



**FICHA TÉCNICA
RECICLADO EN FRÍO CON EMULSION**

RECYCLOVIA



INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. NORMATIVA VIGENTE	4
3. CRITERIO DE DISEÑO: ESTUDIO PREVIO	5
3.1. RECONOCIMIENTO DEL FIRME.....	6
3.1.1. INSPECCIÓN VISUAL.....	6
3.1.2. TOMA DE MUESTRAS.....	6
3.2. FÓRMULA DE TRABAJO.....	6
3.2.1. MATERIALES	6
a) PAVIMENTOS A RECICLAR.....	6
b) EMULSIONES BITUMINOSAS.....	7
c) ADITIVOS.....	8
d) AGUA.....	8
3.2.2. DISEÑO DE LA FÓRMULA DE PROYECTO	8
4.1. EQUIPOS ESPECÍFICOS PARA RECICLADO EN FRÍO.....	8
4.2. RECICLADORA DE PAVIMENTOS. WIRTGEN 2200 CR.....	9
4.3. EQUIPOS DE COMPACTACIÓN	10
5. CONTROL DE CALIDAD.....	11
6. CONCLUSIONES	13
7. REFERENCIAS.....	14

1. Introducción

El reciclado en frío con emulsión ha tenido un importante progreso durante las últimas dos décadas gracias a la evolución de la maquinaria a utilizar, el desarrollo que han tenido las emulsiones y la experiencia de empresas que han apostado por este tipo de tecnología desde sus comienzos.

Es de sobra conocida la importancia de la reutilización de los materiales existentes de la carretera. Para rehabilitar un kilómetro de carretera se necesitan entre 7.000 a 10.000 toneladas de áridos y los desechos que generamos fresando el material deteriorado representan un 10 % de los residuos procedentes de la construcción y demolición (RCD), pudiendo alcanzar más de 3 millones de toneladas de materiales al año.

Es una técnica con importantes ahorros económicos gracias a la disminución de los transportes generados por el movimiento de áridos, tanto de los nuevos de aportación como del fresado del material deteriorado y el canon de vertedero correspondiente.

Esto produce una disminución notable de las emisiones de gases de efecto invernadero, reserva nuestras materias primas, reduce las molestias provocadas por el tráfico de obra y evita el deterioro de los tramos adyacentes.

Los aspectos prácticos más interesantes de esta técnica es que podemos rehabilitar un solo carril o incluso los bordes laterales que estén más deteriorados colocando sobre estas zonas en peor estado una base más estable. Se puede evitar elevar la rasante junto a los bordillos o arcenes existentes, bajo los pasos superiores o dentro de los túneles.

Cuando la rehabilitación estructural de una carretera pase por fresado y reposición de la mezcla deteriorada en más de un 25 % de la superficie a tratar, y el posterior extendido de una capa de refuerzo, será muy conveniente estudiar la opción de reciclado in situ con emulsión, porque con los mismos recursos económicos o incluso menos, se puede optar por un tratamiento homogéneo para toda la superficie a rehabilitar.

Sin embargo, tenemos que tener en cuenta que no todos los materiales son susceptibles a ser reciclados. Es fundamental un estudio previo de los materiales e incluso, sería muy conveniente, realizar un tramo de prueba para comprobar la idoneidad del material a ser reutilizado.

El reciclado en frío con emulsión no permite solucionar problemas derivados a una mala calidad de explanada o capas más profundas. Tampoco es fácil solventar las deformaciones plásticas y en ocasiones es necesario aportar un árido como corrector granulométrico. Si el firme a rehabilitar presenta unos tramos demasiados heterogéneos puede ser muy complicado aplicar las distintas fórmulas de trabajo que corresponden con cada tramo.

Teniendo todo esto en cuenta, esta técnica puede ser especialmente adecuada a firmes con capas bituminosas no muy agrietadas pare heterogéneas, como baches y saneos o deformadas, capas despegadas entre ellas, rodaduras degradadas o envejecidas, o capas bituminosas por fatiga.

