

Estudios de Técnicas de Reciclado en Frío: Segunda Parte (Etapas de Proyecto de Reciclado en Frío con Emulsión)

Study of Techniques of Cold Recycling: Second Part (Stages of a cold Recycling Project UIT Emulsion)

Pág. 5-17

Resumen

Un proyecto de reciclado debe considerar una gran cantidad de elementos a ser analizados con la mayor profundidad posible, con el objeto de minimizar, tanto como se pueda, las condiciones de incertidumbre que típicamente se encontrarán involucradas en este tipo de proyectos. Lo anterior, a fin de evitar que se reduzcan las ventajas comparativas que presenta el reciclado respecto de otras alternativas de rehabilitación.

El presente trabajo corresponde a la segunda publicación de tres, sobre el tema de reciclado en frío. En la primera publicación (Revista RIC N° 20 – Vol 14 N°2) se presentaron los fundamentos básicos del reciclado en frío. En esta, se presentan las etapas que componen un proyecto de reciclado en frío y los aspectos más importantes que deben ser considerados en cada una de ellas.

Esta publicación está orientada fundamentalmente hacia el reciclado en frío que se realiza in-situ y con emulsiones. No obstante, gran parte de lo que aquí se expone también puede aplicarse a los otros tipos de reciclado en frío, como por ejemplo a los reciclados con asfaltos

Palabras Claves: *pavimentos asfálticos, reciclado en frío, reciclado de pavimentos asfálticos, rehabilitación de pavimentos, conservación de pavimentos*

Abstract

A project of recycling must consider a great number of elements to be analysed in depth, in order to diminish the conditions of uncertainty that typically will be involved in this type of projects and avoid the reduction of the comparative advantages respect to other rehabilitation alternatives.

The present work corresponds to the second publication of three about cold recycling. In the first publication (RIC Issue N° 20 – Vol 14 N°2) the basic foundations of cold recycling were presented. In this publication, appear the component stages of a cold recycling project and the most important aspects that must be considered in each one of them.

This publication is fundamentally oriented to cold in-place recycling with emulsions. However, the most part can also be applied to other types of cold recycling, like recycling with cut-back asphalts or foamed asphalts

Keywords: *asphalt pavements, cold recycling, asphalt pavement recycling, pavement rehabilitation, pavement maintenance*

1. INTRODUCCION

Un proyecto de reciclado debe considerar una importante cantidad de elementos los cuales deben ser analizados con la mayor profundidad posible, con el objeto de minimizar, tanto como se pueda, las condiciones de incertidumbre que típicamente se encontrarán involucradas en este tipo de proyectos. En caso contrario, todas las ventajas que hacen de esta alternativa de rehabilitación una opción altamente atractiva y rentable podrían llegar a perderse, e incluso, podría presentarse una situación más desfavorable que la existente previa del reciclado, como ocurre por ejemplo, al debilitar la sección estructural existente, o al provocar impactos graves a los usuarios y a la seguridad de circulación, o al aumentar innecesariamente el costo de la obra.

En la primera parte de este trabajo, publicado en la revista RIC N° 20 (Junio-Diciembre 1999), se presentaron los fundamentos básicos del reciclado en frío, exponiendo allí en que consiste, cuales son sus beneficios y los tipos más comunes que se utilizan en la actualidad. Los aspectos cubiertos en este artículo, se refieren a las etapas que componen un proyecto de reciclado en frío y a los aspectos más importantes que deben ser considerados en cada una de ellas, desde la concepción del proyecto hasta su apertura al tráfico y pasando por todo el proceso constructivo. Se orientará fundamentalmente hacia el reciclado parcial (Thenoux, 1999), en frío, que se realiza in-situ y con emulsiones. No obstante, gran parte de lo que aquí se expone también puede aplicarse a los otros tipos de reciclado en frío.

A continuación se describirán aquellas etapas y procesos de mayor relevancia para este tipo de proyectos.

2. SELECCION Y EVALUACION DEL PROYECTO

La selección del proyecto es probablemente el factor más importante para asegurar el éxito de un reciclado en frío. El proceso de selección debe incluir una evaluación de la condición actual del pavimento existente, muestreo y ensayo de los materiales componentes del pavimento, la base, la subbase y la subrasante, un estudio de la historia de construcción y conservación del pavimento y un estudio del tráfico.

2.1 Estudio de la información disponible

La primera actividad a realizar en el proceso de selección del proyecto, debería ser la recolección y estudio de toda la información disponible. Es necesario averiguar si el proyecto está inserto dentro de un sistema de administración de pavimentos, y en caso de estarlo, esto podría proporcionar antecedentes muy útiles.

Cuando los registros de construcción estén disponibles, se deberían estudiar para determinar:

- El diseño del pavimento originalmente especificado.

- El espesor de las capas “como se construyeron” en la realidad, junto con cualquier cambio al diseño especificado del pavimento.
- Los antecedentes del control y aseguramiento de calidad.
- Registros de los materiales utilizados.

2.2 Condición actual del pavimento

La mayoría de las fallas que sufren los pavimentos asfálticos pueden ser rehabilitadas por el reciclado en frío. No obstante, los pavimentos agrietados con la subrasante, subbase y base estructuralmente sana y con buen drenaje, son los mejores candidatos.

Los pavimentos con grietas de fatiga, grietas transversales (térmicas), grietas de reflexión y aquellos con pérdida de áridos, pueden ser exitosamente reciclados. El proceso de reciclado en frío destruye el patrón de agrietamiento existente y produce una capa libre de grietas para soportar una nueva carpeta de rodado, tal como una mezcla asfáltica en caliente, una mezcla en frío o un tratamiento superficial.

Entre las fallas de pavimento que requieren un tratamiento adicional o complementario para que esos pavimentos puedan ser reciclados, se encuentran las siguientes:

- Pavimentos ahuellados causados por un contenido de asfalto demasiado alto (exudación) y/o agregados finamente graduados.
- Fallas causadas por materiales húmedos e inestables de la base, subbase y subrasante.
- Fallas causadas por hinchamiento de la subrasante.
- Pavimentos que exhiben desprendimiento del asfalto que recubre el agregado.

En algunas situaciones en presencia de condiciones pobres de la base, subbase y subrasante, se han podido ejecutar proyectos de reciclado en frío in-situ con éxito utilizando cemento o cenizas volantes como aditivo estabilizador y en ocasiones adicionando árido nuevo.

Pavimentos ahuellados pueden ser reciclados en frío, cuando el ahuellamiento proviene del pavimento asfáltico y no de capas subyacentes débiles.

Además de los tipos de fallas ya citados, varias otras condiciones existentes requieren una especial consideración cuando se usa el reciclado en frío, estas incluyen las siguientes:

- La presencia de entradas de drenaje en el área del pavimento.
- Largas pendientes o aquellas que exceden el 5 % y 760 m de longitud, reducirán la producción pueden requerir un control de tráfico muy extenso.
- Extensas áreas muy sombrías, donde la luz del sol alcanza muy poco o no alcanza al pavimento, requerirán mayores tiempos de curado.
- El espesor mínimo de pavimento asfáltico a ser reciclado en frío debería ser 50 mm. Agregando pequeñas

cantidades de árido no tratado al RAP (Reclaimed Asphalt Pavement, corresponde al material recuperado), para obtener la profundidad de tratamiento mínima ha dado buenos resultados en varios proyectos ejecutados. Sin embargo, cantidades por sobre el 25 % por peso de RAP pueden no ser adecuadas por el incremento en el contenido de emulsión y los mayores costos asociados. También, cantidades mayores al 25 % podrían aumentar la probabilidad de segregación, si se utiliza una graduación gruesa, y resultar en una reducción en la resistencia de la mezcla.

Aunque el reciclado en frío in-situ es normalmente más barato, el reciclado en frío en planta podría resultar más costo-efectivo donde se encuentran presentes, en forma extensiva, problemas de la base, subbase y subrasante. Bajo estas condiciones, el pavimento asfáltico deteriorado es removido y los materiales subyacentes de mala calidad son ya sea removidos y reemplazados o mejorados por medio de una estabilización.

