

Reciclado de Pavimentos

POR EL COMITÉ TÉCNICO DE FIRMES FLEXIBLES DE LA ATC.

I. Justificación de su empleo

El reciclado de los firmes constituye actualmente una técnica con rango propio, que se utiliza ya con cierta asiduidad y que, gracias a las importantes ventajas que puede ofrecer, ha de ser valorada como una alternativa siempre que se estudie una rehabilitación estructural de cierta entidad.

Las razones que pueden hacer aconsejable reciclar los firmes son de índole técnica, económica y, especialmente, medioambientales.

En este último aspecto, hay que tener en cuenta la aprobación de la Ley 19/98 sobre Residuos, que transpone la Directiva 91/156 de la Unión Europea, y que obligará también a España a asumir unos compromisos concretos en es-

ta materia antes del año 2000, del mismo modo que ya lo han hecho la mayoría de los países.

ta materia antes del año 2000, del mismo modo que ya lo han hecho la mayoría de los países.



El reciclado de firmes constituye una técnica con rango propio.

como podemos ver en la figura 1.

Desde el punto de vista medioambiental, el planteamiento idóneo en la gestión de los recursos naturales queda resumido muy gráficamente a través del concepto de "La Escalera", acuñado por unos expertos de la OCDE (figura 2).

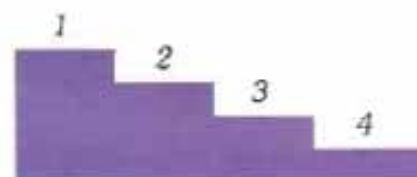


Figura 2: Concepto de la escalera.

1.- Debe hacerse un uso duradero de los recursos, proyectando los firmes con una vida útil lo más larga posible.

2.- Cuando se agota la vida

OBJETIVOS



Australia

Reducir el transporte a vertedero en un 50% para el año 2000.



Bélgica

Reciclar el 70% de los residuos de materiales de construcción y reducir su vertido al 30%.



Dinamarca

Reducir un 60% los residuos procedentes de demoliciones y obras.



Francia

Reducir el vertido tradicional a cero para el año 2002.



Japón

Aumentar la reutilización de un 42% a un 80% para antes del año 2000.



P. Bajos

Reutilizar el 90% de los materiales procedentes de la construcción y de demoliciones para el año 2000.



Reino Unido

Doblar la utilización de material reciclado en un plazo de 15 años.

Figura 1: Políticas en otros países.

útil, se debe reciclar los materiales, formando capas de iguales características que las originales, evitando, por ejemplo, la pérdida de valor que supone emplear, en las capas intermedias, los áridos y betunes de máxima calidad destinados habitualmente a las de rodadura.

3.- Si ello no fuera posible, se deben emplear los materiales reciclados en las capas inferiores, con una menor exigencia de calidad.

4.- Sólo en última instancia se procederá al transporte a vertedero, lo cual constituye la práctica medioambiental menos responsable.

Por tanto, en aplicación del concepto anterior, cuando un firme agota su vida útil, la actuación más conveniente consistiría en el fresado del firme envejecido; su transporte a una central en caliente; la reconstrucción de una mezcla lo más parecida posible a la anterior, mediante la adición de un árido virgen, unos productos rejuvenecedores y el ligante necesario; y la puesta en obra de nuevo en su lugar de procedencia.

Actualmente ya es posible conseguir unas tasas de material reciclado muy altas, superiores al 50% del total de la mezcla final, gracias al empleo de centrales de tambor-secador-mezclador, que evitan el contacto directo del betún con la llama y no deterioran sus propiedades aglomerantes.

II. Selección de la técnica de reciclado

Sin embargo, siendo realistas, al elegir la manera de reciclar un firme, hay que sopesar otros factores de capital importancia, como son la disponibilidad tecnológica, el consumo energético, la emisión de gases contaminantes en el proceso de fabricación de la mez-

Ya es posible conseguir unas tasas de material reciclado muy altas, superiores al 50% del total de la mezcla final

cla (especialmente tóxicos si las capas que se reciclan contienen alquitrán), las molestias al usuario y, por supuesto, el coste; los cuales pueden acabar inclinando la balanza a favor de otras técnicas de reciclado más sencillas, como son las técnicas en frío *in situ* con emulsión o cemento.

