

# ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL PRIMER PROYECTO DE RECICLADO EN FRÍO IN-SITU CON ASFALTO ESPUMADO EN CHILE

## CONSTRUCTIVE ASPECTS OF THE FIRST IN PLACE RECYCLING PROJECT USING FOAMED BITUMEN

Por / By Guillermo Thenoux, Álvaro González, Andrés Jamet

### Resumen

El presente trabajo resume la experiencia del primer proyecto de reciclado en frío de pavimentos con asfalto espumado desarrollado en Chile. Esta técnica es utilizada para la rehabilitación de pavimentos flexibles, mediante el procesamiento y tratamiento con maquinaria especializada de un pavimento existente, para producir una capa de pavimento restaurada y estabilizada. El trabajo analiza en forma general el estado del pavimento antes de la rehabilitación, las soluciones de diseño estructural y diseño de mezclas. Además, describe en detalle aspectos de la construcción de la capa de pavimento reciclada observados en terreno: maquinaria, procedimientos, rendimientos y control de material. Finalmente, se señalan cuáles son las principales ventajas y dificultades de la aplicación de la tecnología.

**Palabras clave:** Asfalto espumado, construcción, reciclado, proyecto, rehabilitación, pavimento.

### Abstract

This paper summarizes the first Chilean experience in place cold recycling project, using foamed bitumen technology. This technology is applied on flexible pavement rehabilitation, using specialized equipment that crushes and blends the existing pavement section, resulting in a base course (stabilized). The work describes the pavement before the rehabilitation, the pavement structural design solution and the mix design solution. Also, explains the recycled layer construction process obtained from the field observation: equipment, procedures, performance and material control. Finally, the work explains the construction technology advantages and difficulties.

**Keywords:** Foamed bitumen, construction, recycling, project, rehabilitation, pavement.

## 1. INTRODUCCION

El reciclado en frío in-situ de pavimentos flexibles con asfalto espumado se define como el procesamiento y tratamiento, con material bituminoso en forma de espuma, de un pavimento existente sin aplicación de calor, para producir una capa de pavimento restaurada. El principal objetivo de esta técnica es rehabilitar un pavimento asfáltico deteriorado, restituyendo o mejorando sus propiedades funcionales y estructurales.

El asfalto espumado se logra mediante un proceso físico, en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (1,0 a 2,0% del peso del asfalto) y aire comprimido a una masa de cemento asfáltico caliente (160 °C – 180 °C), dentro de una cámara de expansión generando espontáneamente espuma (Thenoux y Jamet, 2002a).

El reciclado del pavimento con asfalto espumado in-situ se logra utilizando una máquina recicladora autopropulsada, utilizada para el procesamiento del pavimento existente e

incorporación del asfalto espumado. La recicladora tiene un tambor pulverizador-mezclador con profundidad de corte variable, equipado con más de 200 dientes de corte. El tambor rota, pulverizando el material del pavimento (Figura 1). Durante el proceso de pulverizado se agrega asfalto espumado mediante un sistema de válvulas, más el agua necesaria para la compactación. El material reciclado queda detrás de la recicladora a medida que ésta avanza, para su posterior compactación y perfilado con maquinaria tradicional.

Esta tecnología presenta importantes ventajas desde el punto de vista energético, ambiental y económico. Por estos motivos, el Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP), con el apoyo de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC), decidió construir el primer proyecto de reciclado en frío in-situ de pavimentos con asfalto espumado.

El presente trabajo resume los aspectos más relevantes del proyecto de reciclado desde el punto de vista constructivo.