Cuando fallas causadas por materiales subyacentes de mala calidad son sólo una pequeña porción del proyecto, del orden del 10 % o menos, puede ser económicamente factible efectuar primero reparaciones localizadas por medio de un bacheo profundo y luego llevar a cabo el reciclado en frío in-situ.

Algunas otras consideraciones para decidir si un proyecto es un buen candidato para el reciclado en frío incluyen el tamaño del proyecto, el ancho de la calzada y berma. Proyectos de 40.000 m² o mayores son los más económicos, pero algunos trabajos de tamaños más pequeños pueden también ser factibles. Para proyectos más pequeños, la distancia de transporte, la existencia de otros trabajos que estén cerca y el costo de otros métodos de rehabilitación alternativos, deben ser evaluados cuando se determine la factibilidad del reciclado en frío.

En general, variar el ancho de reciclado a lo largo de un proyecto no resulta ni práctico ni recomendado.

2.3 Análisis del tráfico

Un proyecto de reciclado en frío puede ser llevado a cabo exitosamente en todo tipo de caminos, variando desde caminos rurales de muy poco volumen de tráfico o calles urbanas, hasta autopistas de alto estándar con tráfico de camiones pesados. No obstante, se requiere enfocar la mayor atención en mantener el tráfico a través o alrededor de la zona de construcción, especialmente sobre ciertos caminos o carreteras de ancho de calzada/bermas limitados y/o pocas rutas alternativas de desvío.

Se debe tener en cuenta que zonas con numerosas calles de intersección y accesos a zonas comerciales o residenciales, muy típicas en zonas urbanas y suburbanas, podrían resultar más difíciles de reciclar en frío in-situ con un tren de unidades múltiples, no obstante, en países desarrollados se ha logrado con mucho éxito.

Es importante obtener una estimación, lo más exacta posible, del porcentaje de vehículos pesados que

utilizan el camino, así como también, información referente a la estratigrafía de cargas de estos vehículos. Un análisis de tráfico detallado es esencial, si se pretende utilizar la solución de reciclado en frío como una estrategia de mediano a largo plazo, es decir cuando se proyecte una vida de servicio del pavimento reciclado de 10 años o más. Por el contrario, si se trata de una estrategia de corto plazo, no se requiere de un análisis de tráfico muy elaborado.

2.4 Clima y drenaje

La temperatura y la humedad tienen gran importancia en las obras de reciclado en frío. Existe un tiempo de rotura y de curado de la emulsión que puede prolongarse en condiciones adversas. Incluso puede verse disminuida la estabilidad final de la mezcla reciclada si las condiciones iniciales no son buenas.

En todos los casos, la plataforma de la carretera tiene que estar bien drenada mediante la limpieza y reconstrucción de cunetas y acondicionamiento de drenes. Durante la ejecución de los trabajos, desde el fresado del pavimento hasta la compactación y protección superficial final hay que evitar un posible almacenamiento de agua sin una evacuación normal.

No existe consenso generalizado acerca de la temperatura mínima aceptable para el reciclado en frío con emulsiones. No obstante, la temperatura mínima del aire que se especifica para estos casos varía de 10 °C a 16 °C. Por otra parte, se recomienda suspender los trabajos de reciclado con emulsiones en presencia de lluvia como también en condiciones de niebla, por la alta humedad y las pobres condiciones para el curado.

2.5 Toma de muestras en terreno para el diseño de mezcla

Cuando un proyecto ha sido identificado como un candidato para el reciclado, se debe realizar el muestreo necesario. Las muestras de pavimento pueden obtenerse ya sea por medio de extracción de testigos o bien por un fresado. Sin embargo, para un diseño de mezcla reciclada más realista se recomienda, en lo posible, por medio de un fresado.

El proyecto debe ser dividido en distintas secciones de diseño, de forma tal que se formen zonas lo más homogéneas posibles. De cada una de estas secciones se extraerán muestras cuya frecuencia dependerá de la heterogeneidad presente en el tramo de estudio y que en ocasiones podría llegar a ser tan alta como por ejemplo, 1 muestra cada 100 m o incluso una distancia menor. Estas muestras servirán para determinar el espesor del pavimento y realizar otros ensayos complementarios de laboratorio. La ubicación precisa de cada muestra se puede seleccionar visualmente identificando áreas representativas de la sección de diseño. En el caso de usar fresado, la profundidad de éste debería ser igual a la profundidad estimada de reciclado. Si se detectan parches de conservación u otros tratamientos intermitentes dentro de la sección, se recomienda tomar una muestra de esa área

registrándose el hecho que la muestra proviene de una zona de parche. Las muestras deben ser mantenidas separadamente para ser sometidas a los ensayos de laboratorio.

Además de lo anterior, se debe investigar y ensayar la resistencia de la base, subbase granular y de la subrasante. Se puede emplear el penetrómetro de cono dinámico (DCP) para determinar la capacidad de soporte (CBR) in-situ de los materiales subyacentes a la capa asfáltica, al mismo tiempo que se obtengan los testigos del pavimento.

Si no se conoce la capacidad estructural del pavimento existente, entonces lo recomendable es realizar medidas de deflexiones elásticas (por ejemplo, con un deflectómetro de impacto, FWD). El valor de la deflexión junto con la determinación de espesores y características de los materiales, es un dato básico para determinar el estado de una estructura de pavimento y por lo tanto, para establecer si dicha estructura es apta para el tipo de reciclado proyectado. También, el valor de las deflexiones sirve para establecer la tramificación en segmentos homogéneos del pavimento a reciclar; en este sentido, un indicador para seleccionar los tramos homogéneos sería que en cada uno de ellos, las deflexiones se mantuvieran entre 0,5 y 1,5 veces la deflexión media del tramo [CTFF, 00].

2.6 Ensayos de laboratorio

Lo que se persigue con los ensayos de laboratorio, es completar el conocimiento de la condición actual del pavimento y por otra parte, dependiendo del método que se utilice, determinar un contenido estimado de emulsión (CEE) para iniciar el proceso de diseño de la mezcla reciclada. En general, los siguientes son los ensayos que con mayor frecuencia se realizan sobre el material proveniente del muestreo:

- Contenido de humedad.
- Análisis granulométrico del RAP.
- Análisis granulométrico del árido recuperado del RAP.
- Contenido de asfalto.
- Penetración del asfalto recuperado.
- Viscosidad absoluta del asfalto recuperado.

El resumen las principales consideraciones a tener presente en la etapa de selección de un proyecto de reciclado en frío con emulsiones, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Consideraciones para la selección del proyecto.

EL RECICLADO EN FRÍO CON EMULSIONES :
NO ES RECOMENDADO
Pavimentos con problemas evidentes en la subrasante
Áreas de trabajo que no puedan acomodar el volumen de tráfico
Pavimentos que exhiben ahuellamiento debido a mezclas exudadas e inestables
Condiciones atmosféricas muy frías y húmedas, incluyendo áreas con sombra permanente
Tratamientos al término del otoño o durante el invierno
Pavimentos menores a 50 mm de espesor
Cuando objetivo sea ensanchar calzada reduciendo espesor e incorporando material granular en la berma
ES RECOMENDADO
Pavimentos agrietados
Pavimentos con desprendimiento de áridos debido a envejecimiento
Pavimentos rugosos
Como nivelante y base para recarpeteos
Con TMD < 5.000, excepto en carreteras multicarril
Donde se requiera una rehabilitación selectiva (ej.: pista de camiones en carretera de 4 pistas)
Agregado de la zona es de pobre calidad o escaso

3. PROCESO DE DISEÑO

Análogamente al proceso de diseño de las mezclas asfálticas en caliente, en el caso de las mezclas recicladas también se compone de dos partes. La primera, relacionada con el diseño de la mezcla propiamente tal y que para este caso busca básicamente determinar la combinación de emulsión y RAP que le darán el mejor comportamiento a la mezcla como parte de la estructura de pavimento reciclado. La segunda, se refiere al diseño estructural y persigue determinar el espesor de la capa reciclada que mejor se comporte ante los tipos y volúmenes de carga previstos.

