



RECICLADO EN FRIO *IN SITU*  
Experiencia en Norteamérica

**Autores/Ponente**

**Jesús Fumadó Gilabert**

Director Técnico  
TEMAC

Tecnología, Maquinaria y Componentes

**Juan Luís Fumadó Gilabert**

Gerente  
TEMAC

Tecnología, Maquinaria y Componentes

**Ignacio Pérez Pérez**

Profesor Titular

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos  
Universidad A Coruña

**Sabas Corraliza Tejeda**

Director Técnico  
ECOASFALT, S.A.



## RESUMEN

El empleo de la técnica de reciclado *in situ* en Norteamérica está muy extendida.

Diversos estados han desarrollado normativa específica para esta materia con el objetivo de dotarla de rigor y obtener un producto final de calidad.

El empleo de trenes de reciclado simples y multietapa es un elemento distintivo de la aplicación de la tecnología de reciclado *in situ* en Estados Unidos y Canadá.

En Europa, se ha iniciado ya su implantación y los resultados obtenidos ponen de manifiesto la calidad y homogeneidad del producto terminado, así como el alto rendimiento que proporcionan por los equipos empleados.

La comunicación hace un breve repaso a la reglamentación elaborada por el Estado de Nueva York donde, entre otros aspectos, se destaca el procedimiento para el diseño de la mezcla, la catalogación de los trenes de reciclado simples y multietapa y los controles de calidad establecidos.

Se describen las características más innovadoras de los trenes de reciclado, entre ellas:

- El fresado reciclador (*Down-Cutting*) proporciona una homogeneidad sin precedentes.
- El empleo de una unidad de cribado, molido y mezclado asegura una perfecta granulometría y envuelta del material fresado y el árido de aportación con el ligante.
- El empleo de una extendidora para el extendido de la mezcla reciclada eleva la calidad del firme obtenido a la habitual en obras de aglomerado en caliente.



- La formación de un cordón de material reciclado entre la recicladora y la extendedora posibilita una correcta redistribución del material a lo largo de la calzada y el secado de la mezcla reciclada.
- La separación de los equipos de fresado y extendido permite el empleo de sistemas de nivelación con promediación en ambas unidades con el consiguiente incremento de regularidad en la rasante definitiva.

Se exponen las combinaciones más habituales en cuanto a trenes de reciclado simples y multietapa, describiéndose el tipo de máquinas que intervienen en cada composición y exponiendo ejemplos de obras realizadas tanto en América como en Europa con ambos tipos de trenes de reciclado.

Posteriormente se detallan las peculiaridades de las máquinas intervinientes.

Fresadoras ROADTEC con las siguientes opciones:

- Kit de reciclado *in situ* formado por bombas y caudalímetros de agua y emulsión, ordenador para control de la dosificación, barras de inyección de ligante en la cámara de fresado, conducciones para cada fluido y sistemas de empuje y remolque. Todo ello, en el lugar previsto para cada elemento.
- Fresado bidireccional que permite realizar fresado convencional marcha adelante y reciclador cuando discurre marcha atrás. Adicionalmente, esta capacidad posibilita cargar directamente la tolva de una extendedora con material reciclado mediante la cinta de descarga de la fresadora.



- Tambores simétricos para optar por el fresado reciclador marcha adelante.
- Faldones inclinados para reducir el volumen de material en la cámara de fresado y mejorar así tanto la granulometría del fresado como la envuelta.

Unidad de cribado, molido y mezclado ROADTEC RT-500.


Unidad remolcada por la fresadora, forma parte integrante de los trenes de reciclado multietapa. En este caso, la fresadora circulando marcha atrás aplica un fresado reciclador al firme existente y entrega el material triturado a través de la cinta de descarga sobre la tolva de recepción del RT-500. Esta unidad selecciona el material que se halla dentro del tamaño máximo y lo conduce hacia el mezclador de ejes gemelos donde se llevará a cabo la envuelta con el ligante bajo el control de un microprocesador.

El rechazo de la criba se reprocesará en un molino montado en el mismo chasis y pasará nuevamente por la criba.

El ligante se obtiene de una cisterna nodriza remolcada por el RT-500.

Esta unidad proporciona una mezcla perfectamente ajustada a la fórmula de diseño.

La mezcla reciclada se deposita en el suelo a la espera de ser entregada a la extendedora.



Recogedor de caballones CARLSON.

Dispositivo situado frente a la extendedora que recoge la mezcla depositada en cordón y la eleva hasta la tolva suplementaria de la pavimentadora.

Las conclusiones de la comunicación resaltan:

- La aplicación de maquinaria específica para cada uso que puede emplearse tanto para reciclaje como en su tarea habitual. Ello redundará en una mejor eficiencia en cada cometido y una mayor rentabilidad de la inversión en maquinaria.
- La mejor granulometría de la mezcla por empleo del fresado reciclador.
- El empleo del cordón de material como estoc regularizador y de secado.
- Las ventajas en calidad de producto acabado aportadas por el RT-500.
- La doble regularización efectuada por las nivelaciones de la fresadora y de la extendedora.