En cualquier caso, la elección entre reciclado en frío, reciclado en caliente o rehabilitación convencional debe hacerse tras un conocimiento exhaustivo del firme y su entorno, pudiendo seguirse para ello los pasos establecidos en la "Guía para el estudio de las deflexiones", que figura como Anejo 1 a la Orden Circular 323/97 T, sobre "Recomendaciones para el proyecto de rehabilitación estructural de firmes con pavimento bituminoso".

En función del espesor y la profundidad de la zona del firme que presente los daños más

significativos, se pueden tener en cuenta los siguientes criterios para la elección del tipo reciclado:

A) Para deterioros superficiales, entre 2 y 8 cm de espesor, consistentes en fallos del perfil longitudinal o transversal, envejecimiento ostensible del betún de la rodadura, fallos de formulación, falta de adhesividad, despegue de la capa de rodadura, microfisuración, etc., se pueden emplear **técnicas de reciclado en caliente *in situ***, basadas en el empleo de paneles radiantes, tales como:

- El **termorreperfilado**, que consiste en el calentamiento, fresado, remezclado y compactado de los dos o tres centímetros superiores del firme.

- La **termorregeneración**, que permite tratar entre tres y cinco centímetros de la superficie del firme, los cuales se ca-



La termorregeneración permite tratar entre tres y cinco centímetros de la superficie del firme.

lientan y se fresan previamente a la extensión de una nueva capa bituminosa delgada, de dos o tres centímetros de espesor, formando con ella una nueva capa de rodadura que se compacta conjuntamente.

- El **termorremezclado**, que se distingue de las técnicas anteriores por un mayor espesor del tratamiento, de 4 a 8 cm, y la adición de nuevos áridos, ligante, y rejuvenecedor en su caso, antes de la compactación.

B) Si el fallo afecta a las capas superiores del firme y se dan las siguientes condiciones:

- La deflexión patrón es mayor que la establecida en la tabla 2 de la O.C. 323/97 para admitir la existencia de un fallo estructural en el firme (ver figura 3).

TIPO DE FIRME	TRÁFICO PESADO	DEFLEXIÓN PATRÓN (centésimas de milímetro)
FLEXIBLE Y SEMIFLEXIBLE	T0	40
	T1	60
	T2	80
	T3	125
	T4	*150 **200
SEMIRRÍGIDO	T0 y T1	35
	T2 y T3	50
	T4	75

* Firmes con espesor de pavimento bituminoso ≥ 5 cm.

** Firmes con pavimento bituminoso inferior a 5 cm.

Figura 3: Umbrales de agotamiento estructural del firme.

- Simultáneamente, dicha deflexión es menor que la fijada por la tabla 3 de la Orden Circular (figura 4), con lo cual se puede considerar que el fallo estructural no afecta a la explanada.

- Hay una proporción importante de zonas cuarteadas, en torno al 15% o más de la superficie total (que, en todo caso, habría que sanear previamente a cualquier tipo de refuerzo).

- Y son abundantes las zonas de fisuración, tanto por fa-

TIPO DE FIRME	TRÁFICO PESADO	DEFLEXIÓN PATRÓN (centésimas de milímetro)
FLEXIBLE Y SEMIFLEXIBLE	T0	125
	T1	150
	T2	200
	T3	250
	T4	300
SEMIRRÍGIDO	T0 y T1	100
	T2 y T3	150
	T4	200

Figura 4: Umbrales de afección a la explanada.

tiga como por retracción.

En tales casos, se puede abordar la reparación del firme mediante un **reciclado en frío con emulsión**, entre 6 y 14 cm de espesor, y el refuerzo posterior con mezclas bituminosas, cuyo espesor total se habrá reducido con respecto al refuerzo teórico convencional.

frío con emulsión, por si solo, no constituye una solución completa de rehabilitación del firme, ya que, después del reciclado, resulta imprescindible completar esta actuación con la extensión de, al menos, una capa de mezclas bituminosas en caliente por los siguientes motivos:

- Porque la capa reciclada está compuesta por unos áridos deteriorados en el proceso de fresado, y no tiene la cohesión suficiente para resistir las tensiones provocadas por la acción directa del tráfico.