No existe en la actualidad un método de diseño de mezclas recicladas en frío con uso de emulsiones, mundialmente aceptado. No obstante, la mayoría de los métodos de diseño de mezclas recicladas que se están aplicando actualmente están basados en el método Marshall, pero con procedimientos diferentes de aquellos utilizados para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. También, en el último tiempo se están incorporando nuevos métodos basados en el empleo de compactadores giratorios y se vislumbra que la tendencia futura se aproximará hacia esta opción. Para el diseño estructural o de espesores, la resistencia de una mezcla reciclada en frío se obtiene normalmente a través de la determinación de su módulo resiliente usando el método para determinar el módulo resiliente de mezclas bituminosas por ensayo de tensión indirecta (norma ASTM D 4123). El módulo es usado entonces, para determinar un coeficiente estructural, a_2 , por medio del método AASHTO de diseño de estructuras de pavimentos (AASHTO, 1993 y AASHTO, 1998).

3.1 Diseño de la mezcla

En la medida que el encargado de diseñar una mezcla reciclada se vaya familiarizando con el reciclado en frío y con el tipo y cantidades de aditivo que mejor trabajan en sus pavimentos (normalmente dentro de un estrecho rango), será recomendable que para la determinación del contenido de emulsión se utilice tanto la experiencia como el diseño de laboratorio.

Los contenidos de emulsión normalmente variarán entre 1 % y 3 % (cuando no se adiciona árido nuevo). Correspondiendo al límite superior, mezclas con altos porcentajes de agregado chancado y teniendo asfaltos muy envejecidos y en una cantidad relativamente baja. Por otra parte, en el límite inferior se tratará de mezclas de graduación fina con agregados redondeados que contienen un alto contenido de asfalto muy blando. Cuando se adiciona árido nuevo, la cantidad de emulsión necesitará incrementarse a causa de la presencia de material no recubierto con asfalto.

Como ya se mencionó, actualmente existen diversos métodos para diseñar mezclas recicladas en frío. En la tercera parte de este trabajo sobre el reciclado en frío,

la cual será publicada en el segundo número de este volumen (Vol 15 N°2), se presentará en forma detallada un método de diseño de mezclas recicladas, basado en el método Marshall convencional, aplicable a las condiciones predominantes de nuestro país.

3.2 Diseño estructural

La mayoría de las mezclas recicladas en frío son utilizadas como una capa intermedia para la rehabilitación de pavimentos asfálticos, pero también pueden ser usadas como una capa de base cuando se construya un pavimento nuevo. Cualquiera sea su aplicación, siempre se recomienda realizar un diseño estructural. Además de la preparación y ensayo de laboratorio de las mezclas recicladas en frío para el diseño estructural, en la actualidad se están usando ensayos no destructivos del pavimento existente, siendo uno de los más recomendables aquel realizado con el deflectómetro de impactos, el cual es usado para determinar el espesor de la capa reciclada requerida.

La regularidad en la calidad de las mezclas recicladas con emulsión es un factor básico para resolver el diseño estructural. No se trata de obtener altas resistencias, que sí pueden lograrse, sino que la mezcla resultante sea homogénea.

En la actualidad se utilizan varios métodos para el diseño estructural del reciclado en frío, desde métodos empíricos relativamente simples a métodos más complejos que requieren sofisticados programas computacionales. Entre los métodos más recomendados están:

a) Método del Instituto del Asfalto (Asphalt Institute)

Este método empírico, busca determinar el espesor de la capa con material reciclado y requiere conocer los siguientes factores (AI, 1983):

- Tráfico clasificado por ejes equivalentes (EE), tipo de vía o por volumen de vehículos pesados.
- Capacidad de soporte de la subrasante, clasificada por tipo de subrasante, u obtenida a través de la determinación de su módulo resiliente, CBR o valor de resistencia (valor-R).
- Tipo de mezcla, clasificada según tipo de agregado (agregado semiprocesado, chancado, etc.) y forma de mezclado (en planta fija o móvil, por mezclador rotatorio o por motoniveladora).

b) Método AASHTO

La actual "Guía para el diseño de estructuras de pavimento" (AASHTO, 1993), no considera alguna correlación específica para la determinación de un coeficiente estructural a_2 en mezclas recicladas en frío. No obstante, este coeficiente a_2 puede ser estimado en forma aproximada usando las recomendaciones que la guía

AASHTO proporciona para bases tratadas con materiales bituminosos (AASHTO, 1998), las cuales se basan en correlaciones entre el módulo resiliente o la estabilidad Marshall y el coeficiente a_2 . Los valores a_2 que normalmente se están utilizando en la actualidad para capas recicladas en frío con emulsiones, varían entre 0,25 y 0,35. Cuando sea posible, se deberían extraer testigos del pavimento reciclado, para determinar su módulo resiliente real y verificar que los especímenes fabricados en laboratorio están proporcionando resultados razonablemente representativos de aquellos obtenidos en terreno. También, deberían evaluarse las condiciones del pavimento, en forma periódica y sistemática, para determinar el comportamiento del pavimento reciclado y validar el proceso de diseño estructural que está siendo usado.

c) Métodos de diseño mecanicistas

Existe una clara tendencia en la actualidad hacia el uso de métodos de diseño de pavimentos mecanicistas. Estos están basados en principios fundamentales de ingeniería y generalmente dan un mayor nivel de confiabilidad comparado con los métodos de diseño empíricos, como los dos expuestos con anterioridad.

El método de diseño elástico-lineal multicapa es el más comúnmente usado, aunque otras aproximaciones de diseño mecanicista, tales como el elástico-no lineal y el análisis elasto-plástico se encuentran en estudio en la actualidad.

Los métodos mecanicistas utilizan programas computacionales tales como ELSYM5, CHEV, WESLEA, CIRCLY, NSTRESS y SHELL para determinar las respuestas del pavimento, en términos de deflexiones, tensiones y deformaciones en cada una de las capas del pavimento. El método requiere como datos de entrada, el espesor de capa y las propiedades de los materiales (módulo resiliente y coeficiente de Poisson) de todas las capas del pavimento. El programa calcula la respuesta de cada capa a las cargas de diseño, en términos de deflexión, tensión y deformación. Estos valores son usados junto con funciones de transferencia para calcular la capacidad estructural del pavimento.

El método mecanicista de diseño tiene una clara ventaja para diseñar rehabilitaciones, ya que permite que el pavimento existente deteriorado sea modelado y que sus puntos singulares sean identificados.

4. PLANIFICACION DE LOS TRABAJOS

Para lograr éxito en un proyecto de reciclado en frío, es fundamental la realización de una acabada planificación de los trabajos. Antes de comenzar la ejecución de las obras, es importante analizar cuidadosamente todas las etapas y operaciones que deben ser llevadas a cabo. De este análisis debe resultar un plan de producción escrito y gráfico, el que puede ser elaborado en una base diaria o de turnos. Dentro de los

aspectos más relevantes a considerar en la planificación, se encuentran los que se describen en los párrafos siguientes.

4.1 Tipo de máquina recicladora

La decisión de utilizar un tipo de máquina recicladora u otra en un proyecto determinado es significativa. El tipo de máquina a utilizar influirá en la tasa de producción y determinará el ancho máximo y profundidad de corte que puede ser reciclado por cada pasada. También podría determinar el tipo de aditivo reciclador a utilizar y si el pavimento existente puede ser fresado y mezclado en una sola pasada hasta la profundidad total requerida.