**Palabras clave:** reciclado, fresadora, recicladora, *in situ*, emulsión.

## INTRODUCCIÓN

Las ventajas aportadas por la técnica de reciclado en frío *in situ* son conocidas. El respeto medioambiental, derivado del completo aprovechamiento de los materiales deteriorados y un bajo consumo energético, y la reducida incidencia económica en comparación con otros métodos de rehabilitación de firmes la sitúa en un posición altamente competitiva.

Sin embargo, el escaso control sobre la homogeneidad granulométrica y la prácticamente nula capacidad de incidir en la regularidad de la rasante obtenida que proporcionan los sistemas empleados en la actualidad en Europa han limitado su uso a carreteras de segundo y tercer orden.

En Norteamérica, se han desarrollado diversos sistemas que hacen frente a estos factores con la finalidad de optimizar esta tecnología, dotar de rigor al método constructivo y disponer de mayor capacidad de control sobre el producto resultante.

Las normativas y reglamentos instaurados para regular estos procedimientos contemplan aspectos relativos a la toma de muestras para la determinación del árido de aportación preciso, tipo y cantidad de ligante, huso granulométrico de la mezcla resultante, tipo de maquinaria apta para la realización de estas tareas, procedimientos de calibración, etc.

Si bien en Europa se ha iniciado ya la aplicación de algunos de estos sistemas, creemos adecuado divulgar los aspectos técnicos innovadores que les distinguen para hacer extensivas sus ventajas también a nuestro entorno.





## **REGLAMENTACIÓN ESTADO DE NUEVA YORK**

Tanto en Estados Unidos como en Canadá, diversas administraciones han puesto en vigor reglamentos para regular los procedimientos y prácticas en el reciclado en frío.

Destacamos aquí algunos aspectos del reglamento del estado de Nueva York.

### **Esquema de precios para contratación**

Con la finalidad de que la administración pueda optar por contratar la obra completa o descomponerla entre diversos aspectos como el suministro de materiales, la ejecución del reciclado, la regulación y protección del tráfico, etc.; se estipula cómo deben presentarse los precios en las ofertas:

- Precios FOB para los materiales.
- Precio por desplazamiento a obra de los medios y el personal, por m<sup>2</sup> de reciclado.
- Calentamiento, transporte y aplicación de la emulsión, por litro.
- El mantenimiento y protección del tráfico, por m<sup>2</sup> de reciclado.
- Resaltes para pacificación del tráfico, cuando se requieran, por metro lineal con instalación y retirada.



### **Ajustes de precios**

Para hacer frente a las oscilaciones del precio que pueden experimentar —entre el momento de la presentación de la oferta y la ejecución de los trabajos— los materiales derivados del petróleo, el NYS-DOT determina mensualmente precios medios para los mismos. Estos precios medios se contrastan con los de referencia del contrato y se procede a efectuar un ajuste de los precios de contratación según la variación experimentada por el precio del material a partir del segundo mes desde el inicio de la obra.

En la fórmula para establecer el ajuste de precio, se tiene en cuenta el precio medio actual, el precio de referencia y el porcentaje de petróleo contenido en el producto.

$$\text{Ajuste precio} = \frac{\text{Nuevo Precio Medio} - \text{Precio Referencia}}{980} \times \% \text{petróleo}$$





## **Diseño de mezcla**

Se establecen dos métodos para el diseño de la mezcla, en función de quién es el responsable de su elaboración.

### **1.- Diseño de la mezclas por la administración**

#### **Administración**

- Obtención de probetas
- Diseño mezcla (árido de aportación)

#### **Contratista**

- Elección de la emulsión y dotación

### **2.- Diseño de la mezcla por el contratista**

#### **Contratista**

- Obtención probetas (NYS-DOT)
- Diseño mezcla (árido de aportación)
- Elección de la emulsión y dotación

#### **Administración**

- Aprobación del diseño propuesto

## **Protección del tráfico**

En caso de que se asigne al contratista el plan de mantenimiento y protección del tráfico, este se somete a aprobación en la reunión previa al inicio de la obra que mantendrán los responsables de la administración y el contratista.

Se toman como base las especificaciones del NYS-DOT para la protección de la zona de obras y para la disposición de reductores de velocidad, cuando se requieran.



### **Especificaciones detalladas**

El reciclado de firmes *in situ*, objeto del reglamento referido, engloba los procesos de:

- Obtención de probetas
- Diseño de mezcla
- Reciclado del firme existente

El proceso de reciclado, propiamente dicho, se define como un proceso continuo multietapa que abarca:

- Fresado
- Mezclado con emulsión y árido
- Extendido
- Compactación

Sobre los materiales intervinientes, la reglamentación especifica los tipos adecuados de:

- Emulsión bituminosa
- Aditivos
- Áridos de aportación
- RAP (Tamaño máximo 50mm)

### **Fórmula de trabajo**

El árido de aportación se calculará como un porcentaje en peso sobre el RAP. Cuando se requiera aportación, esta se hallará entre el 5% y el 20%.