2. Normativa Vigente

Las secciones tipo de firmes, estaban recogidas en España en la Instrucción 6.1 y 6.2.-IC, de Mayo de 1.989, que lógicamente no recogía la solución del reciclado, opción que tampoco se incluye como sección tipo en las vigentes Instrucciones 6.1-IC, secciones de firme y capas estructurales de firmes y 6.3-IC, rehabilitación de firmes, del Ministerio de Fomento.

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento publica el capítulo nº 20 del Pliego General de Prescripciones Técnicas PG-4 O.C. 8/2001 de 28 de Diciembre, relacionados con el reciclado de firmes con emulsión.

El PG4 sólo considera reciclado in situ con emulsión cuando el espesor de la capa reciclada es el 90 % es mezcla con ligantes hidrocarbonatos. Esta norma diferencia dos tipos de reciclado según el huso que debe encontrarse la curva granulométrica de las partículas del material a reciclar.

La Junta de Andalucía en “La instrucción para el diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía” diferencia dos tipos de reciclado según aquellos tratamientos que afecten única y fundamentalmente a capas bituminosas o aquellos otros que se realicen sobre capas granulares con recubrimientos bituminosos de pequeño espesor. Lo más destacable de esta instrucción es que permite se utilización para tráfico T0.

La Junta de Castilla y León en la actualización de las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos” plantean tres tipos de reciclado con emulsión:

- Tipo I: Mayoría de material no es bituminoso
- Tipo II: Más del 50% del material es bituminoso
- Tipo III: Todo el material es bituminoso.

Resumiendo todas las normativas el resultado podría ser el siguiente:

RECICLADO EN FRÍO CON EMULSIÓN				
		TIPO I	TIPO II	TIPO III
Material reciclado del firme existente		Capa bituminosa (< 4/5 cm) + base granular	Capa bituminosa (5-10 cm) + base no bituminosa (>50% "negro")	Mezclas Bituminosas
Emulsión (60% B. Res.)	Tipo	Emulsión de betún blando (80/100 ó 150/200)	Emulsión de betún blando o regenerante	Emulsión de betún blando o regenerante
	Dotación	(4-7%)	(3-5%)	(2,5-4%)
Objetivo		Mejorar las características mecánicas o geométricas del firme	Idem tipo I y, regeneración del ligante existente	Reciclado y regeneración del ligante existente

La mayor experiencia que existe en España se centra en los reciclados en los que mayoritariamente se tratan firmes tratados con materiales bituminosos.

El dimensionamiento en el caso de los reciclados in situ con emulsión es siempre complejo ya que la composición del firme a tratar en toda la extensión del tramo suele ser poco homogénea.

La tendencia más habitual es acudir a catálogos de secciones que, en función del tráfico esperado, la aplicación de los coeficientes de equivalencia y el nivel de deflexiones existentes, determinan el espesor de las capas que van a integrar la sección seleccionada.

Cuando se recurre a secciones tipo, las principales consideraciones que se tienen en cuenta son las siguientes:

- ✓ Asignar un coeficiente de equivalencia al material reciclado respecto a una mezcla en caliente.
- ✓ Para tráfico T1 el material reciclado se debe recrecer con al menos 8 centímetros de mezclas bituminosas.
- ✓ Para tráfico de categoría inferior a T1 se requiere la aplicación de una mezcla bituminosa densa o semidensa.
- ✓ Para tráfico T4 la experiencia demuestra que la aplicación de slurry o riegos con gravilla sobre el reciclado es una solución con suficiente durabilidad.

Para el dimensionamiento correcto del firme, tanto por métodos de secciones tipo como por otros métodos analíticos, es necesario disponer de datos de deflexiones del firme. Otra información muy valiosa es conocer la sección real del firme, ya que a partir de unos datos dados de deflexiones dependiendo del tipo de base y explanada los análisis de sensibilidad pueden dar resultados muy dispares.