4.2 Características geométricas del camino

El ancho del camino impone el número de pasadas de reciclado (cortes) necesarias para abarcar el ancho total. Además, la sección transversal (bombeo) influye sobre la ubicación de las juntas longitudinales entre cortes adyacentes.

4.3 Impacto al usuario

La técnica de reciclado en frío en base al uso de trenes de reciclado, es considerada la faena de rehabilitación que ofrece el menor impacto al usuario, tanto en áreas rurales como urbanas. No obstante, por la rapidez relativa de los trabajos, los cortes de tráfico y desvíos deben ser muy bien planificados.

4.4 Metas de producción

La cantidad de reciclado durante el período planeado debe ser tal que permita completar una sección del camino, ya sea en todo el ancho, o la mitad del ancho. Reciclar una porción de la calzada (o de la mitad de la calzada) no es aconsejable ya que puede causar confusión a los usuarios, especialmente en la noche.

4.5 Especificaciones de calidad

Además del espesor de la capa, los requerimientos precisos en términos del producto final, necesitan estar muy claros. Esto incluye detalles de los perfiles finales y sus tolerancias, objetivos de compactación, consideraciones sobre la textura superficial y acciones a seguir con el material sobrante. Las especificaciones de calidad deben incluir rangos de tolerancias, en particular cuando las características del proyecto a reciclar sean muy heterogéneas. Esta posible variabilidad debe compensarse con el uso de coeficientes de seguridad mayores en el diseño.

4.6 Consideraciones constructivas

El tipo de material en el pavimento existente, la homogeneidad y el contenido de humedad in-situ, son elementos que deben tenerse en cuenta. Cambios en el espesor de los diferentes materiales que conforman el pavimento existente (especialmente el de las capas asfálticas) podrían tener una influencia significativa en la

velocidad de avance de la recicladora y en la calidad del producto final. Tales diferencias pueden inducir cambios en las tasas de aplicación de aditivo reciclador, de agua adicional, o incluso de espesor de reciclado.

La forma en que se comporta el material cuando es reciclado influirá la manera en que éste debe ser colocado, compactado y terminado. Por lo tanto, al reciclar con emulsiones deben considerarse los tiempos de quiebre

y curado necesarios para ejecutar cada una de esas operaciones.

Se debe considerar la cantidad de materiales que deben ser importados al lugar de trabajo antes y durante el proceso constructivo (como por ejemplo: emulsión, agua, cemento, agregado nuevo, etc.), previendo la oportunidad en que se produzca el abastecimiento y los lugares y condiciones para el acopio de algunos de ellos.

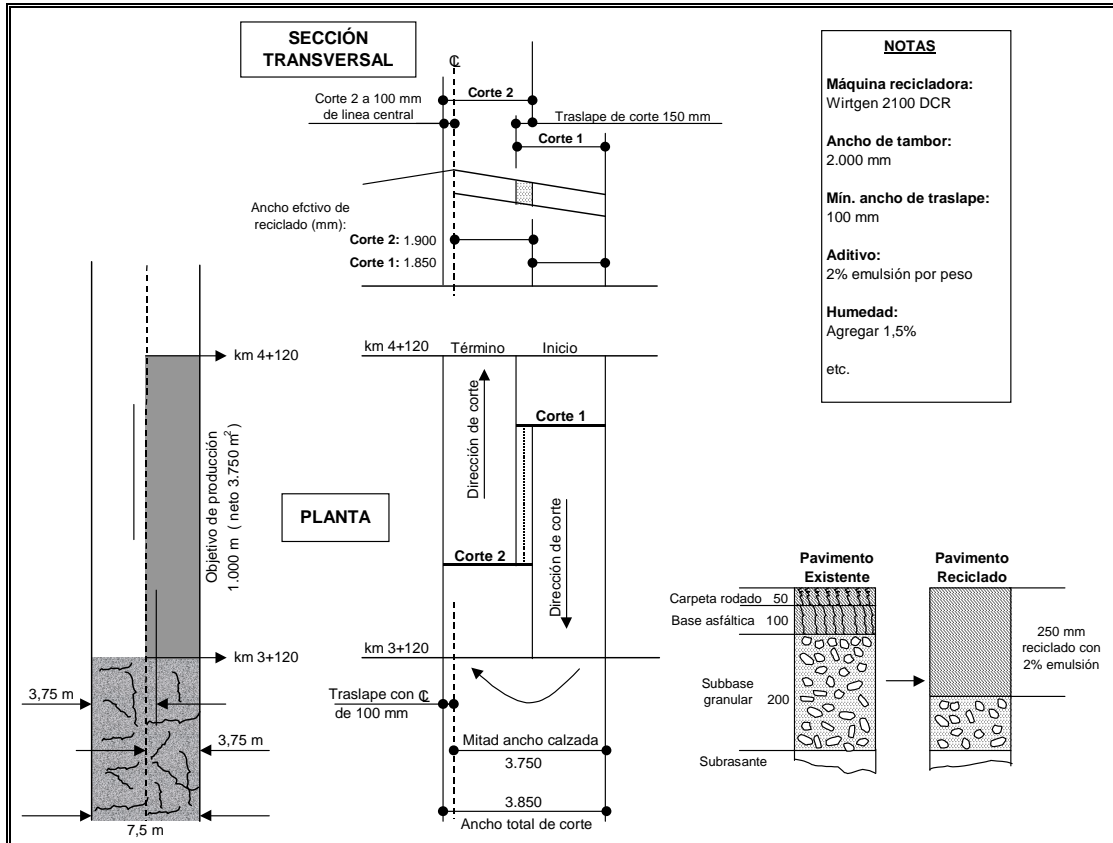


Figura 1: Ejemplo de un plan de producción diario abreviado [Wirtgen, 98]

4.7 Tareas pre-reciclado

Existe una gran cantidad de tareas previas que deben realizarse con anterioridad a las operaciones de reciclado, entre estas se tienen las siguientes:

- Remover obstrucciones.
- Instalar nuevas alcantarillas o cualquier otra obra de drenaje adicional.
- Pre-fresar para lograr cualquier forma superficial y/o nivel especificados.
- Importar/esparcir material nuevo sobre la superficie del pavimento existente, en caso de que el diseño del reciclado lo haya considerado y que los equipos a emplear no cuenten con un sistema de alimentación directo.

4.8 Secuencia de reciclado

Se recomienda elaborar gráficamente la secuencia completa del proceso de construcción,

considerando el número de cortes requeridos para cubrir toda la calzada (o la mitad de ella), detalles del traslape entre cortes para cada junta longitudinal y el ancho efectivo de reciclado para cada corte. También debe ser considerado la secuencia de los cortes, la dirección y el largo de trabajo de reciclado antes de retroceder o cambiar de dirección y comenzar el nuevo corte. Se debe considerar los tiempos previstos para cada operación.

4.9 Requerimientos específicos antes de la apertura al tráfico

Algunos proyectos requieren que la superficie de la capa reciclada terminada reciba un tratamiento especial, tal como un riego tipo neblina de emulsión diluida, antes de que sea abierto al tráfico. El tiempo necesario para completar estas actividades debe ser considerado en el programa de trabajo.

Todas las consideraciones citadas en los párrafos anteriores deberían ser incluidas en un plan de producción simple y fácil de leer, como el mostrado en la Figura 1.

5. PROCESO CONSTRUCTIVO

Una apropiada selección y evaluación del proyecto y un diseño estructural y de la mezcla son fundamentales para tener éxito de un reciclado en frío in-situ. No obstante, el proyecto aun puede fracasar si no se siguen los procedimientos constructivos adecuados. A continuación se expondrán resumidamente los aspectos más relevantes del proceso constructivo, que pueden servir de base para desarrollar las especificaciones, contratos o procedimientos de control de calidad adecuados.

