

## ORDEN CIRCULAR 8/2001 SOBRE RECICLADO DE FIRMES

El reciclado de firmes existentes comprende una serie de técnicas constructivas tendentes al aprovechamiento integral de materiales envejecidos de firmes y pavimentos que desde la crisis energética de los años setenta vienen empleándose cada vez con más profusión en la rehabilitación estructural de los firmes de carretera. En el caso de los realizados *in situ* se ha producido en la última década un significativo desarrollo en los equipos y en los sistemas constructivos empleados en su ejecución, con máquinas específicas para esa labor, que han permitido a su vez el desarrollo y potenciación de estas técnicas.

Tanto las obras realizadas en los últimos diez años y la experiencia adquirida en ellas, como la necesidad de considerar las técnicas de reciclado como alternativas, por consideraciones ambientales, de seguridad vial y económicas, en los proyectos de rehabilitación de firmes aconsejan la redacción de unas especificaciones sobre las técnicas de reciclado de firmes.

El anejo de esta Orden Circular hace referencia a las tres técnicas más idóneas en el momento actual para la situación (tipología de las secciones estructurales y sus deterioros) existente en los firmes y pavimentos en nuestro país. Las técnicas aludidas son: el reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas, el reciclado *in situ* con cemento de capas de firme y el reciclado en central en caliente de capas bituminosas, desarrollándose para cada uno de estos tipos de reciclado un artículo específico de prescripciones técnicas generales.

Estos artículos son los tres primeros del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4), con los cuales se inicia su redacción.

Los artículos 29, 40 y 51 del Reglamento General de Carreteras, aprobado por el Real Decreto 1812/1994, de 2 de septiembre, modificado por los Reales Decretos 1911/1997, de 19 de diciembre; 597/1999, de 16 de abril, y 114/2001, de 9 de febrero, facultan al Ministro de Fomento, a propuesta de la Dirección General de Carreteras, para aprobar las normas e instrucciones a las que deban sujetarse los estudios, los trabajos y obras de construcción y los trabajos y obras de explotación de las carreteras estatales.

No obstante, resulta inexcusable el cumplimiento del procedimiento de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas establecido en la Directiva 98/34/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio, y en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, proceso que, aunque ya iniciado, consumirá algún tiempo.

Por todo lo indicado, mientras que los artículos en fase de aprobación del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4), que incluyen a los que se refiere esta Orden Circular, superan la tramitación en el ámbito europeo y son aprobados por el Ministro de Fomento y debido a la urgencia de contar con unas prescripciones técnicas para el proyecto y la ejecución del reciclado de firmes, cuya redacción ha sido suficientemente difundida y contrastada, la Dirección General de Carreteras ha dispuesto lo siguiente:

1. Serán de aplicación en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares para obras de conservación de carreteras, los artículos:

– Artículo 20. Reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas.

– Artículo 21. Reciclado *in situ* con cemento de capas firme.

– Artículo 22. Reciclado en central en caliente de capas bituminosas.

que se recogen como anejo a esta Orden Circular.

2. Por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en las actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a 70 000 m<sup>2</sup>, se deberán tener en cuenta, en el análisis de soluciones para el proyecto de rehabilitación del firme, las técnicas de reciclado con las limitaciones y prescripciones indicadas en los puntos 3 y 4.

3. Los criterios de aplicación de las técnicas de reciclado de firmes serán los siguientes:

– En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 no se podrán utilizar en ningún caso materiales reciclados.

– En carreteras con categoría de tráfico pesado T0 no se podrán utilizar en ningún caso las técnicas de reciclado *in situ* en frío (con emulsión bituminosa o con cemento). Únicamente se podrán emplear mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en el recrecimiento de arcenes, siempre que sobre ellas se disponga posteriormente como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 10 cm.

– En carreteras con categoría de tráfico pesado T1 se podrán utilizar las mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en los mismos supuestos indicados para la categoría de tráfico pesado T0, considerando, en este caso, que sobre las capas de reposición con mezclas bituminosas recicladas en central se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 6 cm. Además podrán emplearse mezclas bituminosas recicladas *in situ* con emulsión bituminosa en arcenes cuando sobre este material se disponga, como mínimo, una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 8 cm.

– Para carreteras con categorías de tráfico pesado T2 a T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas, podrán utilizarse todas las técnicas de reciclado indicadas, así como el reciclado *in situ* con cemento, con la condición de disponer sobre cualquiera de ellas, como mínimo, una capa de mezcla bituminosa en caliente del tipo densa (D) o semidensa (S).

4. El dimensionamiento de las secciones de firme con materiales reciclados se realizará mediante un estudio especial en el que se incluya la identificación más completa posible del material a reutilizar. Se determinará la ley de fatiga del producto resultante y, en su defecto, se efectuará la evaluación de los espesores necesarios de acuerdo con la Orden Circular 323/97T, o la que próximamente la sustituya, adoptando como simplificación los coeficientes de equivalencia recogidos en la tabla I.

TABLA I

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE (Tipos D, S y G)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	—
RECICLADO EN CENTRAL EN CALIENTE DE CAPAS BITUMINOSAS <sup>(1)</sup>	0,8 a 1	Ley específica	Espesores entre 6 y 15 cm
RECICLADO <i>IN SITU</i> CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS <sup>(2)</sup>	0,75	Ley específica	Espesores entre 6 y 12 cm
RECICLADO <i>IN SITU</i> CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME	Material semejante al suelocemento		Espesores entre 20 y 30 <sup>(3)</sup> cm

<sup>(1)</sup> Fabricación en central (su coeficiente de equivalencia dependerá de la proporción de material reciclado utilizado).

<sup>(2)</sup> Material reciclado 100% mezcla bituminosa.

<sup>(3)</sup> Este valor se podrá subir a 35 siempre y cuando el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique sistemas constructivos que garanticen una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.

5. El ámbito de aplicación de la presente Orden Circular y de su anejo se circunscribe a los siguientes tipos de proyectos y obras y de actuaciones en general:

- Proyectos de rehabilitación de firmes de carreteras, cuya Orden de Estudio se autorice, o se encuentre en fase de redacción, con posterioridad a la fecha de entrada en vigor de esta Orden Circular.
- En el caso de obras en fase de licitación o adjudicadas, se elevará consulta a las Subdirecciones Generales de Construcción o de Conservación y Explotación de esta Dirección General, según corres-

ponda, acerca de la conveniencia de proceder a modificar el proyecto o el contrato para adecuarlo a lo previsto en esta Orden Circular.

6. La presente Orden Circular entrará en vigor a partir del día 18 de enero de dos mil dos.

Madrid, 27 de diciembre de 2001  
El Director General de Carreteras

ANTONIO J. ALONSO BURGOS

Este documento, reedición de 2003, recoge el texto íntegro de la orden Circular 8/2001 sobre reciclado de firmes, en la que exclusivamente se han cambiado las referencias normativas que inciden en ella, tales como la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes, la Norma 6.1 IC Secciones de firme, así como la denominación de los artículos del PG-3 sobre unidades de obra referentes a firmes y pavimentos.