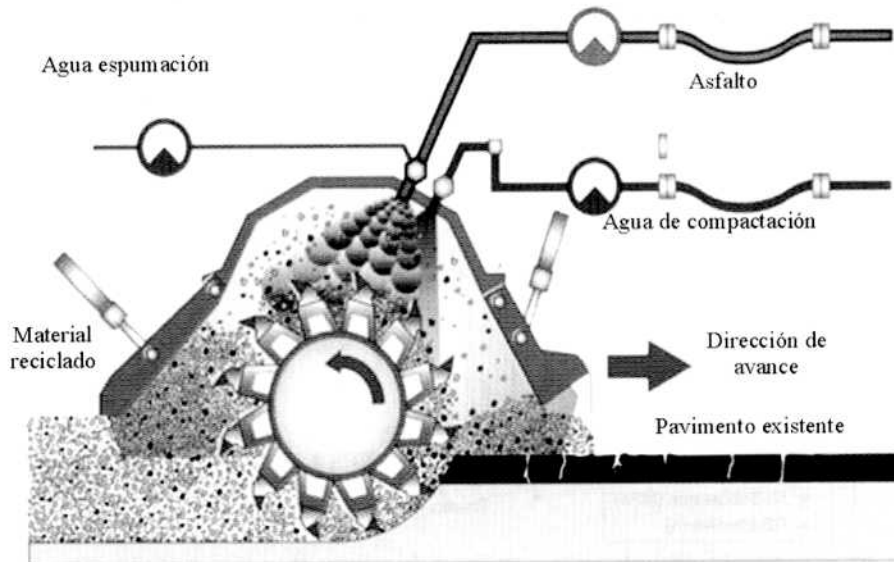


Figura 1. Tambor pulverizador-mezclador y proceso de reciclado y espumación

## 2. ESTADO DEL PAVIMENTO ANTES DE LA REHABILITACION

El proyecto correspondió a 28 kilómetros de la carretera Panamericana Norte, al sur de la ciudad de Copiapó, III Región de Chile (Figura 2). La zona del proyecto es árida con un escaso régimen de lluvias. El camino presentaba un tráfico relativamente bajo, con un Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) inferior a los 2000 vehículos por día, pero con una presencia de vehículos pesados (camiones de más de 2 ejes) superior al 50%. Las principales características del camino antes de la rehabilitación eran:

- Construido con técnicas antiguas (más de 30 años).
- Pavimento construido con agregados naturales de la zona, compuesto por una carpeta asfáltica de 70 mm, más una capa granular de 350 mm. Además, presenta intervenciones del tipo lechada asfáltica aplicada en todo el tramo.
- Subrasante con material bien graduado y no cohesivo con buena capacidad de soporte ( $M_r$  de diseño = 100 – 170 MPa) según estudio de deflectometría de impacto (Figura 3).
- Pavimento con avanzado estado de envejecimiento y deterioro superficial (grietas transversales, longitudinales, fallas en bloque y sectores con fallas tipo piel de cocodrilo) (Figura 4).
- Pendiente transversal de 1,0% en la mayoría de los sectores.

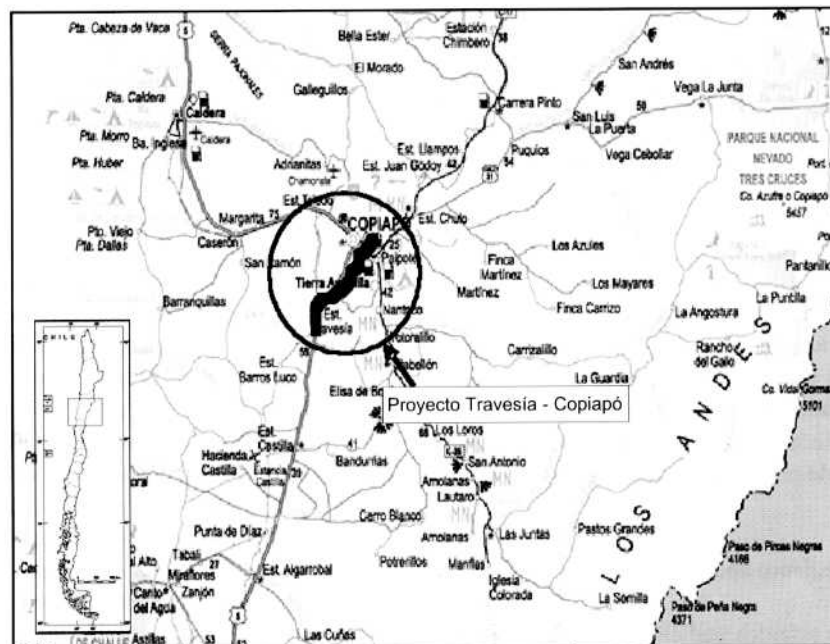
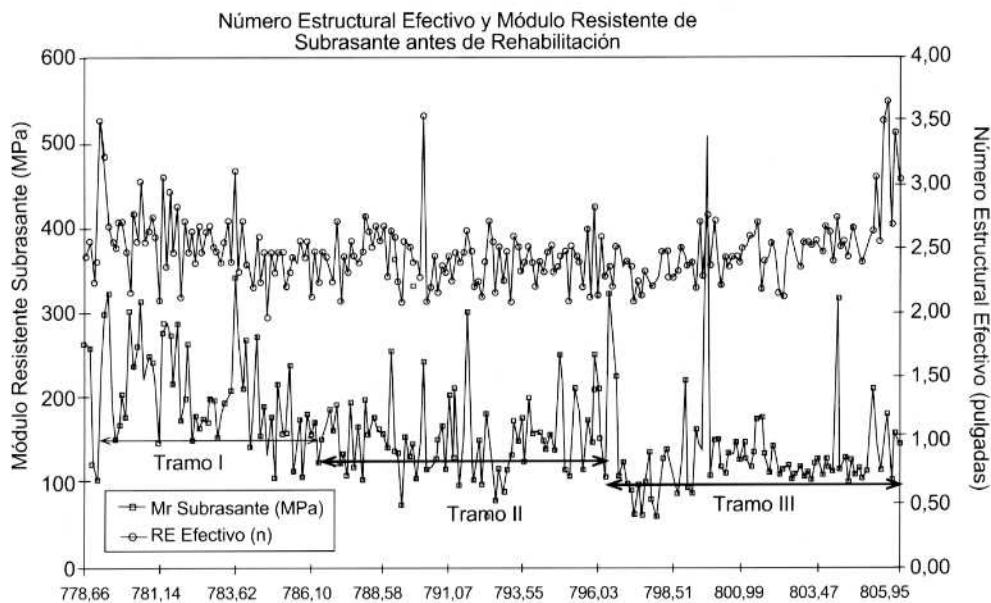