5.1 Preparación del tren de reciclado

El reciclado debería comenzar sólo una vez que todos los pasos preliminares hayan sido cumplidos. Estos incluyen en orden secuencial:

- Un completo chequeo de todas las máquinas y equipos que serán usados en la operación de reciclado, incluyendo los rodillos, esparcidores y tanques.
- Chequeo de la temperatura de cualquier aditivo reciclador.
- Efectuar un chequeo físico de que la cantidad suficiente de agua y aditivos recicladores se encuentren en los diferentes tanques, esparcidores y mezcladores para largo de corte planificado.
- Conectar todas las mangueras de alimentación al tren de reciclado, purgar todo el aire de los sistemas y asegurarse que todas las válvulas están completamente cerradas.
- Chequear que el operador de la recicladora tiene en su poder todos los datos relativos a la tasa de aplicación del o los aditivos, que existe una clara línea-guía para señalar el largo completo de corte y que todos los procedimientos previos están claramente comprendidos.

Estos chequeos preliminares son rápidos y simples de realizar y debería ser una práctica rutinaria al comienzo de cada jornada. Además del operador de la recicladora, es también recomendable chequea que los operadores y conductores de todas las máquinas y vehículos auxiliares tengan una clara comprensión del proyecto que se realizará.

5.2 Tramo de prueba

La primera sección reciclada en cada nuevo lugar, debería tratarse como un ejercicio para determinar como se comportará el material del pavimento existente. Normalmente, este tramo de prueba debería tener aproximadamente 100 m y cubrir ya sea todo el ancho o la mitad de la calzada. Este tramo inicial proporcionará una oportunidad a los operadores y supervisores para tener una

apreciación real de algunos aspectos muy importantes en la operación de reciclado, tales como:

a) Graduación del material reciclado

El material producido por el tren de reciclado debería ser chequeado para determinar si es similar a las muestras que fueron utilizadas durante el proceso de diseño en laboratorio.

La velocidad de rotación del tambor fresador y la velocidad de desplazamiento de la máquina recicladora influyen en la granulometría del material reciclado. Algunas máquinas también están equipadas con una barra de quiebre que puede ser ajustada para ajustar el tamaño máximo de partícula. Estas tres variables deben ser ajustadas para encontrar la mejor combinación que logre la granulometría deseada.

b) Compactación

Una de las variables más importantes en el comportamiento final de la capa reciclada es la densidad del material compactado. Capas gruesas (> 250 mm) normalmente requerirán técnicas especiales de compactación y por lo tanto, el tramo de prueba proporciona una buena oportunidad para evaluar la efectividad de diferentes patrones y equipos de compactación.

c) Esponjamiento

Las capas asfálticas de pavimentos viejos y deteriorados, tienden a tener menores contenidos de vacíos y los materiales granulares normalmente se encuentran altamente densificados. Al reciclar tales materiales normalmente resultará un incremento en el volumen lo cual afectará el nivel final de la capa terminada.

5.3 Fresado y procesamiento del RAP

Una vez que el tren de reciclado está funcionando, se deben realizar una serie de chequeos en forma continua por parte de un supervisor experimentado, para asegurar que la operación está produciendo lo que se requiere. Es importante poner atención a algunos detalles, especialmente a los siguientes:

- La profundidad del fresado a ambos lados de la recicladora.
- Si la máquina recicladora está siguiendo la dirección correcta con el ancho de traslape preestablecido.
- Si el contenido de humedad del material tratado es suficiente para asegurar el adecuado recubrimiento del aditivo y la compactación. Un supervisor experimentado puede rápidamente darse cuenta de esto.
- El producto reciclado final está cumpliendo con lo esperado.

La determinación del largo ideal de corte o fresado que debería ser reciclado antes de retroceder (o dar

la vuelta) para reciclar el tramo adyacente, normalmente será determinado por el tipo de aditivo reciclador que se esté utilizando. El tamaño de tanque usado cuando se recicla con emulsiones será idealmente de unos 25.000 lts para proyectos grandes. Es frecuente continuar el corte hasta que el tanque esté vacío antes de retroceder (o dar la vuelta) el tren de reciclado. Si se opta por dar la vuelta con el tren de reciclado, normalmente implicará desacoplar todos los componentes y, por esta razón, generalmente se prefiere retrocederlo.

El material fresado tiende a rodar hacia abajo cuando el tren de reciclado está operando en una sección con bombeo. Esta tendencia sólo puede apreciarse cuando el bombeo es mayor al 2 % y es más pronunciada cuando se reciclan capas delgadas (< 150 mm). Es recomendable usar motoniveladora para volver el material a su posición y mantener la forma adecuada antes de fresar el tramo adyacente. No obstante, cuando el bombeo es mayor a 6 % esta situación llega a ser severa y por lo tanto se requiere un estrecho control de la situación.

Si la emulsión no se dispersa completamente en la mezcla reciclada, puede ser necesario cambiar la cantidad o grado (a una más blanda) de la emulsión para poder alcanzar un nivel aceptable de recubrimiento de las partículas. No es extraño tener que realizar este tipo de cambio. Cuando la emulsión se considera apropiadamente distribuida, algunas partículas del material a reciclar no quedan recubiertas por la emulsión, pero la mayoría de ellas quedan con algo de asfalto sobre su superficie. Puesto que un grado de emulsión más duro será deseable para dar mayor estabilidad a la mezcla, esto normalmente se reflejará en la selección inicial del grado de dicha emulsión. No obstante, si no se produce un recubrimiento adecuado del agregado en terreno, se deberá cambiar el grado a uno más blando.

El consumo real de aditivo reciclador debe ser siempre chequeado físicamente comparando la cantidad de aditivo utilizado con el área efectivamente reciclada.

5.4 Colocación

El equipo y procedimiento de colocación (o extensión) son normalmente los mismos ya sea que se trate de un reciclado in-situ o en planta y básicamente son similares a aquellos utilizados en la pavimentación con mezclas asfálticas en caliente. En algunas aplicaciones en caminos con muy poco tráfico, tales como caminos rurales secundarios, la extensión de la mezcla reciclada puede ser hecha con motoniveladora. No obstante, este método de colocación tendrá mayores retrasos potenciales a causa del clima por cuanto su tasa de producción es muy baja.

La mayoría de las mezclas recicladas en frío son colocadas por medio de pavimentadoras (terminadoras) autopropulsadas convencionales. La mezcla reciclada es ya sea depositada en un cordón y luego recogida con una máquina elevadora especial o depositada directamente en la tolva de la pavimentadora. Normalmente se especifica que la pavimentadora esté equipada con controles automáticos

del enrasador tanto para la pendiente longitudinal como para la transversal. En la actualidad, algunas máquinas recicladoras traen incorporado un sistema de colocación por medio de un enrasador que está montado en la máquina.

Debido a que el tamaño de partícula, en muchas de las mezclas recicladas en frío, es grande, el mínimo espesor de capa recomendado para colocación es de 50 mm. También, este espesor es recomendado para prevenir posibles deslizamientos del material reciclado en frío sobre el pavimento subyacente.

Las mezclas recicladas en frío son más rígidas que las mezclas asfálticas en caliente, por lo tanto, es más importante una apropiada operación de la pavimentadora para lograr una buena uniformidad y lisura de la capa reciclada. También, las mezclas recicladas en frío generalmente tienen mayores cantidades de material grueso que requieren cuidado en la colocación para evitar la segregación. La colocación de las mezclas recicladas en frío con emulsiones normalmente está limitada a un máximo espesor de capa de 100 mm, sin embargo se han colocado hasta 150 mm con adiciones de cenizas volantes.

5.5 Curado

Ya que se requiere agua para el mezclado y recubrimiento del agregado con emulsión, normalmente hay más agua presente en la mezcla que la requerida para la compactación. Por lo tanto, se requiere un período de secado o curado entre la colocación y la compactación para que se evapore el exceso de agua. En algunas ocasiones se puede especificar que se caliente el agua para facilitar la evaporación del exceso de agua y ayudar en el quiebre y curado de la emulsión, especialmente en condiciones climáticas frías.

