo reciclado y normalmente no requiere el transporte de los materiales excepto el de los aditivos que se quiera utilizar.

El reciclado parcial es típicamente realizado como un medio de eliminar el agrietamiento severo de las capas asfálticas y al mismo tiempo para mejorar la calidad de rodado o serviciabilidad. Frecuentemente es utilizado como una estrategia de corto o mediano plazo, sin embargo puede también ser empleado en casos donde el pavimento existente está en general sano, excepto por fallas existentes en las capas asfálticas superiores. Normalmente es ejecutado hasta profundidades que varían entre 80 mm y 150 mm.

Con este tipo de reciclado, puede haber un pequeño mejoramiento en la capacidad estructural del pavimento, debido al efecto de la colocación de una capa asfáltica superficial nueva que normalmente es utilizada. Al reducirse el ingreso del agua hacia las capas inferiores también se tenderá a prolongar la vida útil del pavimento.

La colocación y compactación del material reciclado de esta forma, puede ser efectuada con los mismos



**Figura 8. Fresado superficial.**

métodos empleados con las mezclas asfálticas en caliente. La extensión del material puede ser realizada por una pavimentadora, por una unidad del tren de reciclado (Figuras 2.b) y 4) o, en algunos casos el material puede ser extendido con una motoniveladora que acompañe al tren de reciclado. La compactación para alcanzar la densidad requerida puede ser ejecutada ya sea por compactadores de ruedas neumáticas, por compactadores vibratorios, por rodillos estáticos de acero o por una combinación de ellos que será lo más común.

#### c) Reciclado profundo

El reciclado profundo o total (en inglés "full depth reclamation") es una técnica en la cual la totalidad de la carpeta asfáltica y buena parte del espesor de la base son uniformemente chancados y mezclados, resultando una capa de base estabilizada; una mejor estabilización se puede alcanzar (que es la tendencia actual) con el empleo de aditivos como emulsión, emulsión / cemento o asfalto espumado (ver Figura 3).

Se utiliza cuando el pavimento ha sufrido daños estructurales que se extienden más allá de la carpeta asfáltica y comprometen la estabilidad de la base. Tratando toda la sección del pavimento, el reciclado profundo puede corregir secciones transversales débiles, incrementar la capacidad soportante de la base, y utilizar el 100 % del material existente. Este tipo de reciclado es considerado una estrategia de mediano y largo plazo. Al ser realizado con aditivos como emulsión, emulsión / cemento o asfalto espumado y ser cubierto por una capa superficial, mejora las propiedades funcionales del pavimento, tales como la resistencia al deslizamiento y la serviciabilidad. Normalmente la profundidad a la cual se realiza este tipo de reciclado es por sobre los 150 mm.

Una vez que el reciclado ha sido realizado, se requiere una nueva carpeta de rodado. Para caminos de tráfico liviano puede ser suficiente un tratamiento superficial o una carpeta asfáltica en caliente delgada. En lugares donde se espera el paso de tráfico pesado, se puede requerir de una base asfáltica así como también de una capa asfáltica en caliente superficial.

En la Tabla 1, se presentan una serie de fallas que son de normal ocurrencia en los pavimentos asfálticos, las cuales se han relacionado con el tipo o tipos de reciclado que de mejor forma pueden solucionarlas [ARRA, 92], por lo tanto, puede ser de gran utilidad a la hora de tener que seleccionar el tipo de reciclado en frío más apropiado para solucionar una determinada forma de deterioro.

#### 4.3 Según el Aditivo Reciclador que se Utilice

En la actualidad existen una serie de aditivos recicladores que están siendo utilizados para el reciclado de pavimentos asfálticos. Todos ellos tienen el objetivo común de "ligar" las partículas individuales entre sí para incrementar la resistencia del material y/o hacerlo más resistente al agua. Algunos son más efectivos que otros al ser empleados sobre ciertos materiales, algunos tienen claras ventajas en cuanto a los costos, pero todos tienen un campo de aplicación y la mayoría son mejor aplicados usando las modernas máquinas recicladoras actuales.