La curva granulométrica debe estar comprendida dentro del siguiente huso:

Sieve (mm)	Percent Passing	
	Minimum	Maximum
37,5	100	-
25,0	95	100
12,5	70	85
6,3	48	68
3,2	32	54
0,850	15	30
0,425	8	22
0,180	4	14
0,075	2	8

### Equipos

Cada administración, y en este caso la del NYSDOT, edita un listado de empresas y equipos aceptados en las licitaciones, agrupados en **trenes de reciclado simples y trenes multietapa**, renovado mensualmente.

Para formar parte, las empresas y sus equipos deben seguir un procedimiento de evaluación del DOT.

Deben obtener aprobación escrita del DOT para la inclusión de nuevos equipos y seguir un procedimiento regulado para su ingreso.

### Calibración

Se establecen los procedimientos de calibración y su periodicidad.





### **Extendido y compactación**

Sobre el material reciclado, el reglamento contempla tanto su entrega directa a la extendedora como la formación de un cordón sobre la traza.

Establece la necesidad de emplear nivelación de larga referencia para obtener una mejor regularidad superficial de la rasante.

Especifica la composición del tren de compactación formado por compactador de neumáticos y tándem.

### **Detalles de ejecución**

Se prescriben detalles de ejecución sobre:

- Juntas longitudinales
- Barrido de la superficie
- Regularidad superficial de la rasante
- Curado y riegos de impermeabilización

## CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

Uno de los primeros aspectos singulares que encontramos en los reglamentos americanos es la distinción entre trenes de reciclado simples y trenes de reciclado multietapa.

Ambas tipologías responden a controles granulométricos con distintos niveles de exigencia.

Abundando en el control granulométrico, otro factor relevante es el empleo de tambores de fresado con sentido de giro inverso al habitual en las labores de fresado. El resultado es una mejor gradación del material y una envuelta más efectiva.

La separación entre fresado y extendido aporta las siguientes ventajas:

- Empleo de extendedora para proporcionar al firme una alta calidad de acabado.
- Disposición de doble sistema de nivelación para efectuar una doble regularización de la rasante.
- Posibilidad de formación de un cordón de material reciclado que permite repartir el material a lo largo de la traza para mejorar la capacidad de regularización y, a su vez, actúa como secadero.

Entraremos ahora, en cada una de estas características singulares para, posteriormente, ver como pueden combinarse en función de las características de la obra.



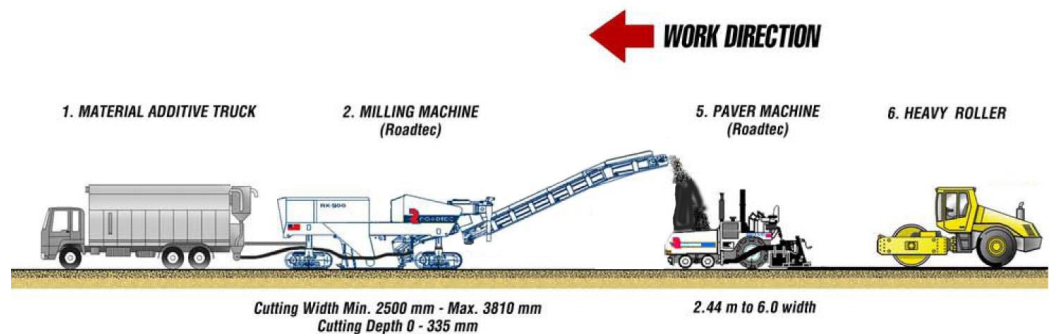
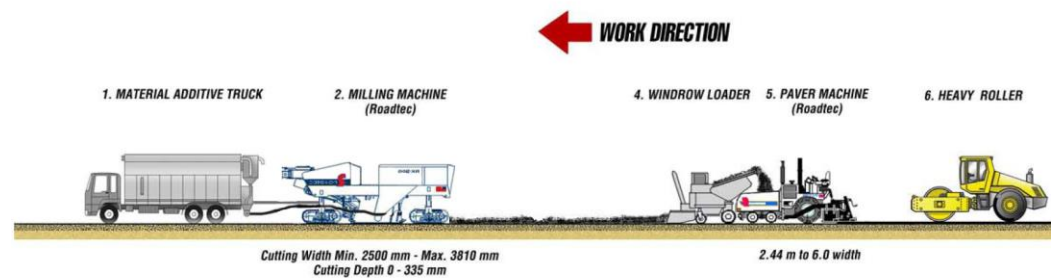
### Tren de reciclado simple

En el tren de reciclado simple, la fresadora/recicladora es la encargada de fresar el material deteriorado, incorporar —cuando sea preciso— el árido de aportación, añadir la cantidad adecuada de ligante y efectuar la envuelta.

El material resultante puede ser depositado sobre la traza formando un cordón o entregarse directamente en la tolva de la extendedora a través de la cinta de descarga.