3. Criterio de diseño: Estudio previo

Una vez que se ha determinado que la mejor opción de rehabilitación es un reciclado en frío con emulsión es conveniente conocer:

- ✓ Periodo de proyecto
- ✓ Tráfico
- ✓ Historial del firme a reciclar
- ✓ Geometría actual y futura de la vía
- ✓ Posible aportación de materiales
- ✓ Nivel de propiedades funcionales esperado
- ✓ Presupuesto para la ejecución de los trabajos y la posterior conservación
- ✓ Comportamiento del pavimento actual
- ✓ Capa o capas a situar sobre el reciclado
- ✓ Disponibilidad de materiales y equipos
- ✓ Época en la que se ejecutarán los trabajos



3.1. Reconocimiento del firme

3.1.1. Inspección visual

Se necesita llevar a cabo una inspección visual del pavimento existente, por parte de personas expertas, tomando nota de lo siguiente:

- Tipo, gravedad y tramificación de los deterioros, distinguiendo entre los superficiales, los estructurales localizados y los estructurales generalizados
- Zonas localizadas con deterioros importantes, que pueden necesitar un tratamiento específico.
- Problemas relacionados con la presencia de bordillos, arquetas, obras de fábrica, estructuras y accesos.
- Problemas relacionados con el drenaje.
- Trazado de la vía y relieve del terreno.
- Zona donde se puedan estacionar los equipos de construcción.



3.1.2. Toma de muestras

La fase de toma de muestras es crítica, no sólo desde el punto de vista del reconocimiento de la sección del firme a reciclar sino como paso previo para establecer la estrategia de tramificaciones más adecuada para la ejecución de las obras. Además la caracterización de estos materiales nos adentra en la etapa siguiente, el diseño de la fórmula de trabajo.

Se trata de una campaña de extracción de testigos, de realización de calicatas o de obtención de material fresado en zonas representativas del firme degradado, según los criterios establecidos anteriormente.

3.2. Fórmula de trabajo

3.2.1. Materiales

a) Pavimento a reciclar

Las muestras obtenidas se ensayan en laboratorio a fin de definir las características de los materiales a reciclar en cuanto a granulometría del fresado, contenido de betún y características

del mismo. Es crítico obtener muestras representativas del pavimento a reciclar, tanto en homogeneidad de los materiales como en similitud respecto al tamaño de fresado obtenido durante el proceso de reciclado.



b) Emulsión bituminosa

Los requerimientos básicos que ha de presentar una emulsión para el reciclado en frío son los siguientes:

- La emulsión debe ser compatible con la naturaleza y la granulometría de los materiales que se van a reciclar.
- La estabilidad de la emulsión debe permitir antes de la rotura un reparto lo más homogéneo posible del betún residual en la masa de dichos materiales.
- La toma de cohesión y las propiedades mecánicas finales de la mezcla deben ser las adecuadas para el tráfico durante la fase de ejecución y las solicitaciones finales del firme.

Las emulsiones que se utilizan en los reciclados son catiónicas y de rotura lenta, para, entre otros motivos, permitir la manejabilidad de la mezcla hasta el momento de la compactación.

La dotación mínima de ligante residual no debe de ser inferior al 3 % en masa sobre el total del árido combinado seco debido principalmente a garantizar la cohesión inicial de la mezcla. Se debe controlar su resistencia en el ensayo de inmersión – compresión según el tipo de reciclado y la categoría de tráfico pesado.

Tipo de reciclado	Categoría del Tráfico Pesado	Valores mínimos		
		Resistencia en Seco (Mpa)	Resistencia tras inmersión (Mpa)	Resistencia conservada (%)
RFE-III	T1 (sólo capas de base) – T2 y (*)	3	2,5	75
	T3 - T4 y arcenes	2,5	2	70
RFE-II > 75% "negro"	T2 y (*)	3	2,5	75
	T3 - T4 y arcenes	2,5	2	70
RFE-II < 75% "negro" Y RFE-I	T3 - T4 y arcenes	2,5	2	70
	Caminos agrícolas y asimilados	0,9	0,7	50

c) Aditivos

Para mejorar la cohesión inicial de la mezcla es muy común el uso de cemento en pequeñas cantidades. El papel que desempeña el cemento es triple: modifica bruscamente el pH de la fase acuosa, provocando el inicio de la rotura de la emulsión y facilitando la toma de cohesión inicial, añade un material con alta capacidad de absorción de agua, reduciendo la consistencia final de la mezcla y obteniendo altas resistencias conservadas, y mejora la susceptibilidad a la acción del agua.

d) Agua

El contenido de agua total se obtiene de la suma de los porcentajes de contenido de humedad natural de los áridos, de agua emulsionante y de agua de aportación para lograr una correcta envuelta árido – ligante, y que vendrá determinado por la fórmula de trabajo.