La decisión de qué producto usar para un proyecto específico estará influenciada principalmente por los siguientes factores:

- Precio. El costo unitario del aditivo será siempre la principal preocupación.
- Disponibilidad. Ciertos aditivos específicos pueden no estar disponibles en un lugar determinado. Un ejemplo de ello es el de las emulsiones de alta flotación las cuales no son fabricadas en nuestro país en la actualidad.
- Características del material a reciclar. Algunos aditivos recicladores son más efectivos que otros con ciertos tipos de material.
- Políticas del mandante. Algunos mandantes tienen políticas rígidas respecto del uso de ciertos aditivos, lo cual normalmente estará influenciado por experiencias anteriores.

A continuación se describirán los tipos de reciclado en frío que es posible realizar de acuerdo al aditivo reciclador utilizado.

##### a) Sin aditivo

En este caso, al material recuperado se le da un tratamiento como el que se le da a un agregado virgen.

Es el tipo de reciclado más simple, sin embargo, no es usual la utilización del RAP como árido, ya que su empleo en capas granulares da algunos problemas como los siguientes:

- Se consigue una baja compactación inicial.
- El material puede sufrir deformaciones plásticas a lo largo del tiempo.
- Se desaprovecha el material bituminoso que contiene el RAP.

Tabla 1. Tipo de reciclado según tipo de falla del pavimento.

TIPO DE FALLA DEL PAVIMENTO	TIPO DE RECICLADO		
	Fresado Superficial	Reciclado Parcial	Reciclado Profundo
<b>Defectos Superficiales</b>			
Pérdida de áridos	x	x	
Exudación	x		
Pérdida de fricción	x		
<b>Deformaciones</b>			
Corrugaciones (ondulaciones)	x (1)		
Ahuellamiento poco profundo	x (1)		
Ahuellamiento profundo		x (2)	x (2,3)
<b>Grietas Asociadas a Cargas</b>			
Piel de cocodrilo		x	x
En la huella de circulación		x	x
En los bordes		x	x
<b>Grietas no Asociadas a Cargas</b>			
En bloque (retracción)		x	x
Transversales (térmicas)		x	x
<b>Grietas de Reflexión</b>		x	x
<b>Baches</b>			
Superficiales		x	x
Profundos		x	x
<b>Problemas de Base / Subbase</b>			x
<b>Calidad de Rodado / Rugosidad</b>			
Irregularidades generalizadas	x		
Depresiones (asentamientos)	x (4)		x (5)
Hinchamientos	x (4)		x (6)
<p>(1) Puede ser una corrección temporal si no es removida toda la capa afectada o tratada con la adición de mezcla asfáltica especial.</p> <p>(2) Se puede requerir la adición de árido nuevo para mezclas inestables.</p> <p>(3) Se puede requerir la estabilización química de la subrasante, si el suelo es blando y húmedo.</p> <p>(4) Puede ser sólo corrección temporal si la falla está relacionada a problemas de la subrasante.</p> <p>(5) Se usa si las depresiones son debidas a la subrasante blanda y húmeda.</p> <p>(6) Se usa si el hinchamiento es debido a un suelo expansivo de la subrasante.</p>			

#### b) Aditivos bituminosos

Debido a los avances tecnológicos alcanzados, el uso de ligantes bituminosos como aditivo reciclador está siendo cada vez más generalizado, ya sea aplicándolos en su forma emulsificada o como asfalto espumado. Algunos asfaltos cortados han sido utilizados satisfactoriamente para estabilizar capas delgadas, sin embargo, la tendencia mundial actual en lo referido a la protección medioambiental ha hecho que esta forma de aditivo bituminoso esté siendo cada vez menos utilizada y es más, en muchos lugares está siendo prohibido su empleo.