ANEJO DE LA ORDEN CIRCULAR 8/2001

---

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES  
PARA OBRAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS(PG-4)

## Í N D I C E

---

20.	RECICLADO <i>IN SITU</i> CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS	9
21.	RECICLADO <i>IN SITU</i> CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME	19
22.	RECICLADO EN CENTRAL EN CALIENTE DE CAPAS BITUMINOSAS	31

## RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS

### 20.1 DEFINICIÓN

Se define como reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un firme existente en un espesor comprendido entre seis (6) y doce centímetros (12 cm), emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos. Todo el proceso de ejecución de esta unidad de obra se realizará a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar.

A efectos de aplicación de este artículo el material definido en el párrafo anterior sólo se considerará válido cuando el noventa por ciento (90%) o más del espesor de las capas a reciclar sean mezclas con ligantes hidrocarbonados.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Estudio previo de los materiales.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo para cada tramo de características distintas.
- Fresado de la parte de firme a reciclar.
- Incorporación de emulsión, agua y aditivos.
- Mezcla y extensión.
- Compactación de la mezcla bituminosa reciclada.
- Curado y, en su caso, ejecución de un riego de protección.

### 20.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE; en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso además a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

#### 20.2.1 Emulsión bituminosa

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los tipos de emulsión bituminosa a emplear; que, salvo justificación en contrario, cumplirán las prescripciones del artículo 213 o del artículo 216 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

El tipo de emulsión bituminosa a emplear será alguno de los siguientes: ECL-2, ECL-2b y ECL-2-m.

En caso de utilizar emulsiones con adiciones para controlar la rotura o mejorar sus propiedades, no incluidas en EL artículo 213 o 216 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), éstas no deberán contener fluidificantes, y el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir; tanto la emulsión bituminosa y su ligante residual, como la unidad de obra terminada.

#### 20.2.2 Material que se vaya a reciclar

##### 20.2.2.1 Características generales

El material que se vaya a reciclar estará constituido por un conjunto de partículas pétreas, recubiertas o no por ligante hidrocarbonado envejecido, resultantes del fresado de la parte del firme existente en la profundidad establecida.

El Director de las Obras, de acuerdo con las características y el estado de las capas del firme, determinará si existen zonas en las que no deba utilizarse el material existente. En tal caso los materiales se retirarán y transportarán a un lugar autorizado y se sustituirán por un material aprobado por el Director de las Obras, que podrá ser material fresado procedente de localizaciones distintas a la que se esté reciclando.

Se prohíbe expresamente reciclar el material procedente de pavimentos con deformaciones plásticas.

##### 20.2.2.2 Granulometría

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el huso en que debe encontrarse la curva granulométrica de las partículas del material a reciclar que será uno de los indicados en la tabla 20.1. El análisis granulométrico se realizará según la UNE-EN 933-1.

Salvo justificación en contrario, el huso RE1 será de utilización para aplicaciones con espesores superiores a diez centímetros (10 cm) y el huso RE2 para espesores comprendidos entre seis (6) y diez centímetros (10 cm).

#### 20.2.3 Agua

El agua cumplirá las prescripciones del artículo 280 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 20.2.4 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los aditivos que puedan utilizarse para controlar la rotura de la emulsión o mejorar las

TABLA 20.1.- HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE RECICLADO	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,063
RE1	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	2-20	0-10	0-3
RE2	-	100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	2-20	0-10	0-3

características de la mezcla, los cuales deberán ser especificados en la fórmula de trabajo y aprobados por el Director de las Obras.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá la proporción adecuada de aditivos que se vayan a emplear y el método empleado para su incorporación, así como las especificaciones que deben cumplir, tanto dichos aditivos como la mezcla resultante.

Solamente se autorizará el uso de aditivos cuyas características y especialmente su comportamiento y efectos sobre la mezcla al emplearlos en las proporciones previstas vengan garantizados por el fabricante; siendo obligatorio realizar ensayos previos para comprobar que cumplen su función con los materiales y dosificaciones previstos en la fórmula de trabajo.

### 20.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo y composición de la mezcla bituminosa reciclada, cuya granulometría, contenido de ligante y resistencia a compresión simple antes y después de la inmersión en agua, así como resistencia conservada, deberán cumplir lo indicado en este apartado.

Para cada caso, la granulometría del material que se vaya a reciclar estará comprendida dentro de alguno de los husos indicados en la tabla 20.1 y, además, deberá cumplirse que el tamaño máximo nominal (primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa) del material a reciclar sea inferior a un tercio del espesor del reciclado.

El ligante hidrocarbonado residual añadido será como mínimo el uno y medio por ciento (1,5%), de la masa total en seco del material que se vaya a reciclar.

Los valores de los resultados del ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-I62, deberán ser como mínimo los indicados en la tabla 20.2, en función de la categoría de tráfico pesado. Todas las probetas, se curarán durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50 °C).

En caso necesario, se podrán utilizar, en una proporción máxima del uno por ciento (1%) de la masa total del material que se vaya a reciclar en seco, productos mejoradores de la resistencia conservada, entre otros:

- Cal, que cumplirá las especificaciones del artículo 200 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- Cemento, que cumplirá las especificaciones del artículo 202 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

### 20.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se podrá utilizar en la ejecución del reciclado ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras después de la ejecución del tramo de prueba.

Para la ejecución del reciclado *in situ* con emulsión se deberán emplear equipos mecánicos. Éstos podrán ser equipos independientes que realicen por separado las operaciones de fresado, dosificación y distribución de la emulsión y del agua, mezcla, extensión y compactación, o bien equipos que realicen dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

Salvo justificación en contrario, para las carreteras con categoría de tráfico pesado T1 o T2 o cuando la superficie a tratar sea superior a los setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>) será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de fresado, de dosificación y de distribución de la emulsión, de mezcla y de extensión.

El equipo de fresado, compuesto por una o más máquinas fresadoras, con anchura mínima de medio carril y dotadas de rotor de fresado de eje horizontal, deberá ser capaz de fresar el firme existente en la profundidad y anchura especificadas, produciendo un material homogéneo con la granulometría requerida en una sola pasada y deberá hacerlo a una velocidad constante adecuada. Las fresadoras estarán dotadas de un dispositivo de control automático que asegure el espesor especificado. Además estarán provistas de un dispositivo que evite el levantamiento en bloques del material.

El equipo de dosificación de la emulsión bituminosa y del agua y los aditivos, se compondrá de depósitos, bombas de caudal variable y difusores adecuadamente dispuestos, con control automático programable de dosificación, que permita realizar las dosificaciones de la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado que se vaya a reciclar, y según la velocidad de avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en este artículo.

El mezclador deberá garantizar una mezcla homogénea y uniforme en toda la anchura y profundidad del reciclado. La mezcla podrá realizarse mediante una mezcladora independiente o bien en las propias máquinas fresadoras aprovechando la energía del rotor de fresado, en cuyo caso el sistema de dosificación deberá ir incorporado al elemento de fresado.

Se dispondrán los medios y la mano de obra necesarios para que las zonas entre franjas de reciclado cumplan todas las condiciones de dosificación, compactación y regularidad superficial especificadas en este artículo.