Figura 2. Ubicación geográfica del proyecto



**Figura 3. Número estructural efectivo y módulo resiliente de proyecto original (Carga 50 kN)**

El estado y características del pavimento, hicieron que se eligiera este proyecto para aplicar la técnica del reciclado con

asfalto espumado in-situ como solución de rehabilitación estructural.



**Figura 4. Falla típica en pavimento envejecido original**

### 3. SOLUCION ESTRUCTURAL PROPUESTA

La solución adoptada para la rehabilitación de pavimentos consistió en la capa reciclada y estabilizada con asfalto espumado, más una capa delgada de concreto asfáltico en caliente. Esta solución se adoptó en el 85% del proyecto.

Para el 15% restante del proyecto, se contempló la construcción de dos tipos de pistas de adelantamiento, con las siguientes estructuras:

- Carpeta de rodado / Base asfáltica tradicional / Base estabilizada con asfalto espumado
- Carpeta de rodado / Base asfáltica tradicional / Base granular

Las soluciones fueron diseñadas para resistir entre 10 a

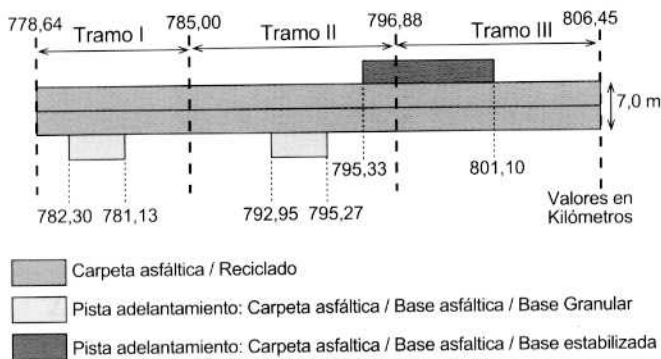
12 millones de Ejes Equivalentes de 80 KN. La deflectometría de impacto definió 3 tramos de subrasante mediante el método de diferencias acumuladas propuesta por AASHTO (AASHTO, 1993) (Figura 2). A partir del análisis de la deflectometría se determinó el Módulo Resiliente de diseño según el criterio del 80 percentil para cada tramo.

Las estructuras se diseñaron aplicando el método mecanicista sudafricano de diseño, que permite modelar el comportamiento de capas recicladas y estabilizadas con asfalto espumado. (Theyse, 1996; CSIR, 2002). Las soluciones consideraron las variaciones de tránsito, subrasante y otros parámetros en su diseño. Un resumen de los tipos de estructuras adoptados, Módulo Resiliente de diseño por tramo y espesores de diseño se muestran en la Tabla 1 y Figura 4. Un esquema de la estructura original y de la estructura rehabilitada se muestra en la Figura 5.

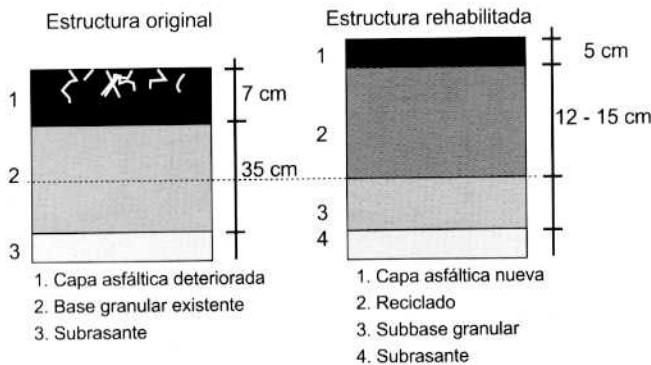
**Tabla 1. Tramificación del proyecto y soluciones propuestas**