Dotada de una tolva suplementaria para aumentar la capacidad de regularización, la extendedora recibe y extiende el material reciclado a la cota requerida y lo precompacta.

Cuando el reciclado ha sido depositado en cordón, la extendedora incorpora frente a ella un recogedor de caballones que eleva el material desde el cordón y lo deposita en la tolva suplementaria de la extendedora.

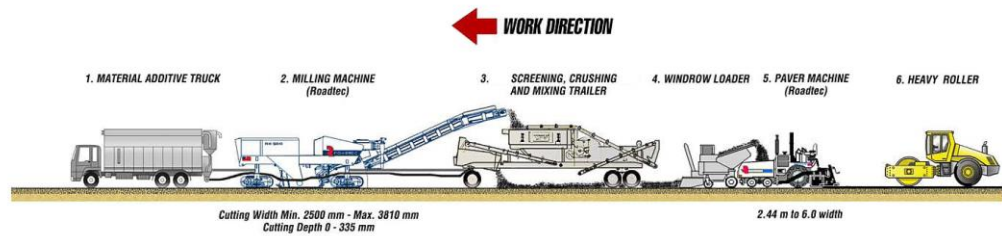




### Tren de reciclado multietapa

Cuando se requiere un mayor esmero en el control granulométrico y la envuelta del material, el tren multietapa incorpora una unidad de cribado, molido y mezclado, conocida como RT-500, que se sitúa entre la fresadora y el equipo de extendido. Esta unidad es remolcada por la fresadora que, a su vez, empuja la cisterna con el ligante.

La misión de la fresadora se reduce en esta configuración a demoler el aglomerado envejecido y mezclarlo, cuando se requiera, con el árido de aportación. El producto resultante se entrega en la tolva de recepción del RT-500.



**Pavement In-Place Recycling from Roadtec**

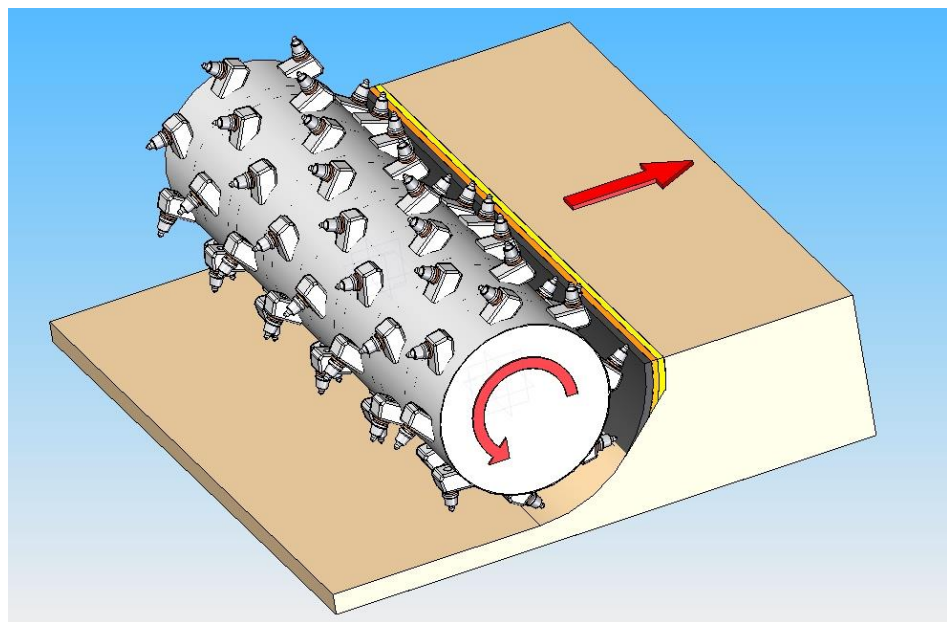


### Tambor fresador

Una clara innovación radica en el sentido de giro del tambor fresador. En Europa, estamos habituados a verlo girar en una recicladora en el mismo sentido que en las fresadoras, si bien, la misión no es la misma en cada caso.

Mientras en las tareas de fresado prima el levantamiento rápido del material a retirar, cuando este va a ser reciclado adquiere gran importancia la gradación del aglomerado recuperado.