- Por la necesidad de disponer de una capa resistente durante el proceso de curado de la capa reciclada.

- Para aumentar la capacidad portante en mayor medida de lo que puede alcanzarse con un simple reciclado.

- Y, por último, en múltiples ocasiones, para dar cumplimiento a lo especificado en la Orden Circular 323 sobre los espesores mínimos de las mezclas bituminosas.

Sin embargo, no hay que confiar la regularidad superficial del firme rehabilitado a un recrecimiento posterior con mezclas bituminosas, ya que se debe exigir a la capa reciclada una buena terminación geométrica, lo cual se puede conseguir con el empleo de unas máquinas recicladoras que incorporen una regla de extensión.

También cabe destacar, en

calculado según la Orden Circular 323, para tener en cuenta la aportación estructural de la capa reciclada.

Por el contrario, se considera que, si no se observa una degradación superficial del firme, no hay necesidad de saneo de una parte significativa de él; y si de la aplicación de la Orden Circular 323 no se deduce la necesidad de un refuerzo superior a 15 cm, no resulta conveniente la aplicación de esta técnica.

No obstante, hay que tener en cuenta que el reciclado en

los reciclados en frío con emulsión, el efecto beneficioso que se puede obtener con la adición de otros conglomerantes. Por ejemplo, con el empleo de entre un 1 y un 2% de cal en la mezcla reciclada, según su tipo, granulometría y plasticidad, en el caso de que se incluyan en el tratamiento capas granulares, se consigue aumentar la adhesividad árido-ligante, mejorar las características del betón, reducir la susceptibilidad del material reciclado a la humedad, facilitar su compactación y, por último, acelerar el proceso de maduración y adquisición de resistencia de la capa reciclada.

A continuación se incluye un cuadro resumen con las principales características del reciclado con adición de emulsión, (ver figura 5).



La foto muestra los trabajos de reciclado mixto in situ con emulsión.

• Emulsión ECL-2	2,0 - 5,0 %
• Agua de envuelta	2,0 - 4,0 %
• Dotación de cal, cemento	1,0 - 2,0 %
• Espesor de tratamiento	12 cm
• Tiempo de curado antes de extender el refuerzo	15 días

Figura 5. Principales características del reciclado con adición de emulsión.

C) Si la zona dañada supera claramente los 12 cm de espesor, los espesores de refuerzo convencional son muy elevados, y se precisa una aportación estructural superior; o bien, si hay un problema de plasticidad y susceptibilidad al agua de los materiales granulares que se desean corregir, resulta más interesante el **reciclado en frío con cemento**, en una profundidad variable entre 20 y 35 cm.

No obstante, y al igual que ocurre con la emulsión, tampoco el reciclado en frío con cemento constituye por sí solo una solución completa de rehabilitación; ya que, para evi-

tar el remonte de las fisuras de retracción, resulta también necesaria la extensión de al menos dos capas de mezcla bituminosa en caliente, cuyo espesor total (que no será inferior a 8 cm) se calculará analíticamente, al igual que en el caso anterior, teniendo en cuenta la aportación estructural de la capa reciclada y los espesores mínimos de las mezclas bituminosas para cada categoría de tráfico según la citada Orden Circular 323.

Por otra parte, con respecto al diseño de la fórmula de trabajo de un reciclado en frío con cemento hay que tener en cuenta que se debe tratar de

conseguir un material de características similares a las de un suelocemento, en lugar de buscar unas resistencias mayores, a costa de incrementar la dotación de cemento, ya que ello se traduciría con el tiempo en los problemas de retracción antes citados.

Además de las opciones anteriores, y para cualquier profundidad de tratamiento siempre hay que evaluar la posibilidad económica de un reciclado en caliente en central si la obra se encuentra en las cercanías de unas instalaciones apropiadas; e incluso el empleo de una central móvil en caliente, del tipo tambor-secador-mezclador, que evita el contacto directo del material fresado con la llama, y el recalentamiento innecesario de dicho material; ya que estos sistemas de reciclado tienen la ventaja de permitir cualquier espesor de tratamiento, y se encuentran solamente sujetos a las limitaciones que imponen un envejecimiento excesivo del be-

tún, la presencia de alquitrán en las mezclas que se reciclan, el que se hayan efectuado tratamientos reiterativos con lechadas bituminosas, y por supuesto, las de tipo económico.