Estructura	Tramo	Mr Subrasante (MPa)	Espesor en centímetros				
			Carpeta Asfáltica	Base Asfáltica	Reciclado	Base Estabilizada	Granular
Reciclado	I	169	5	-	12	-	23 (1)
	II	115	5	-	14	-	21 (1)
	III	103	5	-	15	-	20 (1)
Tradicional	I	169	5	9	-	-	15 base 15 subbase
	II	115	5	11	-	-	15 base 15 subbase
Base Estabilizada	III	103	5	16	-	15	-

(1) Material granular existente, considerado en el diseño estructural



**Figura 4. Ubicación de las soluciones propuestas en el proyecto**



**Figura 5. Esquema de estructura original y estructura reciclada**

## 4. DISEÑO DE MEZCLAS

Para el diseño de mezclas, se utilizó una máquina de asfalto espumado de laboratorio, capaz de reproducir las condiciones de producción de la espuma en terreno, aplicando el método de diseño Wirtgen (Wirtgen, 1998).

Se realizó un estudio preliminar para evaluar el efecto de las distintas proporciones de concreto asfáltico recuperado (RAP) y material granular extraído, producto de la variación de espesor que podía presentar la carpeta asfáltica existente, y para considerar los distintos espesores propuestos en el diseño estructural del pavimento. Los resultados obtenidos indicaron que el contenido de RAP no afectaba el contenido óptimo de asfalto, pero sí su resistencia (Thenoux y Jamet, 2002b).

La Tabla 2 muestra los parámetros para la construcción de la mezcla. La cantidad de asfalto, agua y cemento se calculan sobre la Densidad Máxima Compactada Seca (DMCS) de la mezcla RAP-Base.

**Tabla 2. Parámetros obtenidos del diseño de mezclas en laboratorio**

Parámetro del diseño de mezclas	Base reciclada	Base estabilizada
Densidad Máxima Compactada Seca (DMCS)	2200 kg/m <sup>3</sup>	2300 kg/m <sup>3</sup>
Humedad óptima compactación	6,0	6,3
Temperatura óptima del asfalto para espumar	175 °C	175 °C
Agua para espumar (*)	2,0 %	2,0 %
Asfalto Penetración 60/80 (**)	2,2 %	2,3 %
Agua para compactación (***)	4,5 %	5,7 %
Cemento hidráulico (**)	1,0 %	1,5 %

(\*) Calculado sobre el peso del asfalto  
 (\*\*) Calculado sobre la DMCS de la mezcla RAP-Base  
 (\*\*\*) Se debe descontar la humedad natural del material en terreno

## 5. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RECI-CLADO

El proceso constructivo de la capa reciclada y estabilizada con asfalto espumado requiere de una planificación y logística adecuadas. Pese a ser una técnica simple, para maximizar los beneficios es necesario conocer: propiedades y necesidades de la maquinaria utilizada, proceso constructivo con detalle y rendimientos asociados. La Figura 6 esquematiza el proceso.

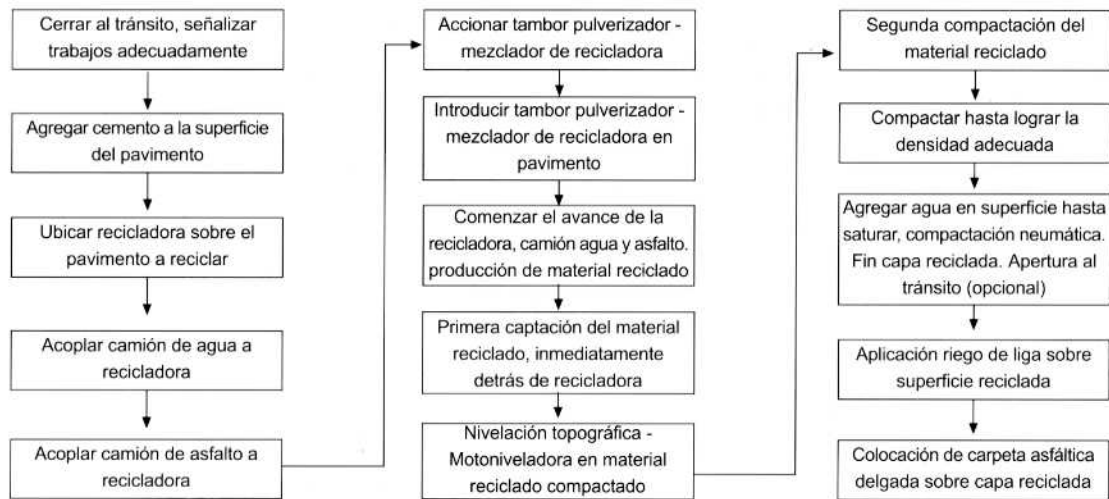


Figura 6. Secuencia del proceso de reciclado

### 5.1 Maquinaria Utilizada en el Proceso

#### a) Tren de reciclado

El tren de reciclado es el conjunto de 3 equipos unidos entre sí y que realizan el proceso de fabricación de la mezcla reciclada. Está formado por:

- Recicladora
- Camión proveedor asfalto
- Camión aljibe proveedor agua de compactación

Dentro del tren, la recicladora realiza el proceso fabricación de la mezcla: pulverización del material existente, y adición de asfalto espumado más agua para la compactación, por lo que las características de la misma son fundamentales. La recicladora impulsa el tren de reciclado completo (camión proveedor de asfalto de 25.000 litros, camión proveedor agua de 15.000 litros). La recicladora se conecta a los camiones proveedores mediante mangueras, y se deben adaptar para formar el tren de reciclado mediante dispositivos (lanzas) que permitan ser empujados por la recicladora (Figura 7 y 8).