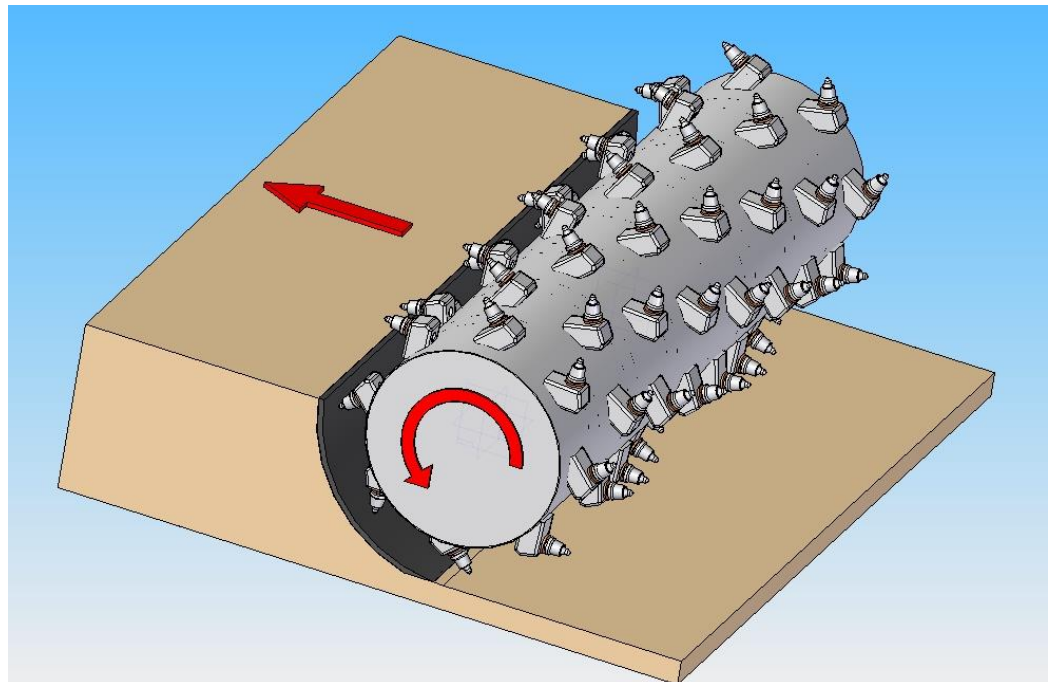
Cuando las picas recorren el frente de ataque de abajo hacia arriba, tienden a levantar el material. Este ofrece una baja resistencia al no estar confinado y posibilita obtener altas producciones de extracción. Este sentido de giro recibe la denominación de *Up-Cutting* y es el apropiado para fresado. Sin embargo, su aplicación al reciclado es muy discutible dado que genera lascas con mucha facilidad cuyo mezclado con el ligante se ve seriamente comprometido.



Fresado convencional o *Up-Cutting*



En las labores de reciclado suelen emplear en Norteamérica el sentido opuesto, conocido como *Down-Cutting*, donde las picas actúan de arriba hacia abajo. Al hallarse el material confinado no hay lugar al desprendimiento de glebas y el aglomerado tiende a desprenderse según la granulometría original. A ello, también contribuye el hecho de que el material arrancado se ve de inmediato forzado a pasar bajo el tambor donde se asegura su desapelmazamiento. La trituración es más efectiva y la envuelta con el ligante es óptima.

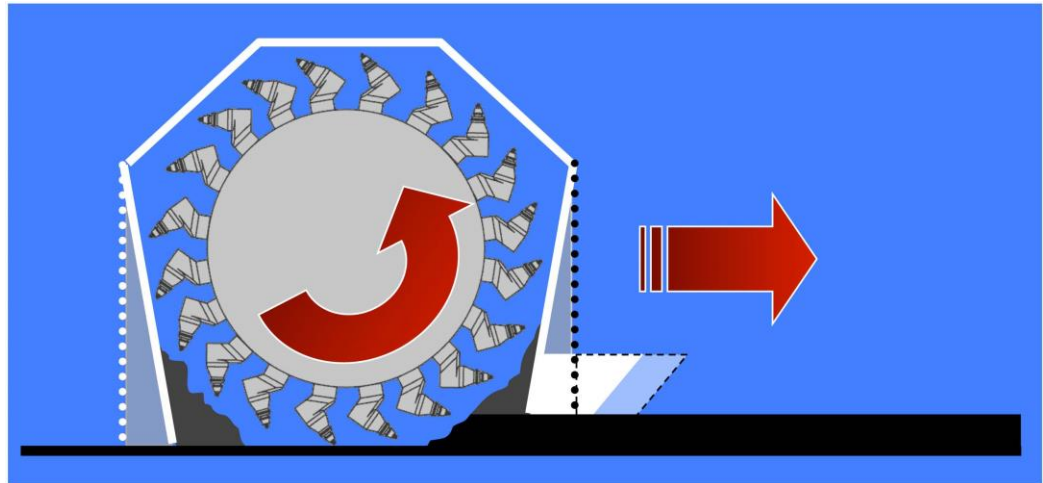


Fresado reciclador o *Down-Cutting*

El fresado reciclador o *Down-Cutting* se emplea en todos los trenes de reciclado simple, donde la fresadora asume la misión de recicladora —obtener una mezcla con una granulometría adecuada y una envuelta homogénea con el ligante—.



Mas allá del sentido de giro del tambor, algunas fresadoras americanas —en concreto las fresadoras ROADTEC, según se ha observado en las asistencias a obra— ofrecen detalles destacables que mejoran aún más la calidad y rentabilidad del proceso de reciclado en frío.