A continuación, se incluye un cuadro resumen con las principales características del reciclado con adición de cemento, (ver figura 6).

• Tipo de cemento:	preferiblemente tipo II-35
• Dotación de cemento:	> 4,0 - 5,0%
• Espesor del tratamiento:	hasta 40 cm

Figura 6- Principales características del reciclado con adición de cemento.

III. Proyectos de reciclado

El proyecto de una obra de reciclado debe hacerse con una gran minuciosidad, ya que todas las ventajas potenciales del reciclado pueden desaparecer si no se proyecta adecuadamente; e incluso pueden llegar a darse efectos contraproducentes, tales como el debilitamiento de la sección estructural, unas perturbaciones graves al usuario y a la seguridad de la circulación y, por supuesto, unos incrementos innecesarios en el coste de la obra.

Para el proyecto de una rehabilitación con reciclado debe recopilarse toda la información histórica del firme: datos de construcción, ensanches, reformas, tipo de los refuerzos, categoría de tráfico, datos de auscultaciones e inspecciones realizadas con anterioridad, etc.

Posteriormente, debe realizarse una toma de muestras, cuya intensidad estará en función de la heterogeneidad del firme en el tramo de estudio, aunque debe incluir como mínimo un testigo cada 50 m, con el fin de determinar con

claridad el tipo y los espesores de las distintas capas del firme.

Seguidamente, se efectuará una auscultación estructural, con deflectómetros de impacto, que, si bien aportan menos datos de la carretera en el sentido longitudinal, y tienen un menor rendimiento que los deflectógrafos tipo Lacroix o el Curviámetro, ofrecen a cambio

una mayor información del firme en todo su espesor, muy útil para establecer su patología, a través del análisis de los cuencos de deflexión, según podemos ver en las figuras 7 y 8.

Y, por último, se realizará una inspección visual detallada, con lo que se completan los conocimientos necesarios para establecer una división de la obra en tramos homogéneos, cuya longitud estará comprendida entre 200 y 1000 m, según la O. C. 323, y en los cuales la deflexión se encontrará entre 0,5 veces la deflexión media del tramo y 1,5 veces dicho valor.

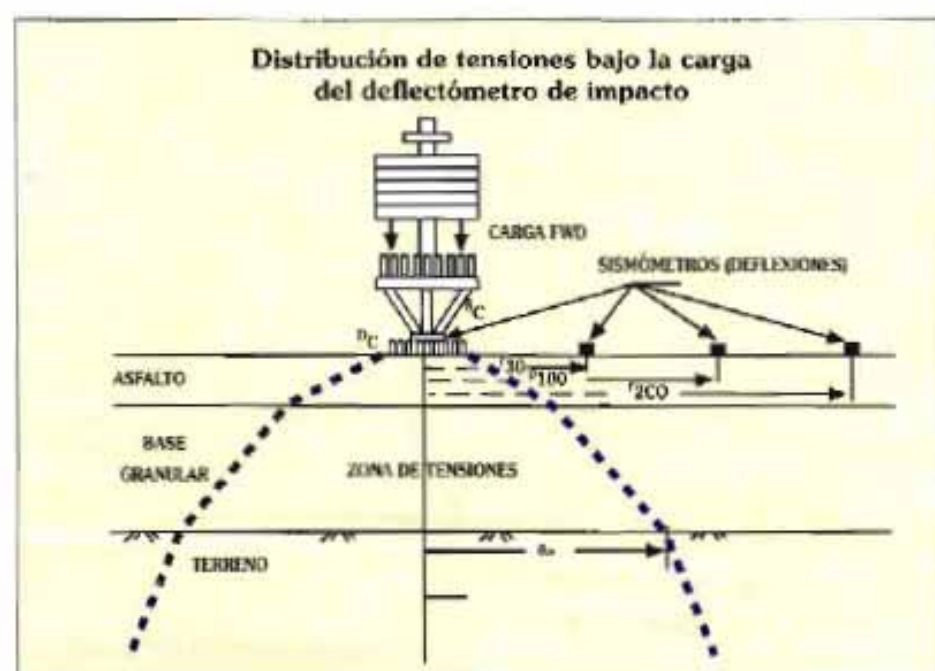


Figura 7: Distribución de tensiones bajo la carga del deflectómetro del impacto.