El agua necesaria para espumar el asfalto se deposita en un estanque de 500 litros ubicado al interior del equipo reciclador. El tambor pulverizador-mezclador de la máquina utilizada en el proyecto posee 216 puntas, con un ancho de fresado de 2,45 metros. La máquina cuenta con una boquilla de prueba donde es posible observar la calidad de la producción de la espuma de asfalto.

#### b) Equipo de compactación y nivelación

Se deben utilizar 3 equipos de compactación como mínimo, más el equipo de nivelación:

- Compactador rodillo liso para primera compactación (11 toneladas)
- Compactador rodillo liso para segunda compactación (15 toneladas)
- Compactador neumático para terminación superficial (25 toneladas)
- Motoniveladora

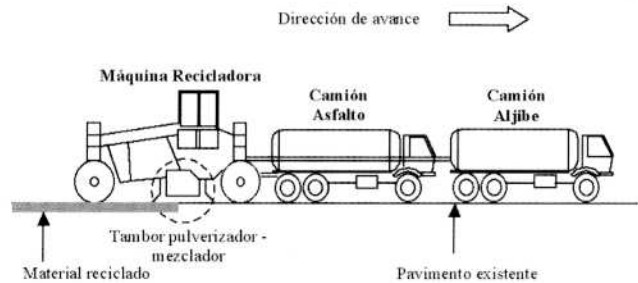


Figura 7. Esquema del tren de reciclado utilizado en el proyecto de rehabilitación



Figura 8. Fotografía del tren de reciclado utilizado en el proyecto de rehabilitación



## 5.2 Características del Proceso Constructivo en Proyecto Travesía-Copiapó

En la Figura 9 se presenta la secuencia constructiva más utilizada para el proyecto de reciclado. Se realizaron 3 cortes con un ancho de 2,45 m para completar los 7,0 metros, con traslpos de 15-20 centímetros. En las pistas de adelantamiento con base estabilizada se adoptó la secuencia mostrada en la Figura 10.

En este proyecto fue posible desviar el tráfico, por lo que se realizaron los trabajos en la calzada completa. Sólo en la tercera pista de base estabilizada (5.770 metros de longitud a 3,5 metros de ancho) el tren de reciclado trabajó con presencia de tráfico en un costado. En los dos casos se contaba con la señalización adecuada para mantener la seguridad del tránsito vehicular normal.

La máquina se posicionaba al comienzo del corte hasta completar los 480 metros aproximadamente. Luego, volvía retrocediendo hasta el comienzo del segundo corte y repetía la operación.

El proceso constructivo diario consistió en: preparación de los trabajos, proceso de reciclado, proceso de compactación, perfilado y topografía, y apertura al tráfico.

### a) Preparación de los trabajos

Previo al inicio del reciclado, deben cumplirse una serie de requisitos para que durante el proceso no se produzcan atrasos innecesarios.

Se debe contar con un área de trabajo adecuada, de acuerdo a la cantidad de metros que se quiera avanzar al día. En el proyecto, en un día normal de trabajo se disponía de un tanque de asfalto (25.000 litros), lo que a una profundidad de fresado de 14 – 15 cm correspondía a un avance diario de 480 metros en la calzada completa, en 4 horas de trabajo.

El lugar de trabajo debe estar cerrado antes del inicio de los trabajos para preparar la superficie del pavimento a reciclar (adicción y esparcido de cemento), con una clara señalización que minimice el riesgo de accidentes.

Una vez que el área de trabajo ha sido asegurada, se deben realizar marcas en el pavimento a reciclar. Estas permitirán a la recicladora seguir una línea de corte, y también repartir el cemento hidráulico en forma homogénea sobre el pavimento. El cemento es transportado en sacos al lugar de trabajo, mediante el camión plano. Estos sacos posteriormente serán esparcidos por la cuadrilla de jornales (Figura 11). Existe maquinaria que puede adicionar cemento directamente a la máquina recicladora, sin embargo, en el proyecto Travesía-Copiapó se utilizó la técnica manual, debido al alto costo de la maquinaria especializada ya que permite una mayor contratación de mano de obra (requisito exigido por el mandante en algunos contratos).