El suministro de la emulsión y del agua a la unidad de mezcla se realizará desde cubas o depósitos móviles, de modo que no se produzcan paradas de los elementos de mezcla y extensión del material reciclado.

Para la extensión se deberá disponer de un distribuidor que evite la segregación del material mezclado y realice una extensión y precompactación homogéneas y con el perfil deseado, mediante una maestra de extensión con dispositivos de nivelación automáticos.

TABLA 20.2.– VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIAS EN INMERSIÓN-COMPRESIÓN (NLT-I62)

CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO	EN SECO (MPa)	TRAS INMERSIÓN (MPa)	CONSERVADA (%)
T1 (sólo capas de base) y T2 y (*)	3	2,5	75
T3, T4 y arcenes	2,5	2	70

(\*) Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

### 20.4.1 Equipo de compactación

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario.

La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo por un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos.

El compactador vibratorio dispondrá de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newton por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar al menos ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

Los rodillos metálicos de los compactadores vibratorios no presentarán surcos ni irregularidades y tendrán dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha. Los compactadores de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras con las de las traseras.

El Director de las Obras aprobará el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que serán las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea del reciclado en todo su espesor, sin producir roturas del material ni arrollamientos.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se vaya a realizar.

## 20.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

### 20.5.1 Estudios previos de los materiales

#### 20.5.1.1 Estudios previos de la emulsión

Sobre la muestra de cada tipo de emulsión propuesto, que vendrá acompañada de los documentos exigidos en el artículo 213 o 216 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), se realizarán los ensayos de identificación que especifiquen esos artículos y los que fije el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Se comprobará la compatibilidad de la emulsión bituminosa con el material fresado mediante el ensayo de mezcla sin adición de carbonato cálcico, según la NLT-196.

#### 20.5.1.2 Estudio de los materiales que se vayan a reciclar y comprobación de la tramificación

Se realizará una inspección de la superficie a reciclar comprobando los datos del reconocimiento de proyecto y la tramificación propuesta. Se tomarán muestras representativas de los materiales existentes en los diferentes tramos, mediante extracción de testigos, calicatas u otros métodos de toma de muestras, comprobando el espesor y tipo de material de las diferentes capas. Como mínimo se realizarán dos (2) testigos y una calicata por kilómetro (1/km) o tramo diferenciado si su longitud fuera menor.

Sobre los testigos de cada tramo homogéneo se determinará la densidad, según la NLT-168.

Se tomarán muestras de material fresado en cada tramo homogéneo, en el espesor previsto en el Proyecto para el reciclado, empleando una fresadora de iguales o similares características o que produzca un fresado adecuado y semejante al de la máquina que se vaya a emplear en la ejecución de la obra.

Sobre las muestras de cada tipo de material fresado en cada tramo homogéneo se determinará:

- Análisis granulométrico, según la UNE-EN 933-1.
- Contenido del ligante, según la NLT-164.
- Penetración, según la NLT-124, y punto de reblandecimiento anillo y bola, según la NLT125, del ligante recuperado, según la NLT-353.
- Identificación del tipo de árido recuperado.

Los resultados del reconocimiento y de los ensayos deberán servir para verificar que los tramos en que se ha dividido la obra sean suficientemente homogéneos en relación con los objetivos pretendidos por el procedimiento de reciclado. En los tramos con ondulaciones superficiales, excesos de ligante, deformaciones plásticas o cualquier deficiencia superficial o estructural que a juicio del Director de las Obras se considere significativa, se deberá proceder previamente a su fresado y retirada a un vertedero autorizado.

No deberán considerarse homogéneos los tramos cuyos resultados individuales en los ensayos indicados en este apartado presenten variaciones sobre los resultados medios superiores a las tolerancias establecidas en la tabla 20.3, ni cuando varíe el tipo de árido.

TABLA 20.3. –TOLERANCIAS MÁXIMAS ADMISIBLES EN TRAMOS HOMOGÉNEOS

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA MÁXIMA
Granulometría del material fresado cernido por los tamices de la tabla 20.1	Tamaño máximo	% sobre la masa total del material a reciclar en seco	Un tamiz de la serie de tabla 20.1
	> 2 mm		± 6
	≤ 2 mm		± 3
	0,063 mm		± 1,5
Ligante residual			± 0,5
Penetración del ligante recuperado		0,1 mm	± 8
Densidad <i>in situ</i>		kg/dm <sup>3</sup>	± 0,1

### 20.5.1.3 Valores de referencia de las características

Una vez comprobado que el material cumple todas las condiciones establecidas en este artículo y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, el Director de las Obras aprobará el material y fijará las características de referencia en cada tramo homogéneo.

Se tomarán como características de referencia, para cada tipo de material, la media de todos los resultados de cada tipo de ensayo prescrito. Los valores así obtenidos deberán diferir de los valores límite establecidos en margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la heterogeneidad propia del material y la dispersión que introduce la ejecución en obra y su control, los valores obtenidos en el control de calidad de la ejecución de las obras cumplan los límites establecidos.

### 20.5.2 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La ejecución del reciclado no se podrá iniciar, en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo su estudio en laboratorio y verificación en obra, la cual deberá señalar, como mínimo:

- El espesor del reciclado *in situ* con emulsión, que deberá estar comprendido entre seis (6) y doce centímetros (12 cm). La elección del espesor se hará de forma que, preferentemente, se tratarán capas completas del firme existente y, únicamente en el caso de que la inferior fuera una capa de mezcla bituminosa, penetrando un centímetro (1 cm) en ésta. Si esto no fuera posible, se evitará que queden sin tratar espesores de mezcla bituminosa inferiores a tres centímetros (3 cm).
- La granulometría del material fresado por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico en la tabla 20.1.
- El tipo de emulsión bituminosa y la proporción en masa de ligante residual a incorporar, respecto a la masa total del material a reciclar en seco.
- La proporción en masa, respecto a la masa total del material a reciclar en seco, de agua que se vaya a aportar.
- Los tipos de aditivos y sus proporciones en masa, respecto a la masa total del material a reciclar en seco.
- La humedad óptima de compactación.
- El valor mínimo de la densidad a obtener en el tramo de prueba.

La proporción necesaria de ligante residual en la mezcla reciclada se determinará mediante el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162, de acuerdo con los valores mínimos especificados en la tabla 20.2. Todas las probetas se curarán durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50 °C).

La humedad de compactación se determinará mediante el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501, realizado sobre el material a reciclar. La humedad óptima de compactación será, salvo justificación en contrario, la correspondiente a la humedad óptima Proctor menos un cinco por mil (0,5%) y menos el porcentaje de emulsión bituminosa a incorporar a la mezcla. La humedad óptima de compactación se ajustará, si fuera preciso, durante la ejecución del tramo de prueba.

Se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que se varíen las características del material a reciclar o de alguno de los componentes de la mezcla o si varían las condiciones ambientales.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 20.4, teniendo en cuenta que en ningún caso los valores podrán sobrepasar los límites establecidos.