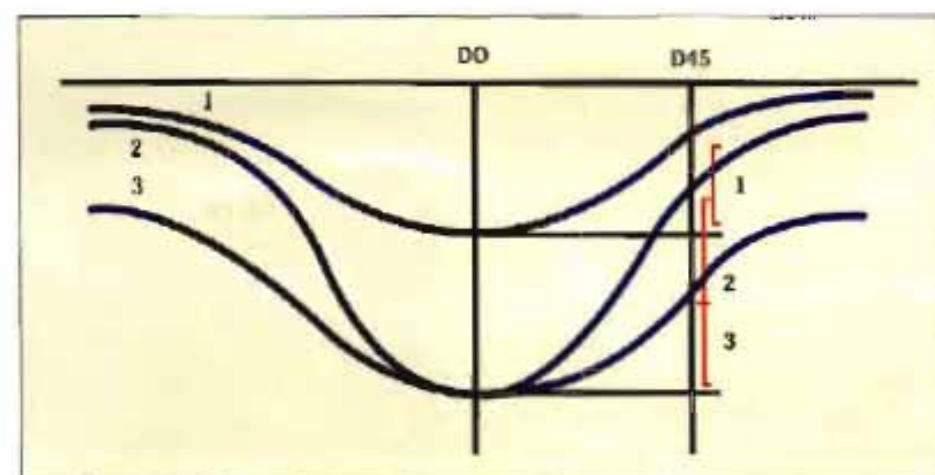


Figura 8: Ejemplos de tres cuencos de deflexiones

En una segunda etapa, se realizará un cálculo inverso del firme, partiendo de los espesores, tipo y estado de sus distintas capas y los correspondientes valores del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, con lo que se obtendrá una deflexión de cálculo que dará validez a las hipótesis de partida, si es similar a la deflexión medida, o bien obligará a reconsiderar los valores del módulo de elasticidad asignados a cada capa hasta que se obtengan resultados compatibles con los datos de la auscultación.

Una vez conocidas las características del firme, y teniendo en cuenta los criterios para la compatibilización de las medidas de la deflexión con la inspección visual y el tipo de sección estructural, recogidos en la O. C. 323, se realizará un diagnóstico sobre el estado del firme y las causas de las degradaciones observadas, que deberá ser compatible con la información recopilada, y que servirá de base para la elección del sistema de reciclado más adecuado.

Las características resistentes de la mezcla reciclada se pueden estimar por diversos procedimientos; bien a través de métodos numéricos similares al propugnado por la compañía Shell; bien como un porcentaje (alrededor de un 75%) del valor inicial de la mezcla que se va a reciclar; o, quizás, más acertadamente, realizando ensayos específicos directamente sobre el material extraído de la carretera que se va a reciclar, y triturado de una manera similar a la que producirá el sistema de reciclado elegido.

Los ensayos que se deben realizar son los siguientes:

1. Ensayos para estudio preliminar del material fresado.

- **Análisis granulométrico**

aparente del material disgregado (NLT-150/84).

Contenido de humedad (NLT-359/98). En algunos casos concretos (p.ej. mezclas abiertas, condiciones climáticas específicas, etc.), será necesario conocer la humedad del material para realizar las correcciones necesarias en el agua de aporte en la definición de la fórmula de trabajo.

• **Contenido de ligante en las mezclas bituminosas** (NLT-164/90).

• **Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas bituminosas** (NLT-165/90), por el que se establecerá la necesidad de aportar material.

2.- Ensayos para estudio de las características de los materiales constituyentes del material fresado.

2.1. Áridos.

En el caso de mezclas muy antiguas, fatigadas, o cuando el aspecto de los áridos así lo aconseje, se realizarán los siguientes ensayos para determinar su calidad, forma y suciedad, y definir si es necesario la aportación de unos materiales correctores.

• **Índice de lajas** (NLT-354/91).

• **Caras de fractura** (NLT-358/90).

• **Resistencia al desgaste por medio de la máquina Los Angeles** (NLT-149/91).

• **Equivalente de arena** (NLT-113/72).