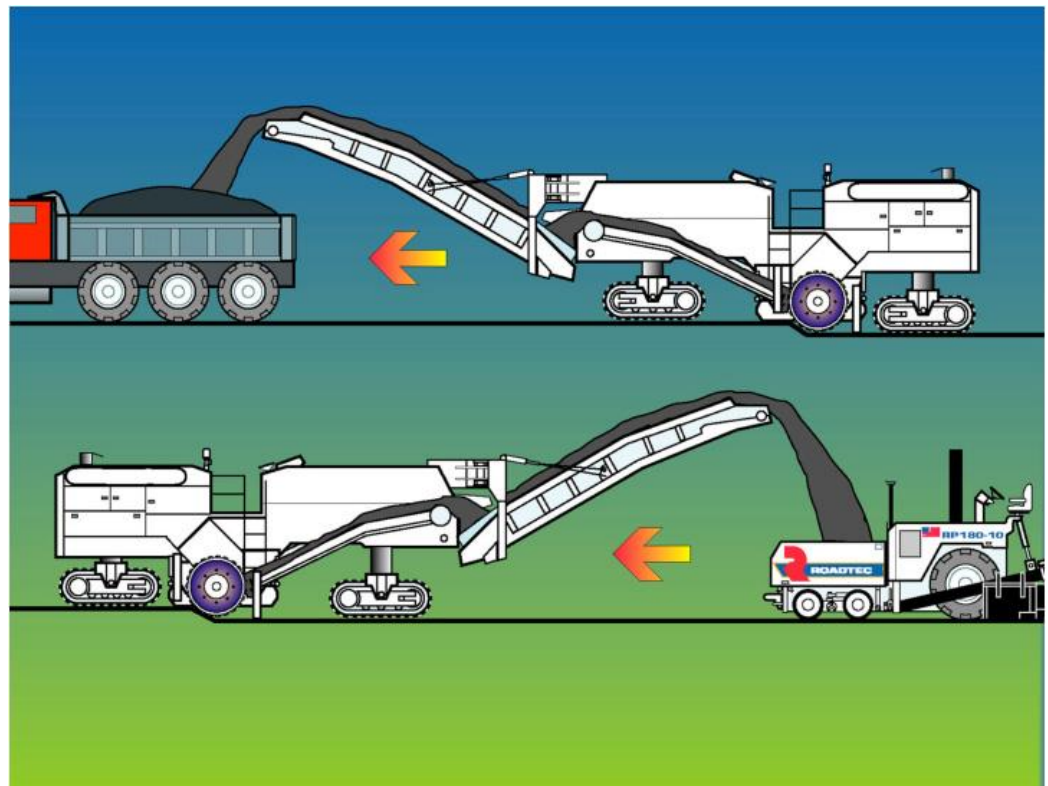


Uno de ellos es la disposición de faldones inclinados en la cámara del tambor. Así, se consigue acortar la distancia entre picas y faldón para una mejor gradación del material. A su vez, se reduce el volumen de material en la cámara proporcionando una mejor envuelta con el ligante y un menor desgaste de material y consumo de combustible.

Los tambores son simétricos. Esto permite disponer del sentido de giro deseado (*Down-Cutting* o *Up-Cutting*) con tan sólo cambiar su posición.



Adicionalmente a lo comentado, este fabricante dispone de un exclusivo sistema de faldones cuyo desplazamiento vertical permite que la fresadora trabaje en ambos sentidos de la marcha. La principal ventaja aportada es disponer de una fresadora con tambor en sentido de giro *Up-Cutting* y descarga frontal de material —ideal para labores de fresado— cuando se opera hacia delante y una fresadora con tambor reciclador (*Down-Cutting*) y descarga trasera para vertido sobre extendedora o RT-500 tan solo invirtiendo el sentido de marcha de la misma.



El desplazamiento de los faldones posibilita la operación en ambos sentidos de la marcha

Otro aspecto interesante es la disponibilidad de tambores de hasta 3,8m de anchura para fresado de una carril completo en autopista, aumentando productividad y planeidad.



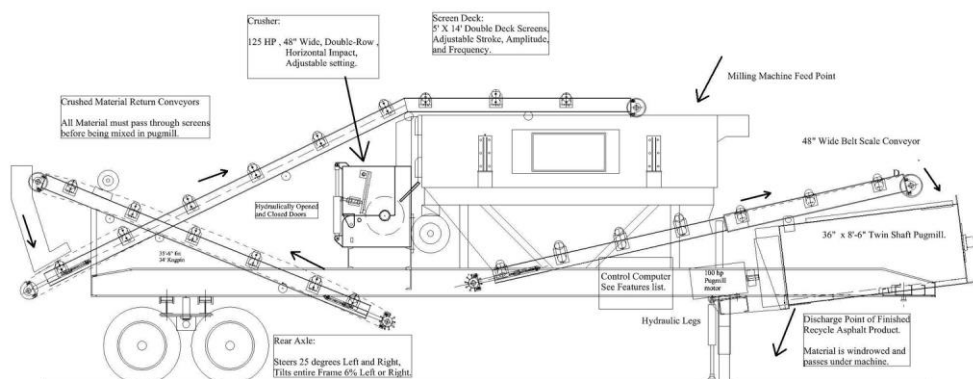


### Unidad de cribado, molido y mezclado RT-500

Montado sobre remolque, esta unidad está compuesta por una tolva receptora con criba de doble malla y un transportador con báscula para dirigir el material hacia el mezclador de doble eje donde se añade el ligante en la proporción adecuada y se efectúa la envuelta del material reciclado. Para ello, dispone de bomba, caudalímetro y microprocesador para control de la dosificación. Una vez mezclado, este se deposita en un cordón sobre la traza en el punto más cercano a la fresadora para reducir la distancia entre el frente abierto y el punto de recogida para entrega a la extendedora.