### 20.5.3 Fresado de la parte del firme que se vaya a reciclar

El fresado se realizará con el equipo y el método aprobados por el Director de las Obras después de la ejecución del tramo de prueba de acuerdo con lo establecido en el apartado 20.4. La velocidad de traslación del equipo y la velocidad de rotación del rotor de fresado serán constantes en cada tramo homogéneo, a fin de asegurar una profundidad uniforme de fresado y una buena homogeneidad del material reciclado. Se evitarán en lo posible las paradas, y cuando sean inevitables se cortarán de forma inmediata las entradas de emulsión y de agua para evitar sobredosificaciones o encharcamientos. Deberá comprobarse con la frecuencia que el Director de las Obras considere necesario que la granulometría del material fresado corresponde a la obtenida en el tramo de prueba y, por tanto, a la utilizada para la elaboración de la fórmula de trabajo.

Siempre que se observe que no se cumplen las tolerancias admisibles citadas en el apartado 20.5.2, se detendrá el reciclado hasta eliminar las causas de la anomalía (desgaste de picas, obstrucción de inyectores, etc).

Donde resultase imposible el empleo de máquinas fresadoras, el material se demolerá con otros medios mecánicos, y los productos así obtenidos se trasladarán a un vertedero autorizado. Estas zonas se rellenarán con materiales que cumplirán en cualquier circunstancia las prescripciones establecidas para el conjunto de la unidad de obra.

### 20.5.4 Distribución de emulsión, agua y aditivos

La emulsión, el agua y los aditivos se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo.

Antes de iniciar el proceso en obra se purgarán y pondrán a punto las bombas y los difusores de ligante y de agua fuera del lugar de empleo, pa-

TABLA 20.4. –TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA
<b>Cernido tamices UNE-EN 933-2</b>	<b>Tamaño máximo</b>	% sobre la masa total del material a reciclar en seco	0
	> 2 mm		± 6
	≤ 2 mm		± 3
	<b>0,063 mm</b>		± 1,5
<b>Ligante residual aportado</b>			± 0,3
<b>Humedad compactación (agua total)</b>		% respecto de la óptima	-1 / + 0,5

ra garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo de reciclado se realizará una limpieza de los difusores, y como mínimo dos veces al día (2/d). Las operaciones para abastecer de emulsión al equipo dosificador se realizarán sin afectar al tráfico que circule por los carriles que se mantengan en servicio.

### 20.5.5 Ejecución de la mezcla y extensión

Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar el tratamiento de cualquier porción de la superficie de la capa a reciclar con encharcamientos, si es preciso deteniendo el proceso cuando se observe tal circunstancia.

El equipo de reciclado deberá contar con los dispositivos necesarios para asegurar una mezcla homogénea en toda la anchura y profundidad del tratamiento. Si se detectaran segregaciones, partículas sin mezclar, o diferencias de contenido de ligante o de agua en partes de la superficie reciclada, deberá detenerse el proceso y realizar las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

Cuando la anchura de la superficie a reciclar sea superior a la del equipo de trabajo, el reciclado se realizará por franjas paralelas, que se solaparán en una anchura comprendida entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes. Deberán adoptarse las precauciones necesarias para evitar que se produzcan sobredosificaciones de emulsión en los solapes. En el caso de utilizar para el reciclado dos equipos en paralelo se adoptará la misma precaución en lo que se refiere a sus anchuras de trabajo; el desfase entre las dos máquinas será el menor posible, de modo que, compactando en toda la anchura, no se produzcan juntas longitudinales en el interior del carril.

Para carreteras con categoría de tráfico pesado T1, el reciclado se ejecutará en toda la anchura completa del carril sin juntas longitudinales en su interior; para ello se utilizará una sola máquina de la anchura necesaria o bien dos trabajando en paralelo con el mínimo desfase posible, de modo que, compactando en toda la anchura, no se produzcan juntas longitudinales en el interior de la zona reciclada. En el resto de los casos la anchura mínima de ejecución del reciclado sin juntas interiores será de medio carril. En cualquier caso, se respetarán las limitaciones que sobre juntas longitudinales y transversales se establecen en el apartado 20.5.7.

La ejecución por franjas se deberá planificar adecuadamente para permitir el paso alternativo del tráfico, si fuera necesario, dando la máxima relevancia a las condiciones de seguridad de la circulación y del personal de las obras.

Se delimitarán cuidadosamente los arceles o zonas adyacentes a la calzada a fin de evitar que los materiales de aquéllos se mezclen con los de ésta durante el reciclado.

La operación de extensión se detendrá si se observa que se produce segregación o contaminación o defectos en la regularidad superficial, y se procederá a efectuar las correcciones necesarias.

Donde resultase imposible el empleo del equipo de extensión aprobado, la mezcla reciclada podrá extenderse con otros dispositivos mecánicos más sencillos, que produzcan un producto terminado de características similares a las del resto de la unidad de obra.

### 20.5.6 Compactación

La mezcla no podrá permanecer más de media hora (1/2 h) sin que se proceda a su compactación y terminación.

La compactación se realizará longitudinalmente, de manera continua y sistemática y hasta que se alcance la densidad especificada en el apartado 20.7.1. Si la extensión se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior. Si la extensión se realiza con dos máquinas en paralelo con un ligero desfase, se compactarán las dos franjas a la vez.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendidora, los cambios de dirección se harán sobre mezcla ya apisonada, y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

La compactación se iniciará longitudinalmente por el borde más bajo de la franja que se esté tratando, y se continuará hacia su borde más alto, solapándose las sucesivas pasadas.

En lugares inaccesibles para los compactadores se emplearán placas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr resultados análogos a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

### 20.5.7 Ejecución de juntas

Después de haber extendido y compactado una franja, se realizará la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

Las juntas longitudinales entre la zona reciclada y el firme existente deberán situarse en los bordes del carril o, si fuese indispensable, en su centro, pero nunca en las franjas de rodadura (rodadas).

La anchura de las franjas longitudinales de extensión se fijará de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación y las características del equipo empleado.

Entre las sucesivas pasadas del equipo de reciclado deberá producirse un solape con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones. Este solape vendrá impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar y generalmente estará comprendido entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm). La máquina dosificadora-mezcladora deberá tener cerrados los difusores de emulsión y de agua correspondientes a la franja de solape para evitar la producción de mezcla reciclada con dotaciones distintas de la especificada.

Las juntas transversales de trabajo se efectuarán fresando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general no menos de un diámetro del rotor de fresado, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación del ligante en la zona no tratada.

### 20.5.8 Curado y protección superficial

Cuando, por necesidades del desarrollo de las obras, se precise facilitar y acelerar la eliminación de humedad de la mezcla compactada, se podrá someter la capa a la acción del tráfico durante un periodo a fijar por el Director de las Obras, en general entre quince (15) y treinta días (30 d); en función de las condiciones climatológicas y de la intensidad de circulación, ésta se ordenará para que no se concentren las rodadas en una sola franja.

En las zonas con riesgo de presentar desprendimientos superficiales (curvas de radio reducido o zonas de parada) deberá ejecutarse un riego de protección.