El material tratado con aditivos bituminosos no sufre el fenómeno de agrietamiento por retracción asociado a aquellos tratados con productos hidráulicos y puede ser abierto al tráfico inmediatamente debido a la resistencia inicial que alcanzan las partículas superficiales lo cual las previene del desprendimiento debido al tráfico.

El empleo de materiales bituminosos es una forma costo-efectiva de mejorar la resistencia de un material y reducir el efecto dañino del agua. Los ligantes bituminosos producen una capa flexible con muy buena resistencia a la fatiga comparado con aquellas tratadas con productos hidráulicos, permitiendo reducir el espesor de la capa sin sacrificar capacidad estructural.

#### c) Aditivos hidráulicos

Cemento, cal y mezclas de esos productos con cenizas volantes y otros materiales, son aditivos utilizados con mucha frecuencia y exceden por mucho el empleo de los otros tipos de aditivos. La principal razón para esto es su disponibilidad.

*La principal función de estos aditivos es incrementar la resistencia, la cual es gobernada principalmente por la cantidad de aditivo que es utilizado, pero también por las características del material que está siendo tratado.*

Contrariamente a lo que muchos piensan, agregar mayor cantidad de este tipo de aditivos para obtener mayores resistencias puede ser negativo para el comportamiento de la capa reciclada. Un material tratado con un aditivo hidráulico tiende a ser semi-frágil. Incrementando la resistencia hace que el material incluso sea más frágil con una consecuente reducción en las propiedades de fatiga de la capa reciclada. Esto invariablemente conduce a un creciente agrietamiento bajo las repetidas cargas de tráfico, y las grietas en las capas de pavimento nunca son deseables.

Cuando se emplea cal como aditivo, se reduce la susceptibilidad a la humedad de la mezcla reciclada, se mejoran las tasas de curado, se incrementa la resistencia inicial y se obtienen mayores resistencias últimas.

La ceniza volante es muy fina y baja en partículas residuales. Antes de que sea considerada como aditivo reciclador, el pavimento a reciclar debe ser estudiado para determinar qué tipo de materiales serán tratados. Si el material contiene un suelo altamente plástico o un material con un gran contenido de arcilla, la ceniza volante puede reducir la elasticidad de dicho material.

#### d) Aditivos mixtos

Desde la perspectiva de un reciclado con emulsión, se puede llegar a uno mixto con cemento o cal, para evitar los problemas asociados a la plasticidad de los materiales que se reciclan, o en algunos casos los debidos a la falta de cohesión, o para acelerar el curado de la capa.

Por otra parte, ciertos materiales tratados con aditivos bituminosos presentan una pobre capacidad de mantener su resistencia cuando son sumergidos en agua (resistencia retenida). Esto puede ser solucionado con la adición de cemento o cal. Pequeñas cantidades de cemento o cal (aproximadamente de 0,5 % a 2,0 % por peso) pueden incrementar significativamente la resistencia retenida sin afectar las propiedades de fatiga de la capa. Es por lo tanto muy generalizado el empleo de cemento o cal en conjunto con emulsión o asfalto espumado.

También se ha experimentado con reciclados mixtos desde la perspectiva del reciclado con cemento, para flexibilizar el material y evitar los problemas de retracción. En estos casos, suele emplearse proporciones de entre 4 % a 5 % de cemento por 2 % a 3 % de emulsión.

La Tabla 2, presenta las ventajas y desventajas del empleo de los tres aditivos más comunes en el reciclado en frío [WIRTGEN, 98].

#### 4.4 Según el Empleo o no de Árido Nuevo

La decisión de incorporar árido nuevo al material a reciclar dependerá principalmente de la necesidad de corregir la granulometría resultante del material fresado, como también en el caso que se requiera aumentar el espesor del pavimento reciclado.