3.2.2. Diseño de la fórmula de proyecto

La fórmula de proyecto es la indicación básica para el Director de la Obra. La determinación de la fórmula de proyecto es la consecuencia de los ensayos realizados en el laboratorio, y las exigencias propias del trabajo a realizar. Para la determinación de la fórmula de proyecto es fundamental que los materiales sean lo más representativos posibles no sólo respecto de su procedencia sino también del proceso de fresado al que van a ser sometidos. Para conocer con exactitud qué efecto va a tener el fresado en las características de los materiales sobre los que va a actuar (disgregación de los que presenten cohesión, degradación de los materiales, etc.), es muy conveniente, antes de iniciar la rehabilitación propiamente dicha, realizar unos tramos de prueba con el equipo que se vaya a utilizar finalmente.

4. Puesta en obra – Equipos

La realización de un reciclado en frío con emulsión supone la ejecución de un conjunto de operaciones en cadena, existen equipos específicos que pueden realizar prácticamente todas las operaciones en una única pasada.

De forma elemental la ejecución de un reciclado en frío con emulsión se desglosa en las siguientes operaciones:

- Mezclado del material machacado con emulsión y otros elementos: árido, agua y aditivo.
- Extensión del material mezclado
- Compactación
- Tratamientos de protección
- Apertura al tráfico

4.1. Equipos específicos para el reciclado en frío.

El reciclado en frío se puede llevar a cabo en principio con equipos muy diversos. Para cada una de las fases del proceso hay una o varias máquinas de uso múltiple a las que cabe recurrir. Sin embargo, existen unos equipos específicos, cada vez mejor adaptados, que realizan las operaciones en una sola pasada.

4.2. Recicladora de pavimentos. Wirtgen 2200 CR

La Wirtgen 2200 CR es una máquina de gran rendimiento que integran en una sola pasada las funciones de fresado, mezclado y extendido de la mezcla reciclada. Al realizarse estas operaciones dentro de la cámara de fresado y de mezcla se reduce considerablemente el ruido y la contaminación atmosférica.

Por contar con regla de extendido permite llevar a cabo trabajos de gran calidad en lo que a regularidad y homogeneidad del material reciclado extendido se refiere.

Tiene un motor de más de 800 CV de potencia, que le permite trabajar con espesores prácticos hasta 22 cm. en un ancho de 2,20 metros.

De acuerdo a la normativa en vigor los espesores recomendados para reciclar están en el rango 6-12 cm. Desde un punto de vista práctico los espesores pequeños se han mostrado más críticos en las obras, aunque a priori parecen más sencillos debido a su teórica mayor facilidad de compactación. La razón de estos problemas radica en el tamaño especialmente grueso de los fresados realizados en firmes muy fisurados.

La experiencia obtenida nos indica que los mejores resultados se alcanzan al reciclar en el rango 8-12 cm.

Esta máquina cuenta entre otras, con las siguientes prestaciones:

- ✓ Regulación automática de potencia
- ✓ Instalación combinada de rociado con agua y ligante con equipo de dosificación asistido por microprocesador, que regula mediante una bomba volumétrica la cantidad de agua y ligante a utilizar en función del ancho y profundidad del fresado.
- ✓ Sistema electrónico de nivelación longitudinal y sensor electrónico de nivelación transversal
- ✓ Dispositivo regulable para el extendido del material reciclado entre 2 y 3 m con equipo de vibración y compactación.



Dependiendo del tipo de reciclado, se utiliza una de estas tres configuraciones de trabajo para la Wirtgen 2200 CR:

- Cisterna de emulsión + W-2200 CR + Compactador metálico + Compactador de neumáticos.
- Esparcidor de pulverulentos + W-2200 CR + Compactador metálico + Compactador de neumáticos.
- WM1000 + W-2200 CR + Compactador metálico + Compactador de neumáticos.