El tiempo de retraso entre la colocación y el comienzo de la compactación depende de un número de factores que incluyen el tipo de aditivo o aditivos y la tasa de pérdida de humedad o evaporación. Al emplear emulsiones, la compactación inicial normalmente no comenzará hasta que la emulsión comience a quebrar o cambie desde un color café a uno negro. Este período normalmente dura entre ½ y 2 horas dependiendo del tipo de emulsión, el espesor de la capa reciclada y las condiciones ambientales de temperatura, humedad y viento. Cuando se utilizan adiciones de cemento o cal junto con la emulsión, el tiempo para comenzar la compactación se reduce significativamente. Si la mezcla reciclada tiende a ondularse delante del compactador inicial o se agrieta, se debería prolongar el tiempo de curado.

5.6 Compactación

Los rodillos que normalmente se usan para la compactación son un rodillo neumático de 23 toneladas o más y un rodillo vibratorio tandem de 11 toneladas. Cuando se trata de una mezcla reciclada con emulsión, la compactación inicial puede realizarse con cualquiera de esos tipos de rodillos. Sin embargo, para mezclas rígidas colocadas en espesores de capa de 75 mm o mayores, la

compactación inicial con rodillos neumáticos grandes pueden ser los más efectivos para alcanzar la densidad deseada. En mezclas finas y en capas de espesores del orden de 50 mm, si se utiliza un rodillo neumático para la compactación inicial, se puede sellar la superficie y así evitar que la mezcla cure adecuadamente.

Cuando se usa rodillos vibratorios tandem, es importante asegurar que la compactación inicial se realice en el modo de vibración de alta amplitud/baja frecuencia para efectuar la compactación en la porción inferior de la capa. Esto será seguido por la compactación en el modo de baja amplitud/alta frecuencia para compactar la porción superior. Además, los siguientes aspectos referidos a la aplicación de rodillos vibratorios debería ser considerada:

- Una vibración a alta amplitud/baja frecuencia tiende a perturbar el material de la parte superior de la capa, produciendo, normalmente, una deformación en la superficie. Esto se puede corregir fácilmente rectificando la superficie con una motoniveladora antes de aplicar la vibración a baja amplitud/alta frecuencia.
- El contenido de humedad es la variable más crítica para obtener la densidad. Si la humedad es excesiva, la mezcla tenderá a deformarse, por el contrario, si la humedad es escasa, no se podrá obtener la densidad deseada.
- Un error que se comete en muchas obras es la sobrecompactación. Este fenómeno ocurre cuando se aplica demasiado esfuerzo de compactación. En este caso, el material comenzará a perder densidad si la compactación continua después de haber obtenido la máxima densidad.
- Se recomienda utilizar rodillos con excéntricas reversibles.

5.7 Apertura al tráfico

El pavimento reciclado normalmente es abierto al tráfico para que continúe compactándose y curando por un período de 1 a 2 semanas dependiendo de la ubicación geográfica, condiciones atmosféricas, época del año en que el reciclado es realizado y el espesor de la capa reciclada. Normalmente, se especifica que este período dure hasta que se alcance un contenido de humedad del material reciclado inferior al 2 % y que la densidad alcanzada sea mínimo un 96 % de la densidad obtenida en laboratorio. La experiencia práctica indica que un buen indicador del cumplimiento de las condiciones anteriores sería cuando es posible extraer testigos intactos para ser ensayados (Emery, 1991).

Inicialmente, puede requerirse reducir las velocidades para evitar un exceso de desprendimiento de mezcla reciclada. También, puede utilizarse un sello tipo neblina de emulsión diluida para reducir este desprendimiento de la mezcla reciclada. En el caso de mezclas recicladas con emulsión y cal, se requerirá de un sello tipo neblina.

Para el sello tipo neblina se utiliza una emulsión del tipo de quiebre medio o lento diluida. La dilución típica es una parte de agua por una parte de emulsión o una mezcla 50/50. La tasa de aplicación del sello tipo neblina dependerá de la cantidad de porosidad superficial, sin embargo, las tasas típicas se encontrarán entre 0,36 y 0,54 L/m² de material diluido.

5.8 Recompactación

Una vez que la capa reciclada ha perdido la suficiente humedad y ha curado apropiadamente, puede ser necesaria, aunque no siempre, una recompactación para homogeneizar la densificación entre las huellas de rodado y el resto del ancho reciclado.

5.9 Carpeta de rodado

La etapa constructiva final será la colocación de una carpeta de rodado o tratamiento superficial sobre el material reciclado. Esta carpeta de material nuevo puede ser un recapado de mezcla asfáltica en caliente (normalmente del orden de 50 mm), un recapado de mezcla en frío o un tratamiento superficial tal como un sello de agregados simple o doble (estas dos últimas alternativas utilizadas normalmente en caminos con un tránsito medio diario anual [TMDA] menor a 1.000).

La determinación de colocar un recapado o un tratamiento superficial, debe ser una decisión basada en las hipótesis consideradas en el diseño estructural.

Antes de la colocación de esta carpeta superficial, cualquier área que se encuentre dispereja o inestable debe ser reparada y toda la superficie debe ser limpiada por medio de un barrido, especialmente si el pavimento reciclado ha sido abierto al tráfico durante el período de curado. Si se ha decidido colocar un recapado, se debe aplicar sobre un riego de liga de emulsión diluida a una tasa similar a la recomendada para el sello tipo neblina (de acuerdo a la sección 5.7 anterior) con el objeto de lograr una buena adherencia.

6. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Se requiere desarrollar un programa de muestreo y ensayos bien planeado para determinar la aceptabilidad del reciclado en frío y para identificar cualquier cambio necesario en el proceso.

Los tipos de materiales muestreados y ensayados deben ser aquellos que sean más apropiados y realmente importantes para controlar el proceso y determinar si el producto resultante es aceptable o no. Específicamente, el reciclado en frío in-situ puede involucrar el procesamiento de RAP con una notable variabilidad en su granulometría y contenido de asfalto. La variabilidad no proviene sólo de la mezcla del pavimento existente propiamente tal, sino que también de zonas que pueden haber tenido diferentes niveles de conservación, tales como parches y tratamientos superficiales. Por lo

tanto, se requerirán ajustes en el porcentaje de aditivo reciclador y posiblemente en los procedimientos de compactación. Además de un buen programa de control y ensayos, el reciclado en frío también requiere que el personal que participe sea bien entrenado y con experiencia, tanto por parte del contratista como del mandante.

6.1 Métodos de muestreo y ensayo

En la Tabla 2 se presentan los muestreos y ensayos recomendados para el reciclado en frío. Los métodos propuestos para muestreo y ensayo están referidos ya sea a la ASTM o la AASHTO. No obstante, dichos métodos pueden ser cambiados por métodos locales equivalentes como los del LNV.