*Por otra parte, ha sido demostrado tanto en laboratorio como en varios proyectos ejecutados, que incorporando árido nuevo durante el proceso de reciclado en frío (10 % a 25 %) se han obtenido estructuras recicladas mejoradas con menos vacíos de aire y con un control de la estabilidad [MURPHY, 97].*

**Tabla 2. Comparación del reciclado con cemento, emulsión y asfalto espumado. Ventajas y desventajas.**

<b>CEMENTO</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Disponibilidad: Puede obtenerse prácticamente en cualquier lugar, ya sea a granel o envasado.</p> <p>Costo: En comparación al asfalto es barato.</p> <p>Facilidad de aplicación: Puede siempre ser esparcido a mano, en ausencia de esparcidores mecánicos o mezcladores de lechada.</p> <p>Aceptación: Es bien conocido en la industria de la construcción. Las normas y especificaciones están normalmente disponibles.</p> <p>Significativo incremento de la resistencia a compresión con la mayoría de los materiales.</p> <p>Mejora la resistencia al agua de los materiales.</p>	<p>El agrietamiento por retracción es inevitable, pero puede ser minimizado.</p> <p>El incremento de la rigidez reduce la resistencia a la fatiga.</p> <p>Requiere curado apropiado. El tráfico temprano puede dañar la superficie.</p>
<b>EMULSION</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Pavimento flexible: Usando emulsión se crea un material viscoelástico con mayor resistencia a la fatiga.</p> <p>Facilidad de aplicación: El tren de reciclado es acompañado por un tanque de emulsión para su aplicación a través de un esparcidor.</p> <p>Aceptación: Las emulsiones son relativamente bien conocidas en industria de la construcción. Normas y especificaciones están normalmente disponibles.</p>	<p>Costo: No son normalmente fabricadas in-situ, el proceso requiere estricto control de calidad. Los agentes emulsificantes son caros. Se debe transportar agua, no sólo asfalto.</p> <p>Contenido de humedad del material en pavimento existente es a veces demasiado alto y llega a saturarse al agregar emulsión.</p> <p>El curado puede tomar largo tiempo. Desarrollo de resistencia depende de pérdida de humedad.</p> <p>Disponibilidad: La formulación requerida para trabajo de reciclado puede no estar disponible.</p>
<b>ASFALTO ESPUMADO</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Facilidad de aplicación: Se aplica a través de un esparcidor especial, luego de acoplar un tanque suministrador.</p> <p>Pavimento flexible robusto: El material tratado tiene un mortero flexible uniendo las partículas gruesas. Por lo tanto muestra una resistencia superior tanto a la deformación como a fatiga.</p> <p>Costo: El asfalto espumado usa un asfalto de grado de penetración normal, por lo tanto no tiene costo de fabricación.</p> <p>Tasa de ganancia de resistencia: El material puede ser sometido al tráfico inmediatamente después de colocado.</p>	<p>El espumado requiere que asfalto esté caliente, normalmente a 170 °C, lo cual exige planta especial de calentamiento y precauciones de seguridad.</p> <p>Calidad del asfalto: La calidad de reciclado resultante está determinada por características de la espuma las que dependen de la calidad del asfalto utilizado.</p> <p>Tipo de material y condición: Material saturado y material deficiente en finos no puede ser tratado con asfalto espumado.</p>

## 5. CONCLUSIONES

El reciclado en frío tiene una serie de ventajas por sobre otros métodos de rehabilitación. Siendo una de las principales, el hecho de que se trata de una técnica que reduce significativamente el impacto ambiental, al reducirse el empleo de materiales nuevos, reducir el botadero de materiales usados, reducir el transporte y reducir el consumo de energía. Pero además, si se aplica adecuadamente resulta más segura y costo-efectiva.