Aquel material fresado cuyo tamaño no sea adecuado es desviado por las cribas hacia un molino donde se tritura para reducir su dimensión. Un conjunto de transportadores redirige el producto de la molienda hacia las cribas donde se clasificara nuevamente.

### Cold-In-Place Recycle Train



Esta unidad —remolcada por la fresadora— está conectada a la cisterna de aportación de ligante que se sitúa por delante de la fresadora. Su misión es garantizar una granulometría adecuada y una perfecta envuelta.





### Kit para reciclado en frío *in situ* (CIR-Kit)

En los trenes de reciclado simples, la fresadora se dota de todos los elementos precisos para dosificar el ligante en la proporción adecuada, en función del peso o volumen del material fresado.

El CIR-Kit consta de conducciones de agua, emulsión o bien lechada de cemento, barras de inyección con aspersores, los caudalímetros correspondientes, básculas para pesaje del material fresado o sensores para determinación de su volumen —en función de si la aportación de ligante se realiza sobre peso de material o sobre volumen— y microprocesador para introducción de la dosificación deseada y control de la misma.



Inyector de ligante

Microprocesador



Caudalímetro de emulsión



### **Combinaciones de equipos**

Los elementos descritos permiten combinar los diversos equipos disponibles para hacer frente de una manera óptima a cada obra y, siempre, empleando máquinas especializadas para cada actividad y cuya utilidad no se reduce al reciclado de firmes. La rentabilidad de los equipos se ve así potenciada y la competitividad de la tecnología del reciclado en frío resulta claramente beneficiada.

De este modo, pueden configurarse equipos de reciclado para medio carril o carril completo; donde la fresadora —en el caso de trenes simple— deposite el material en el suelo o lo entregue directamente a la extendidora —obviando así la necesidad del recogedor de caballones—; en los que la fresadora actúe como mezclador o donde se disponga de una unidad de cribado, molido y mezclado para optimizar el control sobre el producto final —trenes multietapa—.

Y, para todo ello, se emplean fresadoras cuya amortización no tiene por qué reducirse a las obras de reciclado; unidades de cribado, molido y mezclado que pueden rendir beneficios también en la fabricación de mezclas en frío o suelo-cemento y extendedoras de aglomerado convencionales.



## EXPERIENCIAS EN OBRA

### 1. Estado de Nueva York. Tren de reciclado simple.

En esta obra se empleó:

- Un repartidor de gravilla —se requería una aportación de árido 19-22mm en una proporción del 15% en volumen— que se ensamblaba a la caja de los camiones.
- Cisterna de emulsión de 40m<sup>3</sup> empujada por la fresadora. La emulsión seleccionada era catiónica, al 65%, sin modificar, con adición de rejuvenecedor y la dotación era del 3%.
- Una fresadora ROADTEC RX-900, equipada con CIR-Kit y tambor reciclador (*Down-Cutting*) de 3,5m de anchura y velocidad de giro de 120rpm. La RX-900 operaba marcha adelante y depositaba el cordón de material reciclado en el suelo. La profundidad de corte era de 10cm. Equipo de nivelación con promediación. La producción alcanzada, en el día de visita a obra, fue de 3,1km a un ancho de 3,5m en tan sólo 6 horas y media. El volumen reciclado fue de 108.850m<sup>2</sup>xcm.
- Recogedor de caballones CARLSON BG-650.
- Extendedora TITAN 8820 con sistema de nivelación con promediación. Regla TV, támara a 650g/min y vibración a 1.600rpm.
- Compactador de ruedas vibrante SAKAI de 15T.
- Dos tándem vibrantes Ingersoll-Rand de 13T.



La relación del personal requerido en el equipo de reciclado fue de:

- Fresadora: 1 operador, 1 controlador abajo.
- Extendedora: 1 operador, 2 reglistas y 2 rastrillas.
- Compactación: 1 por máquina.
- Gravilladora: 1 operador (equipo opcional, en caso de aporte de árido)

### Secuencia de la ejecución

#### 1. Reparto del árido de aportación

Mediante la extendedora de gravilla adosada al camión se extiende la capa de grava en la proporción determinada en el proyecto directamente delante de la recicladora ROADTEC RX-900.



El repartidor de gravilla se acopla fácilmente a cada camión proveniente de la cantera.

#### 2. Ensamblaje cisterna y recicladora

Se sitúa la recicladora al inicio de la traza y el camión cisterna ante ella. Mediante una barra de empuje se unen ambos equipos.