6.2 Objetivos del muestreo y ensayo

Los objetivos de los procedimientos de muestreo y ensayos recomendados en la Tabla 2, se presentan a continuación:

a) Granulometría del RAP

Controlar el tamaño máximo del material granulado del pavimento asfáltico existente, puesto que el sobretamaño podría incrementar la segregación y los vacíos de aire. También, para secciones recicladas de poco espesor, del orden de 50 mm, el sobretamaño podría producir imperfecciones en la capa cuando está siendo colocada.

b) Muestreo de la emulsión (aditivo reciclador)

Asegurar que estos materiales son del tipo apropiado y cumplen con los requerimientos especificados.

c) Agua adicionada

El control del agua agregada se requiere para una buena dispersión del aditivo reciclador (emulsión) y compactación de la mezcla reciclada en frío. Un exceso de agua retardará el curado. Por el contrario, muy poca agua producirá segregación, desprendimiento de áridos con el tráfico y/o alto contenido de vacíos de aire.

d) Contenido de humedad de la capa reciclada

Cuando se utiliza una emulsión asfáltica como aditivo reciclador, se necesita conocer el contenido de humedad de la capa reciclada en frío, antes de colocar cualquier carpeta de rodado sobre ella. Un exceso de humedad remanente en dicho material, puede producir la falla del pavimento reciclado en frío.

e) Contenido de emulsión en mezcla reciclada

Se requiere un adecuado contenido de aditivo reciclador para alcanzar las propiedades deseadas de la mezcla reciclada en frío. En el caso del uso de emulsiones, demasiado aditivo producirá una mezcla inestable que

estará sujeta a ahuellamiento y deformaciones. Demasiado poco aditivo puede provocar severo desprendimiento de áridos superficiales cuando el pavimento reciclado se abra al tráfico.

f) Densidad compactada

Se requiere alcanzar una densidad de compactación mínima para evitar el ahuellamiento causado por la densificación producto del tráfico. Dos métodos se usan normalmente para establecer la "densidad objetivo" de compactación: 1) por tramos de prueba, que sirven de control y en los que se establece el procedimiento de compactación y la densidad objetivo; o 2) por compactación en terreno de muestras de material reciclado tomadas ya sea desde el material acordonado (cuando esto ocurre) o desde el material colocado inmediatamente detrás de la extendidora, estableciendo así la densidad objetivo.

Para chequear las densidades en terreno se utilizan, normalmente, densímetros nucleares; no obstante, pueden presentarse problemas en la medición debido a que no se pueden extraer testigos para la calibración durante el proceso constructivo (la mezcla no tiene la consistencia suficiente), además, la mezcla contiene asfalto y agua (ambos contienen hidrógeno). En algunas ocasiones pudiera especificarse el tipo y número de compactadores y el número de pasadas a ser realizadas, sin embargo, deberán preferirse los otros métodos explicados con anterioridad.

g) Profundidad del fresado

La profundidad del fresado requiere ser controlada periódicamente para cumplir con lo establecido en las especificaciones o indicado en el plan. Puede ser necesario tener que ajustar esta profundidad a causa de condiciones imprevistas del pavimento, tales como, la base o subrasante muy débiles, secciones de pavimento de menor espesor o mantenerse a la distancia apropiada desde la interfase/límite entre dos capas de pavimento existente (se preferirá mantenerse inmediatamente debajo de la interfase o a no menos de 20 mm por sobre ella).

h) Espesor de la capa reciclada / pendiente transversal

El espesor de la capa reciclada es una de las variables más críticas que afectan el comportamiento de largo plazo de la capa reciclada, ya que está relacionado con la capacidad del pavimento para soportar cargas y con la lisura para la calidad de rodado. El espesor es normalmente chequeado por mediciones físicas (directas). Donde se emplee un densímetro nuclear, se deberá complementar con pequeñas perforaciones de ensayo o testigos (cuando sea posible), proporcionando una evidencia visual del espesor de la capa. La pendiente transversal necesita ser chequeada periódicamente con un nivel inmediatamente detrás de la extendidora y también después de la compactación.

Tabla 2: Control y ensayos recomendados para el reciclado en frío [AASHTO, 98]

Tipo de Ensayo	Objetivo del Ensayo	Frecuencia	Ubicación y Tamaño de la Muestra
Granulometría del RAP	Tamaño máximo del RAP cumpla especificación	Cada 800 m ^{1,6}	Desde cinta transportadora, cordón de material o capa extendida. Mínimo 9 kg. ²
Emulsión	Cumplimiento especificación	1 ensayo diario	Desde tanque en tren de reciclado o camión de transporte. 1 litro. ³
Agua adicionada al RAP ⁴	Ajuste del contenido de agua para adecuado mezclado y compactación	Cada 800 m ^{1,6}	Desde el mezclador o después de colocación. 9 kg. ²
Humedad capa reciclada después de curado	Determinar cuando colocar la carpeta de rodado	Cada 800 m ^{1,6} en cada pista	Todo el espesor reciclado. Mínimo 1,5 kg. ²
Contenido de aditivo	Verificar cantidad de aditivo y exactitud de lectores de medición tren de reciclado	Mínimo 1 diario	Por indicador del tanque, pesaje del camión o lector de medición y peso de RAP con cinta de pesaje
Densidad material compactado por tramos de prueba ⁵ o Densidad material compactado por compactación en terreno de muestras ⁵	Establecer procedimiento de compactación y densidad objetivo para especificación Establecer densidad objetivo para especificación	Mínimo 2 tramos y densímetro nuclear cada 800 m. ^{1,6} Muestra de material y densímetro nuclear cada 800 m. ^{1,6}	Tramos al comienzo del proyecto y adicionales si ocurren grandes cambios en propiedades de la mezcla reciclada. Largo de tramos: de 100 a 150 m Muestra desde cordón de material o capa extendida. Mínimo 9 kg. ²
Profundidad del fresado	Cumplir especificación o plan	Mínimo cada 200 m	Mediciones a través de la capa extendida, adyacente a juntas longitudinales y en el borde exterior.
Espesor capa reciclada	Chequeo espesor de capa para cumplir especificación o plan	Mínimo cada 200 m	Mediciones a través de la capa extendida, adyacente a juntas longitudinales y en el borde exterior.
Calibración equipo mezclador	Asegurar adecuado contenido de aditivo y agua	Antes del inicio de trabajos de cada año o cuando se necesite ⁷	Material procesado desde mezclador hacia un camión y líquidos hacia tambores, estanques o distribuidor de asfalto para su pesaje.
Temperatura material reciclado	Determinar influencia de temperatura sobre compactación y temperaturas para diseño de mezcla	Mínimo 4 por día, 2 temprano en la mañana y 2 avanzada la tarde	Durante el mezclado e inmediatamente antes de comenzar la compactación
Lisura capa reciclada	Desarrollar datos de procedimientos de extensión y para futuras especificaciones	Continuamente o en lugares seleccionados	Por equipos perfilómetros
Contenido asfalto de pavimento original y del reciclado. ⁸	Determinar contenido de asfalto agregado y total	Aleatoriamente. ⁶	Desde lugares seleccionados en acopio o pavimento antes del reciclado y en la capa reciclada. 9 kg. ²

Notas

- Muestreos y ensayos adicionales pueden ser requeridos si se observan grandes cambios en las características del RAP, tales como una granulometría mucho más gruesa o fina o una notable diferencia en el contenido de asfalto, o cuando este ocurriendo una gran variabilidad en los ensayos de terreno.
- Se recomienda que el muestreo del RAP sea realizado de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D 979 o AASHTO T 168 para el muestreo de mezclas de pavimentos bituminosos.
- El muestreo de las emulsiones asfálticas debería ser de acuerdo con la norma ASTM D 140 o AASHTO T 40 para muestreo de materiales bituminosos.
- El contenido de humedad puede ser determinado conforme a ASTM D 1461 o AASHTO T 110 para humedad o destilados volátiles en mezclas de pavimentos bituminosos. También, puede ser determinado adecuadamente pesando y secando hasta masa constante en horno de aire forzado de acuerdo con ASTM D 2216 o AASHTO T 265 o por medio de horno microondas conforme a ASTM D 4643.
- La densidad objetivo para la compactación de la mezcla reciclada está siendo establecida usando tramos de prueba o por compactación de terreno de especímenes usando el compactador Marshall o Proctor y últimamente usando compactador giratorio. La densidad compactada, una vez establecida, normalmente es controlada con un densímetro nuclear puesto que no es posible extraer testigos durante la construcción. El procedimiento seguido estará de acuerdo con ASTM D 2950 para la densidad de concreto bituminoso in-situ por métodos nucleares. La densidad obtenida será una "densidad húmeda", ya que no es posible la conversión a una "densidad seca" verdadera por medio del equipo para este tipo de mezclas. Una densidad seca más exacta puede obtenerse muestreando la mezcla reciclada en el lugar donde se encuentra el densímetro nuclear, determinando el contenido de humedad por secado y corrigiendo la densidad húmeda del aparato usando el contenido de humedad de la muestra.
- Para cada longitud o tamaño de lote especificado, el muestreo puede ser realizado aleatoriamente usando los procedimientos de ASTM D 3665 para muestreo aleatorio de materiales de construcción.
- En base a las lecturas desplegadas por el procesador que controla al mezclador y a otros chequeos, se puede determinar la necesidad de una calibración adicional. Esta calibración puede requerir sólo un chequeo y ajuste de la cinta de pesaje.
- El contenido de asfalto en las mezclas recicladas en frío, puede ser determinado por extracción de asfalto usando ASTM D 2172 o D 4125, o AASHTO T 164 o T 287. También, se puede utilizar la mufla de ignición y el procedimiento desarrollado para mezclas asfálticas en caliente.

i) Calibración del equipo de mezclado

El equipo de mezclado debe ser calibrado para asegurar que se esté agregando la correcta cantidad de aditivo y de agua. Durante el reciclado en frío, el equipo de mezclado debe ser regularmente chequeado para determinar si las correas transportadoras, los medidores de flujo y otros componentes están funcionando apropiadamente.