En todos los casos, se puede aportar el agua mediante una cuba conectada mediante mangueras a la máquina al frente del tren de reciclado, o llenando esporádicamente el depósito de 4.000 litros de la misma.

4.3. Equipos de compactación

La compactación se trata de una operación siempre delicada, especialmente si el espesor es grande. La humedad del material extendido no siempre coincide con la óptima de compactación: si fuera excesiva puede que haya que esperar algún tiempo a que se seque el material. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, debido a la menor densidad del material una vez reciclado y al aumento de material por la emulsión, la superficie del material compactado va a quedar por encima de la rasante original, del orden de un 10 % del espesor reciclado.

Debido a la dificultad práctica de obtener muestras del pavimento representativas de las granulometrías que se pueden obtener durante la obra, el valor de referencia para la densidad que se indica en la Orden Circular 8/2001 puede ser, en muchos casos, difícil de cumplir.

Por esta razón, la ejecución de un tramo de prueba es especialmente crítico para determinar un plan de compactación adecuado.

El tren de compactación habitual de una capa reciclada suele estar formada por:

- Un rodillo vibratorio pesado, el cual hace que el material extendido termine por encajarse en el hueco abierto por el fresado.
- Un rodillo de neumáticos también pesado que, con baja presión de inflado, compacta el fondo de la capa reciclada y, con alta presión, ayuda a la eliminación del agua y cierra la superficie.



La empresa Trabit posee los equipos más modernos para la ejecución de las técnicas de reciclado, entre ellos, la compactadora inteligente ASPHALT MANAGER II, que controla los valores de energía del tambor y muestra el valor de rigidez EVIB en tiempo real. Los objetivos de planeidad y densidad se obtienen mediante los modos manual y automático, al mismo tiempo que se minimiza el número de pasadas y se evita aplastar el reciclado. Un sencillo menú en el panel de operación del compactador permite al operario controlar la instalación de forma fácil y eficaz.

5. Control de calidad

Como en otras técnicas, y en el reciclado en frío con emulsión aún más si cabe, es fundamental la realización de un tramo de prueba en el que se analicen y definan todos los parámetros que afectan a la puesta en obra. Se busca definir:

- ✓ La **velocidad de trabajo** del equipo y granulometría de referencia. La base para ello estará en el análisis de la granulometría obtenida con distintas velocidades. Se establecerá la granulometría de referencia sobre la base de la que se ha empleado para el diseño de la fórmula de trabajo y servirá para el control posterior. La velocidad a la que se obtenga será una referencia relativa porque a lo largo de la obra podrán variar las condiciones de figuración del firme a reciclar.
- ✓ La **densidad de referencia** y el número de pasadas de los compactadores. Para ello se compararán las densidades obtenidas en el tramo de prueba con distintos niveles de compactación con la obtenida en probetas fabricadas por el método de Proctor Modificado. Se entenderá que la densidad alcanzada con el equipo de compactación disponible es suficiente cuando se alcance el valor del 97 % del P.M. en todo el espesor de la capa. En caso de no alcanzarse este valor deberán modificarse las condiciones de compactación, bien en lo que se refiere al contenido de fluidos, bien en el equipo de compactación empleado.

Puesto que las densidades de las fórmulas de trabajo están muy influenciadas por la granulometría, la mejor forma de garantizar la compactación adecuada es optimizar la compactación en el tramo de prueba, utilizando equipos adecuados. El valor de densidad del tramo de prueba se puede utilizar como referencia en el resto de la obra si las verificaciones de las granulometrías del fresado no muestran variaciones significativas.

Actualmente existen compactadores con sistemas de medición y regularización automáticas. Poseen un sensor de aceleración de la virola delantera que mide el efecto de alternancia entre la capa ejecutada y la masa vibrante a medida que la compactación va en aumento y lo controla mediante un circuito rápido de regularización. Para ello tiene lugar una adaptación automática de la fuerza de compactación en función de la resistencia de la capa que se vaya a compactar. Un dispositivo central de mando y de indicación muestra continuamente al conductor de los rodillos la rigidez dinámica de la capa y, con ello, el avance de compactación. Además proporciona información sobre la temperatura de la superficie, la velocidad de marcha, la frecuencia de excitación y la amplitud de actuación.