Se conecta la conducción de emulsión y se ajusta la dotación en el ordenador.



### 3. Reciclado de la capa deteriorada

La RX-900 fresa los 10cm de capa existente e incorpora el árido de aportación. En la cámara del tambor se realiza la envuelta del material



fresado y el árido virgen con la emulsión. Esta se regula en función de la velocidad de avance de la máquina mediante el ordenador que forma parte del kit de reciclado en frío.

El aspecto del material reciclado muestra una clara uniformidad gracias al sistema de fresado descendente y la exclusiva forma de la cámara de fresado.

La recicladora forma un cordón con el material resultante dejándolo a disposición del recogedor de caballones.



### 4. Extendido

El recogedor de caballones de Carlson se acopla a la extendidora en su parte frontal.

Sobre la extendidora se sitúa una tolva adicional



que le permite regularizar la rasante del firme al disponer de mayor cantidad de mezcla para modificar





el espesor de capa en función de lo que determine el sistema de nivelación.

El empleo de una extendidora convencional para conformar la capa reciclada dota a esta de la mayor calidad alcanzable en cuanto a nivelación y densidades.



#### 5. Compactación

Una vez extendida la capa de material reciclado, se procede a su compactación con los equipos descritos.



La incorporación de vibración en los compactadores neumáticos permite que con una máquina de 15T el efecto de compactación sea análogo al obtenido con un compactador estático de 35T.

Las densidades obtenidas, la regularidad de la rasante y la homogeneidad de la mezcla son considerables.

El aspecto de la capa resultante es totalmente correcto.

Un último riego de sellado y la vía queda lista para su apertura al tráfico.





## 6. República Checa. Tren de reciclado multietapa.

En esta obra se empleó:

- Una cisterna de lechada de cemento, empujada por la fresadora. La aportación de lechada era del 1,5%, la dosificación e inyección la efectuaba el CIR-Kit de la fresadora y el mezclado se realizaba en la cámara del tambor fresador.
- Una fresadora ROADTEC RX-900, con tambor fresador de 2,5m anchura. La fresadora, equipada con el CIR-kit, circulaba marcha atrás con lo que el tambor fresador actuaba como reciclador (*Down-Cutting*) y descargaba a través de la cinta sobre la unidad de cribado y mezclado.
- Una unidad de cribado, molido y mezclado ROADTEC RT-500, remolcada por la fresadora.
- Cisterna de emulsión asfáltica conectada al RT-500 y remolcada por este. El sistema de dosificación del RT-500 se encargaba del control de la adición de emulsión.
- Recogedor de caballones CARLSON.
- Extendedora y dos tándems vibratorios.

El personal requerido fue de 2 operadores en la fresadora, 1 operador, 1 reglista y 2 rastrillas en la extendedora y un operador por cada uno de los tándem vibratorios.

En las imágenes mostradas a continuación puede verse en tren completo, compuesto por:

Cisterna con lechada de cemento, empujada por la fresadora.



Fresadora ROADTEC RX-900, reciclando marcha atrás, mezclando el RAP con la lechada y alimentando el RT-500.





Escorzo del RT-500 en el que se aprecia el cordón de material reciclado que va formando sobre la traza.



Zona del mezclador de paletas de doble eje en el RT-500.



Cisterna para suministro de emulsión conectada con el RT-500.



Recogedor de caballones, extendedora y tren de compactación al fondo.





## CONCLUSIONES

En la presente comunicación se ha expuesto la metodología empleada en Estados Unidos y Canadá —y de manera incipiente en Europa— para reciclar en frío pavimentos asfálticos deteriorados.

Durante la misma se han podido apreciar diferencias sustanciales con los sistemas usados en Europa hasta la actualidad, entre los que consideramos oportuno destacar:

- El empleo de maquinaria especialmente diseñada para cada actividad y reutilizable en sus tareas propias.
- Mejor gradación del material recuperado mediante la aplicación del fresado reciclador (*Down-Cutting*).
- Disposición del reciclado en cordón sobre la traza para su secado y redistribución si las necesidades de regularización lo requieren.
- Doble sistema de nivelación regularizadora aplicados a la fresadora y a la extendedora.

Se consigue así una clara mejora del IRI resultante.

- Control esmerado de la granulometría y homogeneidad de mezcla con el empleo de una unidad de cribado, molido y mezclado en los trenes multietapa. El producto resultante ofrece una calidad asimilable a tratamientos en planta.

Estas cinco ventajas principales han dotado a la técnica del reciclado en frío *in situ* de un mayor rigor y competitividad.

Adoptar sistemas que permitan posicionar las tecnologías ambientalmente eficientes en situación de ventaja competitiva es una cuestión que debemos abordar sin dilación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSTRUCTION INDUSTRY MANUFACTURERS ASSOCIATION,  
*Construction industry cold planer/milling machine handbook*,  
Milwaukee, 1991.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, *Standard  
Specifications Book*, Albany, 2006.