7. APERTURA AL TRAFICO, SEGUIMIENTO Y EVALUACION

Una vez colada la carpeta de rodado superficial, se procede a la apertura al tráfico en forma

definitiva. Con el objeto de mantener una permanente retroalimentación acerca del comportamiento del pavimento, se deberían realizar evaluaciones periódicas y los resultados obtenidos usados para mejorar los proyectos futuros.

La mezcla reciclada en frío recién colocada puede tener poca resistencia aparente, pero con el curado adecuado se puede llegar a comportar en forma similar a una mezcla asfáltica en caliente. Puede llegar a tomar entre 6 y 12 meses (o a veces un poco más) antes de alcanzar su resistencia total (Austroads, 1997).

La Tabla 3 resume aquellos problemas que con mayor frecuencia pueden encontrarse en esta etapa y la forma en que podrían ser solucionados.

Tabla 3: Problemas más comunes en pavimentos reciclados en frío [ROGGE 2, 92].

CAUSAS	SOLUCIONES	COMENTARIOS
Ahuellamiento		
-Demasiada emulsión -Sellado superficial durante colocación -Aplicación de carpeta de rodado muy pronto	-Diseño de mezcla apropiado -Limitar compactación vibratoria y evitar rodillos neumáticos hasta que mezcla sea estable -Permitir curado para reducir humedad a aprox. 2% (normalmente entre 1 y 2 semanas)	Ocurre dentro de primeros días luego de la construcción o durante tiempo caluroso en la estación siguiente al reciclado
Desprendimiento de material		
-Tiempo frío/zonas sombrías -Emulsiones de quiebre lento -Inadecuado control del tráfico -Emulsión insuficiente	-Precalentar agua de mezclado -Sello tipo neblina en áreas con problema -Usar autos piloto	Ocurre dentro de primeras horas después de apertura al tráfico
Agrietamiento		
-Naturaleza de la mezcla muy abierta -Acción hielo-deshielo cuando no hay sello -Insuficiente sección estructural -Emulsión inadecuada -Compactación demasiado pronto	-Se requiere un sello de arena o agregado fino en todo camino de tráfico bajo a medio -Usar mezcla de graduación abierta con emulsión o mezcla caliente en caminos de tráfico pesado -Permitir secado antes de compactar	Puede ocurrir durante el primer invierno si la superficie no está sellada y la mezcla está sujeta a muchos ciclos hielo-deshielo
Fallas locales		
-Base inadecuada -Subrasantes muy húmedas	-Identificar estas áreas antes de reciclar -Excavar, colocar nueva base y parchar antes del reciclado	Esto frecuentemente ocurre en carreteras de bajo volumen con poca capacidad de la base. Puesto que este tipo de reciclado tiene poca resistencia en las primeras 24 hrs, el tráfico pesado romperá la superficie reciclada

8. CONCLUSIONES

La selección y evaluación del proyecto a reciclar es probablemente el factor más importante para asegurar el éxito de un reciclado en frío. El proceso de selección debe incluir una evaluación de la condición actual del pavimento existente, muestreo y ensayo de los

materiales del pavimento, la base, la subbase y la subrasante, un estudio de la historia de construcción y conservación del pavimento y un estudio del tráfico.

La mayoría de los métodos de diseño de mezclas recicladas que se están aplicando actualmente se basan en el método Marshall, pero con procedimientos diferentes de aquellos utilizados para el diseño de mezclas

asfálticas en caliente. Para el diseño estructural o de espesores, la resistencia de una mezcla reciclada en frío se obtiene normalmente a través de la determinación de su módulo resiliente. El módulo puede ser usado entonces, para estimar aproximadamente un coeficiente estructural, a_2 , por medio del método AASHTO de diseño de estructuras de pavimentos, ya que este método no considera en la actualidad un coeficiente estructural específico para mezclas recicladas.

El establecer un tramo de prueba al inicio de cada proyecto de reciclado resulta fundamental para el éxito del mismo, ya que permite que el personal involucrado en el proyecto tenga una apreciación real de aspectos tales como: 1) la granulometría resultante del material reciclado y su concordancia con las muestras utilizadas durante el proceso de diseño en laboratorio; 2) la densidad del material compactado y los patrones de compactación necesarios para alcanzarla, y 3) el aumento efectivo en el volumen del pavimento viejo deteriorado que se producirá producto del esponjamiento que ocasiona el reciclado.

Las mezclas recicladas en frío con emulsiones recién colocadas, normalmente tendrán poca resistencia cohesiva aparente. Sin embargo, con un curado adecuado se pueden comportar en forma similar a una mezcla asfáltica en caliente, lo cual podría llegar a tomar entre 6 y 12 meses antes de alcanzar su resistencia máxima. Esto debe tenerse presente al momento de evaluar la capacidad estructural de la carpeta de material reciclado.

9. REFERENCIAS

- AASHTO-AGC-ARTBA JOINT COMMITTEE (1998), Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements. Task Force 38 Report. AASHTO, Washington, D.C.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1993), Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO, Washington, D.C.
- ASPHALT INSTITUTE (1983), Asphalt Cold-Mix Recycling (MS-21). Asphalt Institute, Maryland.
- AUSTROADS Y AAPA (1997), Asphalt Recycling Guide. Autroads, Sydney, Australia.
- COMITÉ TÉCNICO DE FIRMES FLEXIBLES DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS (2000), Reciclado de Pavimentos. Revista Rutas N° 76, España.
- EMERY, J. (1991), Asphalt Concrete Recycling in Canada. Proceedings Canadian Technical Asphalt Association 1991, Canada.
- FERNANDEZ, J. (1998), Tratado de Estabilización y Reciclado de Firmes con Emulsión Asfáltica. Asociación Española de la Carretera, Madrid, España.

GARCÍA, G. (1999), Reciclado en Frío de Pavimentos Asfálticos. Tecnologías de Reciclado y Diseño de Mezclas en Base a Emulsiones. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile.

McKEEN, G. (1996), Cold In-situ Recycling Evaluation. Alliance for Transportation Research, Albuquerque, New Mexico.

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.

THENOUX, G. Y GARCIA G. (1999), Estudio de Técnicas de Reciclado en Frío: Primera Parte. Revista Ingeniería de Construcción N° 20, Santiago, Chile.

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

Civil Engineer, M. Sc., Ph. D
Professor Department of Construction Engineering and Management Engineering School
Pontificia Universidad Católica de Chile
gthenoux@ing.puc.cl

Gabriel García S.
Ingeniero Civil, M.Sc.
Ingeniero Investigador
Centro de Ingeniería e Investigación Vial
DICTUC S.A.

Civil Engineer, M.Sc.
Research Engineer
Highway Engineering and Research Center
DICTUC S.A.
gegarcia@ing.puc.cl

Revista Ingeniería de Construcción Volumen 15 N°1

Enero Junio de 2000