Existen diferentes tipos o técnicas de reciclado en frío, que se combinan entre sí y que dependen del lugar en que se realice el mezclado, el tipo de aditivo que se use, la profundidad hasta donde se recicle y la posibilidad de incorporar árido nuevo. De este modo, en general, cuando se trate de un reciclado en frío, in-situ y parcial (donde se traten sólo capas asfálticas), el emplear emulsiones puede resultar muy ventajoso pues se aprovechan las propiedades residuales del asfalto envejecido, pero su desventaja será el tiempo de curado necesario. Por otra parte, si se trata de un reciclado en frío in-situ y profundo (donde se recicle hasta la base e incluso la subbase) el asfalto espumado ha demostrado ser altamente ventajoso pues permite una apertura definitiva al tráfico prácticamente en forma inmediata, sin embargo, requiere un contenido de finos (material que pasa el tamiz N° 200) entre 5 % y 20 %.

Pavimentos agrietados pero, con la subrasante, subbase y base estructuralmente sana y con buen drenaje, son los mejores candidatos para el reciclado en frío. Pavimentos con grietas de fatiga, grietas transversales (térmicas), grietas de reflexión y aquellos con pérdida de áridos, pueden ser exitosamente reciclados.

Las máquinas recicladoras actuales son especialmente diseñadas para tener la capacidad de reciclar una capa de pavimento gruesa en una sola pasada, y por lo tanto, tiende a ser más grandes, con mayor potencia y pueden ser montadas ya sea sobre ruedas neumáticas u orugas. También, cuentan con equipos especiales que les permiten dosificar diferentes aditivos con gran precisión. Además, combinando diversos equipos se pueden configurar diferentes trenes de reciclado, dependiendo de la aplicación a realizar. En cada caso la máquina recicladora actúa como una verdadera locomotora, y puede ya sea empujar o tractar a las otras unidades del tren.

## BIBLIOGRAFIA

- AASHTO-AGC-ARTBA JOINT COMMITTEE (1998). Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements. Task Force 38 Report. AASHTO, Washington, D.C.
- ASPHALT INSTITUTE (A.I.) (1983). Asphalt Cold-Mix Recycling (MS-21). Asphalt Institute, Maryland.
- ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION (ARRA) (1992). An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation. ARRA, Annapolis, Maryland.
- AUSTROADS Y AAPA (1997). Asphalt Recycling Guide. Autroads, Sydney, Australia.
- FERNANDEZ, J. (1997). Nuevo Manual Español de Reciclado de Firmes Usando Emulsión Asfáltica. 9° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. 2-7 Noviembre, Asunción, Paraguay.
- HUFFMAN, J., Y PERFETTI, E. (1998). Cold In-Situ Recycling for Bituminous Pavement Rehabilitation. Proceedings 2nd Asphalt Technology Conference of the Americas. 12-16 October, Austin, Texas.
- McKEEN, G. (1996). Cold In-situ Recycling Evaluation. Alliance for Transportation Research, Albuquerque, New Mexico.
- MURPHY, D., Y EMERY, J. (1997). Evaluation of Modified Cold In-Place Asphalt Recycling. Proceedings Canadian Technical Asphalt Association 1997, Canada.
- ROGGE, D., HICKS, G., SCHOLZ, T., Y ALLEN, D. (1992). Use of Asphalt Emulsions for In-Place recycling: Oregon Experience. Transport Research Institute Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- RUIZ, A. (1998). Reciclado de Pavimentos (Primera Parte). Revista Rutas N° 65, España.
- WIRTGEN GMBH (1998). Cold Recycling Manual. Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany.

---

**Guillermo Thenoux Z.**  
Ingeniero Civil, M. Sc., Ph. D  
Profesor Departamento de Ingeniería  
y Gestión de la Construcción  
Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
e-mail: gthenoux@ing.puc.cl

---

**Gabriel García S.**  
Ingeniero Civil, M.Sc.  
Ingeniero Investigador  
Centro de Ingeniería e Investigación Vial  
DICTUC S.A.  
e-mail: gegarcia@ing.puc.cl