El riego de protección se ejecutará utilizando una emulsión de rotura rápida y con árido de cobertura. La emulsión estará diluida en agua de forma que la concentración de ligante residual sea del treinta por ciento (30%). La dotación de ligante residual estará comprendida entre doscientos (200) y trescientos gramos por metro cuadrado (300 g/m<sup>2</sup>). El árido de cobertura que se vaya a emplear cumplirá lo especificado en el artículo 532 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Tras su extensión, se procederá al apisonado con un compactador de neumáticos y, previamente a la apertura al tráfico, se barrerá para eliminar el árido sobrante.

La extensión de una nueva capa sobre la reciclada no se iniciará hasta que la humedad en el medio del espesor de la capa reciclada sea constante e inferior al uno por ciento (1%), comprobándose que se mantiene por debajo de ese valor durante al menos siete días (7 d) y además los testigos extraídos, según la NLT-314, a partir de ese momento no se desgreguen y permitan su transporte y manipulación para realizar en laboratorio las pruebas que se especifiquen.

## 20.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse el reciclado *in situ* con emulsión será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, que se realizará con el espesor y la fórmula de trabajo prescritos y empleando los mismos medios que vaya a utilizar luego el Contratista para la ejecución de las obras, para comprobar la fórmula de trabajo, el funcionamiento de los equipos necesarios para la ejecución de las obras y, especialmente, la forma de actuación del equipo de compactación. Asimismo, se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del reciclado con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de reciclado, granulometría, contenido de emulsión y demás requisitos exigidos.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será inferior a doscientos metros (200 m) para carreteras con categorías de tráfico pesado T1 y T2 y a cien metros (100 m) en el resto de los casos. El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

Además, al comienzo de cada tramo homogéneo:

- Se comprobará la profundidad de fresado.
- Se ajustará la velocidad de avance del equipo para obtener la profundidad de fresado, la granulometría dentro del huso especificado y una mezcla uniforme y homogénea.
- Se determinará la granulometría del material fresado que se vaya a reciclar.
- Se comprobará y ajustará la fórmula de trabajo obtenida para ese tramo.

Asimismo, durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán los aspectos siguientes:

- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la dosificación del ligante hidrocarbonado establecidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.
- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la densidad y humedad *in situ* establecidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.

- Se comprobará en la mezcla la precisión de los sistemas de dosificación de la emulsión y del agua y, en su caso, de las adiciones.
- Se establecerán las relaciones entre humedad y densidad alcanzada.
- Se establecerán las relaciones entre orden y número de pasadas de los compactadores y la densidad alcanzada.
- Se medirá el esponjamiento de la capa reciclada, por diferencia de espesor antes del fresado y después de la compactación.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula de trabajo. En el primer caso se podrá iniciar la ejecución del reciclado. En el segundo, deberá proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en la central de fabricación y en los sistemas de extensión, etc.).
- Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista. En el primer caso, aprobará su forma específica de actuación. En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar equipos suplementarios.

Los resultados obtenidos en el tramo de prueba válido servirán para fijar la fórmula de trabajo definitiva y los valores de referencia para los ensayos de información.

## 20.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

### 20.7.1 Densidad

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad de la capa tras el proceso de compactación, la cual no deberá ser inferior al cien por cien (100%) de la densidad máxima Proctor modificado, según la UNE 103501, definida en la fórmula de trabajo.

La diferencia de densidades entre las zonas más superficiales y las más profundas no superará los tres puntos porcentuales (3%), ni un punto porcentual (1%) cada cinco centímetros (5 cm) de profundidad.

### 20.7.2 Terminación, rasante, anchura y espesor

La superficie de la capa reciclada terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.

La rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto ni quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá modificar el límite anterior.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa reciclada, que en ningún caso deberá ser inferior ni superar en más de diez centímetros (10 cm) a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

### 20.7.3 Regularidad superficial

El índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 20.5.

TABLA 20.5. ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI (dm/hm)
50	< 2,5
80	< 3,0
100	< 4,0

## 20.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la ejecución del reciclado *in situ* con emulsión:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C). El Director de las Obras podrá aumentar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

## 20.9 CONTROL DE CALIDAD

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, para cada caso, el método de control, tamaño del lote y tipo y número de ensayos a realizar. También se establecerán los métodos rápidos de control que pueden utilizarse y las condiciones básicas de empleo.

Los ensayos *in situ* se realizarán y, en su caso, las muestras se tomarán y los testigos se extraerán en puntos previamente seleccionados mediante un muestreo aleatorio, tanto longitudinal como transversalmente, realizado de forma que haya al menos uno por cada hectómetro (1/hm).

### 20.9.1 Control de procedencia de la emulsión bituminosa

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 213 o 216 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

### 20.9.2 Control de ejecución

#### 20.9.2.1 Dosificación de la emulsión

Se controlará al menos una vez por la mañana y otra por la tarde el funcionamiento de las boquillas de inyección. Asimismo se contrastará diariamente el consumo efectivo de ligante con la información proporcionada por el microprocesador para control del volumen de emulsión añadido.

#### 20.9.2.2 Fresado y mezcla reciclada

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se tomará una muestra del material a la salida de la recicladora para determinar su granulometría, según la UNE-EN 933-1.

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una (1) vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se determinará el contenido de humedad de la mezcla según la UNE 103300.

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una (1) vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se tomarán muestras de la mezcla bituminosa reciclada y sobre ellas se determinará la dosificación de ligante, según la NLT-164.

Al menos una vez al día (1/d), y al menos vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se tomarán muestras de la mezcla reciclada, en recipientes que conserven la humedad, para realizar con ellas series de probetas, que se ensayarán para determinar los valores de los resultados del ensayo de inmersión-compresión según la NLT-162. Todas las probetas se curarán desmoldadas durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50 °C).

La adición de agua o de emulsión se controlará con el caudalímetro de la recicladora, que dispondrá de un sistema automático de registro, de forma que se obtenga en cada tramo la humedad especificada.

Además se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de las Obras, que la profundidad y anchura de fresado y la velocidad de avance de la fresadora son las autorizadas de acuerdo con el apartado 20.6.

Se comprobará a menudo el espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras, teniendo en cuenta la disminución que experimentará el material al ser compactado.

Se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de las Obras, el aspecto de la mezcla bituminosa reciclada, especialmente la cubrición del ligante, la homogeneidad de la superficie y la ausencia de segregaciones.

Se comprobará la composición y forma de actuación del equipo de compactación, verificando:

- Que el número y tipo de compactadores es el aprobado.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación y limpieza.
- El lastre y masa total de los compactadores y, en su caso, la presión de inflado de las ruedas de los compactadores de neumáticos.
- La frecuencia y la amplitud de los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada compactador.

En cada una de las franjas de reciclado se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote de los definidos en el apartado 20.9.3. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente contrastados en la realización del tramo de prueba.

Cuando las determinaciones se realicen mediante sonda nuclear, para la determinación de la densidad media la varilla con la fuente radiactiva deberá introducirse hasta el fondo de la capa reciclada. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas se proseguirá el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos.