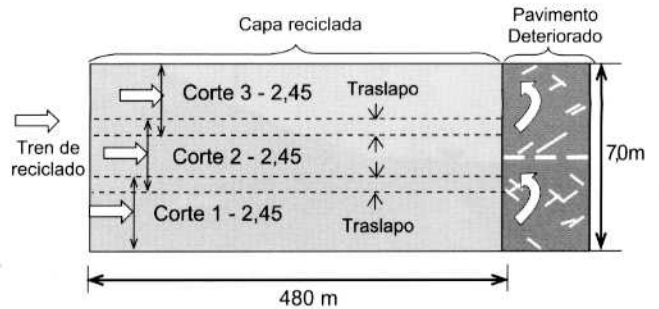


Figura 9. Secuencia del tren de reciclado en calzada completa, vista en planta

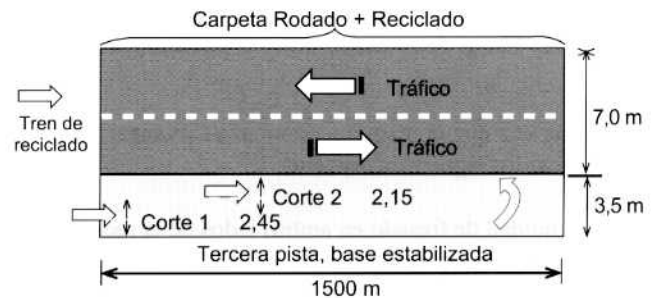


Figura 10. Secuencia del tren de reciclado en pista de adelantamiento, vista en planta

### b) Proceso de reciclado

Antes de comenzar el trabajo diario, se deben realizar las siguientes acciones:

- Llenar estanque de agua para producir espuma de asfalto.
- Verificar que el circuito de asfalto y de agua de compactación de la recicladora funcionen correctamente.
- Conectar mangueras de camiones proveedores (asfalto y agua) a recicladora.
- Formar el tren de reciclado sobre la superficie a reciclar.
- Ingresar en el computador de la recicladora algunos datos de la Tabla 3: DMCS, porcentaje de agua para producir espuma, porcentaje de agua de compactación, porcentaje de asfalto. Además, se debe definir si se aplicará asfalto espumado en todo el ancho del tambor pulverizador-mezclador o sólo en una zona de éste.
- Posicionar la máquina unos metros antes de la sección a tratar, accionar el tambor pulverizador-mezclador, e introducirlo en el pavimento. La profundidad de pulverizado está relacionada con el espesor de diseño estructural (Tabla 1).



**Figura 11. Sacos de cemento sobre el pavimento a reciclar**

Una vez que la máquina comienza a avanzar, se deben verificar los siguientes aspectos:

- Profundidad de fresado en ambos lados de la recicladora.
- Calidad de la espuma.
- Humedad del material reciclado.
- Temperatura del asfalto. De acuerdo al diseño de mezclas, con un rango  $\pm 5$  °C.
- Chequear el estado de los dientes de corte o puntas del tambor fresador-mezclador.

#### c) Proceso de compactación, perfilado y topografía

El esfuerzo inicial de compactación o precompactación debe realizarse con un compactador pesado, vibrando a alta amplitud, para lograr la densidad en la parte inferior de la capa reciclada (Figura 12).

El material procesado se va depositando detrás del tren de reciclado, densificado sólo detrás de las huellas de la recicladora (Figura 13). Por lo tanto, el primer esfuerzo de compactación debe centrarse en el material suelto entre las huellas.



**Figura 12. Proceso de precompactación detrás del tren de reciclado**



**Figura 13. Huellas producidas por la máquina de reciclado**

Una vez que la sección ha sido precompactada, se utiliza una motoniveladora para conseguir el perfil de diseño. Paralelamente, el equipo topográfico comienza a colocar estacas dentro del material reciclado, para que la motoniveladora comience a perfilar, obteniendo las cotas de proyecto.

Una vez que el proceso de nivelación concluye, se realiza la segunda compactación con un rodillo liso, operando a baja amplitud para densificar la parte superior de la capa reciclada.

Cuando se logra la densidad, la superficie es saturada con agua con camiones aljibe. Luego se aplica compactación neumática hasta conseguir el sellado superficial de la capa. El objetivo principal de este proceso no es aumentar la compactación del material, sino conseguir una buena textura superficial.