2.2. Betón.

En todos los casos será necesario conocer las características del ligante bituminoso existente en la mezcla mediante los siguientes ensayos:

• **Recuperación del ligante de las mezclas bituminosas para su caracterización** (NLT-353/85).

• **Penetración del material bituminoso recuperado** (NLT-124/84).

• **Punto de reblandamiento del material bituminoso** (NLT-125/84).

• **Índice de penetración** (NLT-181/88).

• **Fraccionamiento del betón recuperado** (NLT-373/94).

Con este ensayo se determina la composición química del betón y se puede establecer la conveniencia de adicionar unos agentes rejuvenecedores. En caso afirmativo, se deberá realizar un nuevo fraccionamiento con el ligante compuesto por el betón con-



Reciclado en caliente in situ en la N-525, de Benavente a Santiago, tramo Cruce de Mombuey a Padornelo.

tenido en el material que se va a reciclar, el betún residual obtenido por destilación de la emulsión y el agente rejuvenecedor, en las proporciones que se vayan a emplear.

3. Ensayos para caracterización de la emulsión bituminosa.

- Carga de partículas de las emulsiones bituminosas (NLT-194/84).
- Agua en las emulsiones bituminosas (NLT-137/84).
- Viscosidad Saybolt de las emulsiones bituminosas (NLT-138/84).
- Residuo por destilación de las emulsiones bituminosas (NLT-139/84).
- Estabilidad de las emulsiones bituminosas (método de la mezcla con cemento) (NLT-144/88).

4. Ensayos para definición de la fórmula de trabajo.

- Apisonado Proctor modificado (NLT-108/98). Mediante este procedimiento se determinará el contenido óptimo de los fluidos para obtener la máxima densidad.
- Envuelta de áridos con las emulsiones bituminosas (NLT-145/72). Aunque la aplicación de este ensayo es para evaluar el comportamiento de las emulsiones frente a unos áridos de referencia, se considera un procedimiento adecuado para determinar, de visu, la calidad de la mezcla obtenida con el material que se vaya a tratar.
- Resistencia a la compresión simple de las mezclas bituminosas (NLT-161/98).
- Densidad y huecos de las mezclas bituminosas compactadas (NLT-168/90).
- Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (NLT-162/84).
- Medida de los módulos dinámicos de los materiales para carreteras (NLT-349/90).

Las principales dificultades que hay que superar en las obras de reciclado suelen ser el conseguir un material totalmente homogéneo y con una buena regularidad superficial



Se deben emplear unas máquinas de potencia suficiente para garantizar la mezcla uniforme del material fresaado y los aditivos en todo el espesor de la capa reciclada, y hacer que dichas máquinas tengan una regla de extensión.

Con dichos ensayos se fijará la fórmula de trabajo, buscando básicamente una elevada resistencia tras inmersión, siempre superior a 5000 Mpa, y una resistencia conservada superior al 75%.

La fórmula de trabajo definirá específicamente:

- Densidad de la mezcla reciclada.
- Agua de envuelta.
- % de ligante o ligantes, y sus características.
- % de agente rejuvenecedor en su caso.

Posteriormente, se medirá en el laboratorio, mediante el ensayo NLT-349/90, el módulo dinámico de la mezcla obtenida con dicha fórmula de trabajo.

Por último, partiendo de la sección antigua, pero modificada con la capa reciclada, se efectuará un nuevo cálculo inverso del firme, empleando el

módulo dinámico obtenido en laboratorio; y se obtendrá, en cada caso concreto, el espesor de refuerzo necesario para conseguir un firme estructuralmente correcto, según las tablas 4 y 5 de la Orden Circular 323.

De este modo, se habrá proyectado una rehabilitación estructural en la que la aportación mecánica de la capa reciclada se traduce en una reducción controlada del refuerzo posterior, y en la cual resulta más fácil el análisis de los resultados de las obras posteriores, por tratarse de un proceso objetivo y generalizable para todo tipo de firmes y condiciones de tráfico.