### 20.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los criterios siguientes:

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m<sup>2</sup>) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

Después de finalizado el curado y antes de cubrir la capa reciclada con otra capa, se extraerán testigos, según la NLT-314, en puntos aleatoriamente situados, en número no inferior a cinco (5) y se determinará su

densidad y espesor según la NLT-168, así como su humedad, de acuerdo con lo especificado en el apartado 20.5.8.

Se comprobará la regularidad superficial del lote a partir de las veinticuatro horas (24 h) de su ejecución y siempre antes de la extensión de la siguiente capa, mediante la determinación del índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 20.7.3.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa.

## 20.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

### 20.10.1 Densidad

La densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en el apartado 20.7.1. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada del lote presentarán un valor inferior al prescrito en más de dos (2) puntos porcentuales.

Si la densidad media obtenida es inferior al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad de referencia, se levantará mediante fresado la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado y se repondrá, con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista. Si la densidad media obtenida no es inferior al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad de referencia, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado.

### 20.10.2 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los Planos de secciones tipo. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada del lote presentarán resultados que bajen del especificado en más de un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido es inferior al especificado, se compensará la diferencia con un espesor adicional equivalente de la capa superior aplicado en toda la anchura de la sección tipo, por cuenta del Contratista.

### 20.10.3 Rasante

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas, ni existirán zonas que retengan agua. Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración. Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, se corregirá el exceso mediante fresado por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

### 20.10.4 Regularidad superficial

Los resultados de la medida de la regularidad superficial de la capa acabada no excederán de los límites establecidos en el apartado 20.7.3. Si los

resultados de la regularidad superficial de la capa terminada exceden los límites, se procederá de la siguiente manera:

- Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista.
- Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

## 20.11 MEDICIÓN Y ABONO

La emulsión bituminosa empleada en el reciclado de las mezclas bituminosas se abonará por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición abonable de ejecución del reciclado la dosificación media deducida de los ensayos de control de cada lote.

La ejecución del reciclado se abonará por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de superficie reciclada con el espesor indicado en los Planos de la sección tipo, el cual se entiende como mínimo en cualquier punto. Dicha superficie se obtendrá multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada.

En dicho abono se considera incluido el fresado de las capas del firme existente, la mezcla y homogeneización del material fresado, el agua y, en su caso, los aditivos, la extensión y la compactación de la mezcla.

No tendrán derecho a un incremento de abono las zonas solapadas o las superficies que por sus defectos haya sido necesario reciclar en más de una pasada.

No serán de abono las creces laterales, ni la limpieza de la superficie existente.

El tratamiento de protección de la superficie de la mezcla bituminosa reciclada se abonará por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) realmente ejecutados, medidos sobre el terreno.

## 20.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según el ámbito) o los Organismos españoles –públicos y privados– autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

**NORMAS REFERENCIADAS**

<b>NLT-124</b>	<i>Penetración de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-125</b>	<i>Punto de reblandecimiento anillo y bola de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-162</b>	<i>Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión).</i>
<b>NLT-164</b>	<i>Contenido de ligante en mezclas bituminosas.</i>
<b>NLT-168</b>	<i>Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas.</i>
<b>NLT-196</b>	<i>Envuelta y resistencia al desplazamiento por el agua de las emulsiones bituminosas.</i>
<b>NLT-314</b>	<i>Toma de muestras testigos de pavimentos.</i>
<b>NLT-330</b>	<i>Cálculo del índice de regularidad internacional, IRI, en pavimentos de carreteras.</i>
<b>NLT-353</b>	<i>Recuperación del ligante de mezclas bituminosas para su caracterización.</i>
<b>UNE 103300</b>	<i>Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.</i>
<b>UNE 103501</b>	<i>Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.</i>
<b>UNE-EN 933-1</b>	<i>Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.</i>
<b>UNE-EN 933-2</b>	<i>Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.</i>

## RECICLADO *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME

### 21.1 DEFINICIÓN

Se define como reciclado *in situ* con cemento de capas de firme la mezcla, convenientemente extendida y compactada, del material procedente del fresado de un firme existente (constituido por mezclas bituminosas y materiales granulares) con cemento, agua y, eventualmente, aditivos y árido de aportación, cuyo fin es reutilizar una o varias capas de un firme deteriorado, con un espesor total compactado comprendido entre veinte (20) y treinta centímetros (30 cm). Todo el proceso de ejecución de esta unidad de obra se realizará a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar.

El valor de treinta centímetros (30 cm) como límite máximo de espesor de la capa reciclada se podrá subir a treinta y cinco (35 cm) siempre y cuando en la obra se garantice una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Estudio previo de los materiales.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo para cada tramo de características distintas.
- Fresado de la parte del firme a reciclar.
- Incorporación del cemento, el agua y, eventualmente, los aditivos.
- Incorporación, en su caso, del árido de aportación.
- Mezcla y extensión.
- Realización de juntas en fresco (prefisuración).
- Compactación y terminación.
- Curado y, en su caso, ejecución de un riego de protección.

### 21.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE; en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso además a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

#### 21.2.1 Cemento

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el tipo y la clase resistente del cemento. Éste cumplirá las prescripciones del artículo 202 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y las adicionales que establezca, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Salvo justificación en contrario, la clase resistente del cemento será la 32,5. El Director de las Obras podrá autorizar el empleo de un cemento de clase resistente 22,5, así como en épocas frías el de un cemento de clase resistente 42,5.

No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica de cemento.

Si el contenido ponderal de sulfatos solubles ( $\text{SO}_3$ ) en el material que se vaya a reciclar, determinado según la UNE 103201, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos y aislar adecuadamente estas capas del firme de las obras de paso de hormigón.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el principio de fraguado, según la UNE-EN 196-3, que, en todo caso, no podrá tener lugar antes de las dos horas (2 h). No obstante, si el reciclado se realizase con temperatura ambiente superior a treinta grados Celsius (30 °C), el principio de fraguado, determinado según la UNE-EN 196-3, pero realizando los ensayos a una temperatura de cuarenta más menos dos grados Celsius ( $40 \pm 2$  °C), no podrá tener lugar antes de una hora (1 h).

#### 21.2.2 Material que se vaya a reciclar

##### 21.2.2.1 Características generales

El material que se vaya a reciclar estará constituido por partículas, recubiertas o no por ligante envejecido o por cemento, resultantes de la adecuada disgregación por fresado de la parte del firme existente en la profundidad establecida.

El Director de las Obras, de acuerdo con las características y el estado de las capas del firme, determinará si existen zonas en las que no deba reutilizarse el material existente. En tal caso los materiales se retirarán y transportarán a un vertedero autorizado y se sustituirán por un material aprobado por el Director de las Obras, quien podrá autorizar asimismo la reutilización de material fresado procedente de localizaciones distintas a las que se esté reciclando.