#### d) Apertura al tráfico

A pesar de que el material tratado con asfalto espumado es resistente y puede ser transitado inmediatamente después de la compactación, sigue teniendo características de material granular. Por lo tanto, puede sufrir una pérdida de áridos debido a la abrasión del tráfico, que suelta y remueve las partículas más gruesas del material. Sin embargo, la base reciclada puede ser abierta al tráfico bajo las siguientes condiciones:

- Base reciclada debe cumplir con el control de compactación exigido, y con los espesores especificados.
- Durante el periodo de apertura al tráfico, la base reciclada debe ser humedecida mediante un riego de aspersión con

una frecuencia de a lo menos 2 horas y en toda la longitud del tramo. El periodo máximo para mantener el tráfico bajo estas condiciones dependerá de las condiciones climáticas y de tráfico, pero se recomienda que esta no se prolongue más de 5 días.

- Si se requiere mantener la apertura al tráfico por un tiempo prolongado, deberá ser aplicado un riego de liga. El periodo máximo para mantener el tráfico bajo esas condiciones dependerá de las condiciones climáticas y de tráfico.
- Los baches generados por la apertura al tráfico deberán ser reparados aplicando la técnica de bacheo, con mezcla reciclada con asfalto espumado, obtenida de un sector que esté siendo reciclado.

Una vez que la capa reciclada ha perdido humedad (un 50% de la humedad óptima, aproximadamente), es posible colocar la capa delgada de mezcla asfáltica en caliente de 5 cm. de acuerdo al diseño estructural (Tabla 1).

#### 5.4 Rendimientos Asociados al Proceso Constructivo

El estudio de los rendimientos para este proyecto se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3. Rendimientos calculados en terreno**

MATERIALES	Rendimiento	Valor diseño de mezclas
Asfalto	48,4 Kg/m <sup>3</sup>	2,2%
Cemento	22,0 Kg/m <sup>3</sup>	1,0%
Agua	55,0 Kg/m <sup>3</sup>	2,5%
EQUIPOS	Rendimiento	
Camión para transporte de cemento	65 m <sup>3</sup> /Hora	
Rodillo liso primario	56 m <sup>3</sup> /Hora	
Rodillo liso secundario	56 m <sup>3</sup> /Hora	
Rodillo neumático	56 m <sup>3</sup> /Hora	
Camión aljibe reciclado	129 m <sup>3</sup> /Hora	
Camión aljibe compactación	56 m <sup>3</sup> /Hora	
Motoniveladora	125 m <sup>3</sup> /Hora	
Recicladora	150 m <sup>3</sup> /Hora	
Consumo de puntas	0,25 Punta/m <sup>3</sup>	

Los rendimientos de materiales señalados representan el consumo teórico de cada uno de ellos. Sin embargo las diferencias son mínimas respecto del consumo real en terreno.

Los rendimientos de los equipos fueron obtenidos en forma aproximada, calculando el promedio de los rendimientos diarios observados en terreno. Debido a que este proyecto es la primera aplicación de la técnica de reciclado con asfalto espumado in-situ, se espera que los rendimientos se incrementen en futuras aplicaciones, debido al conocimiento adquirido en este proyecto.

## 6. CONTROL DEL MATERIAL RECICLADO

En el material reciclado, existen 2 aspectos fundamentales a controlar: Resistencia del material y compactación.

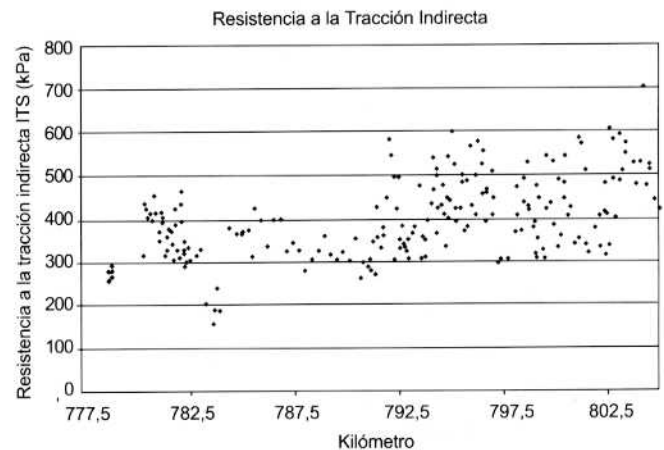
### 6.1 Control Resistencia a la Tracción Indirecta

Para verificar la uniformidad y consistencia en el proceso constructivo del material reciclado, se realiza el ensayo de

resistencia a la tracción indirecta, ITS (Indirect Tensile Strength).

El control de ITS se realiza extrayendo material inmediatamente detrás de la recicladora. Se extraen 10 kilos de material y se introduce en bolsas selladas e identificadas. Posteriormente las muestras se llevan a laboratorio, donde se confeccionan 3 probetas de 4" de diámetro por punto de control, aplicando compactación Marshall, con 75 golpes por cara. Una vez confeccionadas las probetas se someten a un proceso de curado por 72 horas a 40 °C en horno de aire forzado. Finalmente, las probetas se someten a ITS en condición seca. Se recomienda tomar una muestra para control de ITS por cada corte de reciclado, para cada tanque de asfalto utilizado, exigiendo un mínimo de 3 muestras por tanque.