- ✓ La **humedad** del sistema juega un papel fundamental en el proceso. Es necesario que exista una cierta proporción de humedad para obtener una buena envuelta y un cierto contenido de fluidos, agua y emulsión, para optimizar la compactación. Sin embargo, la adquisición de las características finales se produce tras el periodo de maduración que, en esencia, es un proceso de expulsión de agua del sistema. Por ello es imprescindible

estudiar y controlar la proporción de agua en el reciclado controlando la humedad de forma sistemática. Los aspectos que pueden modificar el contenido óptimo de humedad definido en la fórmula de trabajo son las variaciones de temperatura del pavimento y las manipulaciones que reciba el material hasta la compactación.

- ✓ Resulta obvio que la correcta **dosificación de la emulsión** así como el control de sus características (en particular el contenido y tipo de ligante residual) resulta fundamentales para garantizar el éxito del reciclado. Hay que señalar en lo que respecta al control, la conveniencia de conocer, no tanto las características del ligante residual obtenido en el ensayo de destilación, como las del realmente empleado en la fabricación de la emulsión.
- ✓ A nivel ejecución de obra el aspecto más importante de la emulsión será el relativo a la velocidad de rotura (UNE-EN 13075-1). La **estabilidad de la emulsión** en relación con el material deberá ser suficiente para garantizar una buena envuelta pero, de la misma manera que un exceso de humedad es negativo, un exceso de estabilidad de la emulsión tendrá efectos retardadores en la maduración. Incluso podrían darse problemas de lavado del material y peladuras si se produjesen precipitaciones en los primeros momentos tras la puesta en obra. Así pues, la estabilidad de la emulsión, como la humedad, tiene su punto idóneo que es en función de las características del material y de las condiciones ambientales.
- ✓ Las **juntas de trabajo** constituyen un punto delicado de los reciclados en frío con emulsión. Como norma general se tratará de evitar las juntas limitando las paradas de los equipos y trabajando en el mayor de los anchos posible. En las juntas que sea inevitable realizar se tomarán las siguientes medidas:
 - En las juntas longitudinales se solaparán las pasadas en una anchura de aproximadamente el doble de la profundidad de trabajo
 - En las juntas transversales se reiniciará la operación actuando sobre la zona ya tratada, pero no se empezará a incorporar emulsión y agua hasta que se penetre en la zona aún no fresada. Esto requiere una cierta pericia por parte de los operarios y en ocasiones se pueden producir zonas con exceso de emulsión que deben retirarse y reponerse.
- ✓ Con la **compactación** del reciclado se buscan tres objetivos. Uno es el de compacidad, como cualquier otro material. Otro es el de completar el proceso de rotura de la emulsión que, si ha sido diseñada correctamente, debe encontrarse en la fase de coalescencia. Con la compactación se producen los contactos entre partículas que provocan la expulsión del agua del sistema hacia los huecos dejando que el betún se deposite definitivamente sobre las partículas minerales. Por último dejar la superficie lo más cerrada posible al objeto que pueda soportar mejor el paso directo del tráfico y para ello es muy recomendable mantener circulando el (los) compactador(es) de neumáticos sobre el material reciclado el mayor tiempo posible.

La compacidad que se alcanza inicialmente en las operaciones de reciclado de mezclas asfálticas suele ser relativamente baja: en torno al 82-90 %. Estos valores pueden parecer bajos pero no lo son tanto si se tiene en cuenta que la estructura granulométrica real del material fresado (la que se obtiene sin eliminar el betún) contiene muy pocos finos y que la densidad del material de partida no es la de un árido convencional sino menor por la

presencia del betún. Lo que sí se ha comprobado es que estos niveles de compacidad resultan satisfactorios a la vista del comportamiento posterior.