El material que se vaya a reciclar no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento. En materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de  $\text{SiO}_2$  y de la reducción de la alcalinidad R, según la UNE 146507-1, el material será considerado potencialmente reactivo si:

- $\text{SiO}_2 > R$  cuando  $R \geq 70$
- $\text{SiO}_2 > 35 + 0,5R$  cuando  $R < 70$

##### 21.2.2.2 Granulometría

El material a reciclar no contendrá elementos de tamaño superior a ochenta milímetros (80 mm). En caso contrario, el Director de las Obras indicará las medidas a adoptar para su eliminación. El contenido de partículas pasando por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2 no será inferior al treinta por ciento (30%) en masa.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará si es necesario corregir la granulometría del material disgregado con árido de aportación. En su defecto, el Director de las Obras podrá ordenar la utilización de árido de aportación, cuando el material disgregado no alcance el valor mínimo citado de partículas pasando por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

### 21.2.2.3 Composición química

El material que se vaya a reciclar estará exento de materia orgánica y de productos que puedan perjudicar el fraguado del cemento. En caso contrario el Director de las Obras podrá autorizar su empleo siempre que el contenido de materia orgánica, determinado según la UNE 103204, no sea superior al uno por ciento (1%) en masa. El contenido de sulfatos, expresado en SO<sub>3</sub> y determinado según la UNE 103201, no será superior al uno por ciento (1%) en masa.

### 21.2.2.4 Plasticidad

El límite líquido, según la UNE 103103, será inferior a treinta y cinco (35) y el índice de plasticidad, según la UNE 103104, será igual o inferior a quince (15). Si el material no cumple estas condiciones, podrá recurrirse a un tratamiento previo con cal. La dotación de ésta deberá ser determinada mediante ensayos previos en laboratorio y aprobada por el Director de las Obras.

### 21.2.3 Árido de aportación

Si fuese necesario utilizar un árido de aportación como corrector granulométrico, deberá tener las características establecidas en el artículo 500 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) para zahorras artificiales. Su granulometría y proporción se ajustarán, de acuerdo con las indicaciones del Director de las Obras, de forma que se obtenga una granulometría del material reciclado lo más continua posible.

Si fuese necesario utilizar un árido de aportación para corregir peraltes, completar el espesor de capa reciclada o efectuar un ensanche, dicho árido cumplirá las prescripciones exigidas para la zahorra artificial en el artículo 500 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y su empleo deberá ser aprobado previamente por el Director de las Obras.

Por otra parte, en el caso de ensanches ejecutados simultáneamente con el reciclado, el árido deberá seleccionarse de forma que, empleando la misma dotación, tipo y clase resistente de cemento, se obtenga una resistencia a compresión igual o superior a la del firme reciclado, pero sin que el incremento sea superior a un veinte por ciento (20%).

### 21.2.4 Agua

El agua cumplirá las prescripciones del artículo 280 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

### 21.2.5 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los aditivos que puedan utilizarse para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla, los cuales deberán ser especificados en la fórmula de trabajo y aprobados por el Director de las Obras. Éste podrá autorizar el empleo de un retardador de fraguado para ampliar el plazo

de trabajabilidad del material, según las condiciones climáticas, así como establecer el método que se vaya a emplear para su incorporación y las especificaciones que deben cumplir tanto dicho aditivo como las propiedades de la mezcla que se modifican con su incorporación.

El empleo de retardadores de fraguado será obligatorio cuando la temperatura ambiente durante la ejecución del reciclado supere los treinta grados Celsius (30 °C), salvo que el Director de las Obras ordene lo contrario.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá la proporción adecuada de aditivos que se vayan a emplear y el método empleado para su incorporación, así como las especificaciones que deben cumplir tanto dichos aditivos como la mezcla resultante.

Solamente se autorizará el uso de aditivos cuyas características, comportamiento y efectos sobre la mezcla, al emplearlos en las proporciones previstas, vengán garantizados por el fabricante, siendo obligatorio realizar ensayos previos para comprobar que cumplen su función con los materiales y dosificaciones previstas en la fórmula de trabajo.

## 21.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares definirá el tipo y composición de la mezcla reciclada, cuyo contenido mínimo de cemento y resistencia mínima a compresión simple deberán cumplir lo indicado en este apartado.

El contenido mínimo de cemento será del tres por ciento (3%) de la masa total en seco del material que se vaya a reciclar.

La resistencia mínima a compresión simple del material reciclado a los siete días (7 d) será de dos megapascales y cinco décimas (2,5 MPa). En caso de emplearse cementos para usos especiales, será de dos megapascales y una décima (2,1 MPa).

Las probetas para la determinación de las resistencias se compactarán según la NLT-310, con la energía con la que se logre la densidad exigida en el apartado 21.7.1 o en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, y se ensayarán a compresión simple según la NLT-305.

El material reciclado deberá tener un plazo de trabajabilidad tal que permita completar la compactación de una franja antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente reciclada previamente.

El plazo de trabajabilidad se determinará de acuerdo con la UNE 41240, realizando los ensayos a la temperatura media ambiente prevista entre las doce (12:00) y las quince horas (15:00) durante la ejecución del reciclado, no pudiendo ser inferior al indicado en la tabla 21.1.

TABLA 21.1. PLAZO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD ( $t_{pm}$ ) DEL RECICLADO IN SITU CON CEMENTO

TIPO DE OBRA		$t_{pm}$ (minutos)
SIN TRÁFICO	ANCHURA COMPLETA	120
	POR FRANJAS	180
CON TRÁFICO		240

## 21.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se podrá utilizar en la ejecución del reciclado ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras después de la ejecución del tramo de prueba.

Para la ejecución del reciclado *in situ* con cemento se deberán emplear equipos mecánicos. Éstos podrán ser equipos independientes que realicen por separado las operaciones de fresado, de dosificación y de distribución del cemento y del agua, de mezcla, de extensión y de compactación, o bien equipos que realicen dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

Salvo justificación en contrario, para las carreteras con categoría de tráfico pesado T2 o cuando la superficie a tratar sea superior a los setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>) será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de fresado, de dosificación y distribución del cemento, de mezcla y de extensión.

El equipo de fresado, compuesto por una o más máquinas fresadoras, con anchura mínima de medio carril y dotadas de rotor de fresado de eje horizontal, deberá ser capaz de fresar el firme existente en la profundidad y la anchura especificadas, produciendo un material homogéneo con la granulometría requerida en una sola pasada y deberá hacerlo a una velocidad constante adecuada. Las fresadoras estarán dotadas de un dispositivo de control automático que asegure el espesor especificado y prefijado. Además estarán provistas de un dispositivo que evite el levantamiento en bloques del material, que en cualquier caso deberá quedar adecuadamente disgregado.

El equipo de dosificación del cemento y del agua y los aditivos se compondrá de depósitos, bombas de caudal variable y difusores adecuadamente dispuestos, con control automático programable de dosificación, que permitan realizar las dosificaciones de la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado que se vaya a reciclar, y según la velocidad de avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en este artículo.

El mezclador deberá garantizar una mezcla homogénea y uniforme en toda la anchura y profundidad del reciclado. La mezcla podrá realizarse mediante una mezcladora independiente o bien en las propias máquinas fresadoras aprovechando la energía del rotor de fresado, en cuyo caso el sistema de dosificación deberá ir incorporado al elemento de fresado.