Usualmente se exige un valor ITS de 250 kPa, valor obtenido en casi todo el proyecto, salvo en las primeras secciones recicladas (debido a la inexperiencia del trabajo con material reciclado). En esos casos es necesario volver a reciclar el material con un porcentaje de asfalto menor. La Figura 14 muestra los resultados de ITS en el proyecto. El valor ITS aumenta con el kilometraje, producto de la experiencia adquirida en el manejo y construcción del material reciclado.



**Figura 14. Valores de control ITS en el proyecto**

### 6.2 Control de compactación

La compactación se controla a través de la densidad. La densidad exigida para una capa reciclada corresponde al 98% de la densidad de Proctor de terreno (este requerimiento puede variar según el tipo de material estabilizado).

El control se realiza extrayendo una cantidad de material suficiente para realizar una compactación tipo Proctor Modificado, inmediatamente detrás de la recicladora.

Posteriormente, utilizando Densímetro Nuclear, se verifica que la densidad de la capa terminada corresponda a un 98% de la obtenida en la compactación Proctor.

La compactación se logró en todo el proyecto. Si esta no se consigue, debe volver a reciclarse la sección.



## 7. CONCLUSIONES

A partir de la experiencia obtenida del primer proyecto de reciclado in-situ con asfalto espumado, se concluyó que:

- Desde el punto de vista constructivo, fue posible aplicar con éxito una nueva tecnología de rehabilitación de pavimentos en Chile.
- La solución estructural propuesta con esta técnica está diseñada para resistir entre 10 y 12 millones de Ejes Equivalentes.
- La mezcla reciclada presenta un bajo contenido óptimo de asfalto (2,2%) y un bajo contenido de cemento (1,0%).
- De acuerdo a los rendimientos presentados, el proceso constructivo es de rápida ejecución, logrando fácilmente un rendimiento de 1.000 metros de avance diario a calzada completa de 7,0 metros de ancho.
- Se reciclaron casi 6 kilómetros en pistas de adelantamiento (3,5 metros de ancho), con el tránsito vehicular a un costado de la máquina (de forma muy similar al trabajo en media calzada). En futuros proyectos, será posible aplicar el proceso en media calzada, sin construir desvíos que producen impacto al usuario que transita por la carretera.
- La base reciclada terminada puede ser abierta al tránsito sin protección superficial, pero por un tiempo limitado y con una serie de restricciones.
- Los valores de control de ITS aumentaron a medida que se fue desarrollando el proyecto. Esto demuestra que se mejoró el proceso constructivo a medida que el equipo de trabajo fue adquiriendo experiencia en el manejo del material reciclado.
- En general no existieron problemas de compactación.
- Si algunos sectores reciclados no logran los valores exigidos en el control, deberían reciclarse nuevamente.

Las conclusiones apuntan a que el éxito en las futuras aplicaciones de esta tecnología depende básicamente de tres aspectos: planificación, logística y conocimiento de la técnica del reciclado en frío in-situ con asfalto espumado.

De acuerdo a la experiencia obtenida del proyecto, se concluye que la técnica es una excelente alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración e iniciativa de las empresas: Vecchiola (constructora), A y S (ingenieros consultores), Wirtgen (maquinaria de construcción) y Química Latinoamericana (proveedor del asfalto).

## 9. BIBLIOGRAFIA

AASHTO (1993), AASHTO Guide for Design of Pavements Structures. America Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

CSIR TRANSPORTEK. (2002), The Design and use of foamed treated materials: Interim Technical Guideline, Pretoria

South Africa

THENOUX, G. y JAMET, A. (2002a), Tecnología del Asfalto Espumado, Revista Ingeniería de Construcción Pontificia Universidad Católica de Chile, Volumen 17. N° 2, pp 84 - 92, Mayo - Agosto 2002

THENOUX, G. y JAMET, A. (2002b), Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezclas, 6° Congreso Internacional de Gestión y Mantenimiento Vial PROVIAL 2002, Noviembre de 2002.

THEYSE, H. (1996), Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method. Transportek, CSIR, Pretoria, Southafrica.

WIRTGEN, GMBH. (1998), Cold Recycling Manual, Wirtgen Gmbh, Windhagen, Germany.

---

### **Guillermo Thenoux**

*Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile*

---

### **Álvaro González**

*Centro de Ingeniería e Investigación Vial CIIV.  
Dictuc S.A. , Santiago, Chile*

---

### **Andrés Jamet**

*Escuela de Ingeniería en Construcción  
Universidad de Valparaíso  
Valparaíso, Chile*