IV. Maquinaria

Las principales dificultades que hay que superar en las obras de reciclado suelen ser el

TIPO	POTENCIA	ESPESOR RECICLADO	ANCHURA MÁXIMA	REGLA DE EXTENSIÓN	SISTEMA DOSIF. LECHADA	TRACCIÓN
WIRTGEN 2100 DCR	650 CV	Hasta 20 cm	2,0 m	Si	Acoplable VM 400	Orugas
WIRTGEN 2500 VR	670 CV	Hasta 59 cm	2,4 m	No	Acoplable VM 400	Neumáticos
CATERPILLAR	300 CV	Hasta 25 cm	2,4 m	No	Acoplable	Neumáticos

Figura 9: Principales características de las máquinas recicladoras.

conseguir un material totalmente homogéneo y con una buena regularidad superficial. Por dicha razón, se deben emplear unas máquinas de potencia suficiente para garantizar la mezcla uniforme del material fresado y los aditivos en todo el espesor de la capa reciclada, y hacer que dichas máquinas tengan una regla de extensión.

Igualmente, se considera deseable que las recicladoras incorporen sistemas de dosificación de cemento (o cal, en su caso), en forma de lechada que pueda inyectarse directamente a la cámara de reciclado, en lugar de esparcir dichos conglomerantes sobre el firme, ya que ello produce pérdidas de material y fallos en el control de su dosificación.

Teniendo en cuenta que el ancho máximo del tratamiento completo, con las máquinas más potentes, resulta ser de 2,43 m y ello no permite, evidentemente, tratar ni siquiera un carril con una sola pasada, debe establecerse un solape mínimo en función del espesor de la capa reciclada; y siempre que sea posible, debe trabajarse con dos recicladoras en paralelo.

Otro problema que hay que resolver en las actuaciones de reciclado es el esponjamiento del material, que se suele producir como resultado de una pérdida de densidad de la capa reciclada con respecto a la capa original, que puede ser del orden de un 10% de la densidad inicial.

Por esta razón, conviene disponer en obra de unos medios de compactación muy enérgicos, similares a los de un tren de compactación formado por un rodillo metálico de 15 t; un rodillo neumático de 35 t; y, finalmente, un rodillo metálico para el acabado superficial de 18 t.

Por último, en la figura 9, se efectúa un resumen descriptivo de las principales características de las máquinas recicladoras más empleadas.

V. Control durante la obra

Durante la ejecución de los trabajos suele ser habitual realizar las siguientes comprobaciones:

- *Control de los espesores.*
- *Contenido de humedad (NLT-359/98).*
- *Contenido de ligante en las mezclas bituminosas (NLT-164/90).*
- *Análisis granulométrico de los áridos recuperados de la mezcla bituminosa (NLT-165/90).*
- *Toma de muestras testigos en pavimentos (NLT-314/92).*
- *Medición de la densidad in situ mediante el círculo de arena.*

No obstante, según la experiencia aportada por los miembros del Comité Nacional de Firmes Flexibles, el problema fundamental que se presenta

durante la ejecución de las obras, por encima del control geométrico y de los contenidos de ligante y aditivos, es el de alcanzar la densidad fijada en la fórmula de trabajo, pese a usar unos medios de compactación tan enérgicos como los descritos en el apartado anterior.

Ello parece deberse a que la densidad de referencia en la fórmula de trabajo suele ser la que corresponde al ensayo de inmersión - compresión, en el que la muestra se compacta con una energía muy superior a la que proporcionan los medios de compactación de obra; y además, se realiza, en dicho ensayo, una extracción de agua que tampoco tiene lugar en la realidad.

Por ello resulta aconsejable efectuar un tramo de prueba en la propia carretera, en el que además de poner a punto los equipos, se deberán tomar muestras del material reciclado *in situ*, con las que realizar el ensayo Proctor Modificado, que aportarán una densidad de referencia que sí será exigible, al 98%, en la fórmula de trabajo. ■

Nota. Este trabajo ha sido redactado por D. Ángel García Garay, con comentarios y aportaciones de diversos miembros del Comité Técnico de Firmes Flexibles de la ATC, particularmente de D. Arturo Llorca, así como de otros expertos en la materia como D. Ramón Tomás y D. Alberto Bardesi, a quienes el autor desea agradecer sinceramente su colaboración. El trabajo fue examinado por el citado Comité Técnico en su reunión de junio de 1999 y autorizada su difusión como trabajo del Comité.