✓ El momento de **apertura al tráfico** y la conveniencia de aplicar un tratamiento de protección son dos aspectos de la ejecución del reciclado que casi siempre crean incertidumbre en el responsable de la obra. Como principios generales hay que señalar la conveniencia de prolongar lo más posible tanto el tiempo de apertura al tráfico, como el tiempo en que el reciclado se encuentra sin protección. La idea es maximizar la compactación, especialmente con neumáticos, y acelerar todo lo posible la maduración. Sin embargo, no siempre se dan las circunstancias que nos permitan alargar dichos espacios de tiempo. En la mayor parte de las ocasiones la apertura al tráfico se debe realizar con rapidez. Esto no representa una inconveniencia grave a condición de que se restablezca la circulación de forma controlada, limitando la velocidad y evitando una canalización excesiva. Serán los vehículos los que realicen el efecto del compactador.

✓ El **tratamiento de protección**, no siempre necesario, prolonga el periodo de maduración por lo que se ejecutará solamente cuando sean de temer precipitaciones intensas, que perjudicarían aún más la maduración, o cuando el tráfico produzca peladuras o erosiones. En este último caso puede pensarse en la realización de un tratamiento de protección parcial, es decir, en aquellas zonas más sensibles a los deterioros (curvas, cruces, zonas con segregaciones, etc.). En caso de ser imprescindible algún tipo de protección se aplicará un tratamiento de sellado con arena.

✓ Por último queda la decisión sobre el momento de proceder a la cubrición del material reciclado con la(s) capa(s) prevista(s). Como ya se ha indicado conviene mantener el material reciclado sin cubrir tiempo suficiente para alcanzar un grado de maduración adecuado. Este grado de maduración puede estimarse en base a dos criterios:

- ❖ Posibilidad de extracción de testigos. Si pueden extraerse en todo el espesor, se entiende que la mezcla ya tiene un nivel de maduración suficiente.
- ❖ Control de la humedad del material. Cuando la humedad alcanza valores próximos al 1%, se entiende que la mezcla ya tiene un nivel de maduración suficiente.

Como resumen, los aspectos a los que se debe prestar especial atención, son:

- ✓ Velocidad de avance y espesor de fresado
- ✓ Granulometría del material fresado sin extracción, especialmente tamaño máximo.
- ✓ Dosificación de ligante y humedad del material reciclado.
- ✓ Resistencia mecánica: inmersión-compresión.
- ✓ Densidad y espesor del material compactado.
- ✓ Regularización superficial.

6. Conclusiones

El reciclado en frío con emulsión es una alternativa inteligente, frente al fresado y reposición convencional.

Se trata de una técnica sostenible de rehabilitación de firmes degradados, que con una sola pasada de máquina recicladora se consigue fresar el material deteriorado, su mezclado y homogeneización con emulsión y agua, y finalmente, su extendido y precompactación.

El empleo de esta tecnología favorece el ahorro de costes derivados de la ejecución de obra, la eco-eficacia energética, el medioambiente y la seguridad.

Esta técnica ha tenido un importante progreso durante la última década gracias a la evolución de la maquinaria a utilizar, al desarrollo de las emulsiones y a la experiencia de las empresas que han apostado por este tipo de tecnología desde sus comienzos.

Trabit ha depositado su confianza en las técnicas de reciclado in situ desde hace más de 10 años, unido a la fusión con la empresa Probisa, pionera en los reciclados en frío con emulsión, somos una empresa referente en España en los reciclados de firmes en general.

Poseemos la experiencia necesaria para poder darle el mejor asesoramiento y solución ante el problema que se encuentre en cada momento, con un importante equipo técnico y con la maquinaria propia necesaria y personal cualificado para poder atender a cualquiera de sus necesidades.

7. Referencias

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras. PG4. Ministerio de Fomento
- Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León, actualizada en Abril de 2004
- Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía (O.C. 1/99)
- Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados in situ en frío. Miguel Ángel del Val, Sandro Rocci. (Probisa 1998)
- Guía Reciclado en frío con emulsión. ATEB por José Antonio Soto y José Luis Peña.
- D. José Luis Peña “Reciclado in situ en frío con emulsión – Panorámica de la Técnica”