Se dispondrán los medios y la mano de obra necesarios para que las zonas entre franjas de reciclado cumplan todas las condiciones de dosificación, compactación y regularidad superficial especificados en este artículo.

El suministro del cemento a la unidad de mezcla se realizará desde cubas o depósitos móviles, de modo que no se produzcan paradas de los elementos de mezcla y extensión del material reciclado.

El cemento se dosificará como lechada. Se podrá dosificar en polvo en obras pequeñas, cuya superficie a tratar sea menor de setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>), siempre que lo autorice expresamente el Director de las Obras; en este segundo caso, y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental y de seguridad y salud, se emplearán equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que podrán

consistir en camiones-silo o en tanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del cemento sobre el firme a reciclar se realizase desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga estará protegido con fallones cuya parte inferior no deberá distar más de diez centímetros (10 cm) de la superficie del firme.

Cuando el cemento se aporte en lechada, el equipo para su fabricación tendrá un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal de cemento. El equipo de reciclado deberá estar provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado a reciclar, y según el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Deberá disponerse de un camión cisterna o equipo similar capaz de incorporar al equipo de reciclado el agua de amasado en la proporción necesaria, de acuerdo con la velocidad de avance y la profundidad de trabajo.

En caso de emplearse aditivos y de que el equipo de reciclado no tuviera dispositivos específicos para su incorporación en la dotación requerida, se añadirán al agua de amasado en el equipo de alimentación de ésta, debiendo entonces estar provisto dicho equipo de los dosificadores necesarios.

Para la extensión se deberá disponer de un distribuidor que evite la segregación del material mezclado y realice una extensión y precompactación homogéneas y con el perfil deseado, mediante una maestra de extensión con dispositivos de nivelación automáticos.

### 21.4.1 Equipo de compactación

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario.

La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo por un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos.

El compactador vibratorio dispondrá de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newton por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar al menos ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

Los rodillos metálicos de los compactadores vibratorios no presentarán surcos ni irregularidades y tendrán dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha. Los compactadores de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas delanteras con las traseras.

El Director de las Obras aprobará el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que serán las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea del reciclado en todo su espesor, sin producir roturas del material ni arrollamientos.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se vaya a realizar.

#### 21.4.2 Equipo para la ejecución de juntas transversales en fresco

Para la ejecución de juntas transversales en fresco se utilizarán equipos autónomos que efectúen en cada pasada un surco recto interesando al menos dos tercios (2/3) del espesor a reciclar y que al mismo tiempo introduzcan en dicho surco un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto podrá consistir en una emulsión de rotura rápida, cinta de plástico flexible, perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

El Director de las Obras podrá autorizar en obras pequeñas, cuya superficie a tratar sea menor de setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>), la utilización de equipos para la ejecución de juntas transversales en fresco provistos de un útil de corte que abarque al menos un tercio (1/3) del espesor de la capa una vez compactada.

### 21.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

#### 21.5.1 Estudios previos de materiales

##### 21.5.1.1 Estudio del material que se vaya a reciclar y comprobación de la tramificación

Se realizará una inspección de la superficie a reciclar comprobando los datos del reconocimiento de proyecto y la tramificación propuesta. Se tomarán muestras representativas de los materiales existentes en los diferentes tramos, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras, comprobando el espesor y el tipo de material de las diferentes capas. Como mínimo se realizarán dos (2) sondeos y una (1) calicata por kilómetro (1 km) o tramo diferenciado si su longitud fuera menor.

Se tomarán muestras de material fresado en cada tramo homogéneo, en el espesor previsto en el Proyecto para el reciclado, empleando una fresadora de iguales o similares características o que produzca un fresado adecuado y semejante a la máquina que se vaya a emplear en la ejecución de la obra.

Sobre las muestras de cada tipo de material fresado en cada tramo homogéneo se determinará:

- Análisis granulométrico, según la UNE-EN 933-1.
- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y 103104, respectivamente.
- Contenido de sulfatos, según la UNE 103201.

- Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.
- Contenido de humedad, según la UNE 103300.
- Proctor modificado, según la UNE 103501.
- La presencia de elementos inhibidores del fraguado del cemento, tales como sulfuros (piritas) o cloruros (sal gema).

Los resultados del reconocimiento y de los ensayos deberán servir para verificar que los tramos en que se ha dividido la obra sean suficientemente homogéneos en relación con los objetivos pretendidos por el procedimiento de reciclado.

No deberán considerarse homogéneos los tramos cuyos resultados individuales de los ensayos indicados en este apartado presenten variaciones sobre los resultados medios superiores a las tolerancias establecidas en la tabla 21.2, ni cuando varíe el tipo de árido.

##### 21.5.1.2 Valores de referencia de las características

Una vez comprobado que el material cumple todas las condiciones establecidas en este artículo y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, el Director de las Obras aprobará el material y fijará las características de referencia en cada tramo homogéneo.

Se tomarán como características de referencia, para cada tipo de material, la media de todos los resultados de cada tipo de ensayo prescrito. Los valores así obtenidos deberán diferir de los valores límite establecidos en margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la heterogeneidad propia del material y la dispersión que introduce la ejecución en obra y su control, los valores obtenidos en el control de calidad de la ejecución de las obras cumplan los límites establecidos.

##### 21.5.2 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La ejecución del reciclado no se podrá iniciar, en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio y comprobación en obra, la cual deberá señalar, como mínimo:

- El espesor del reciclado in situ con cemento.
- La granulometría del material reciclado y, en su caso, la proporción y la granulometría del árido de aportación a emplear en la mezcla.
- El tipo y clase resistente del cemento y su proporción en masa, respecto de la masa total del material a reciclar en seco y, en su caso, por metro cuadrado de superficie.
- La proporción en masa, respecto de la masa total del material a reciclar en seco, de agua de amasado.
- Los tipos de aditivos y sus proporciones en masa, respecto de la masa total del material a reciclar en seco.
- La humedad de compactación.

TABLA 21.2. TOLERANCIAS MÁXIMAS ADMISIBLES EN TRAMOS HOMOGÉNEOS

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA MÁXIMA
Granulometría del material (tamices de la UNE-EN 933-2)	Tamaño máximo	% sobre la masa total del material a reciclar en seco	0
	Pasa 4 mm		± 4
Densidad máxima del Proctor modificado		%	± 3

- El valor mínimo de la densidad a obtener.
- El plazo de trabajabilidad de la mezcla, a la temperatura media prevista durante la ejecución de las obras, entre las doce (12:00) y las quince horas (15:00).

La proporción de agua de amasado será la correspondiente a la humedad óptima determinada en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501, realizado sobre la mezcla del material a reciclar, el árido de aportación, en su caso, y el contenido de cemento determinado para cada tramo homogéneo. No obstante, dada la posible variación de las características de los materiales existentes en el firme, es posible que sea necesario realizar ajustes del contenido de humedad durante la ejecución de las obras, por lo que los mecanismos de control y de toma de decisiones deberán ponerse a punto durante la realización del tramo de ensayo.

La proporción necesaria de cemento en la mezcla reciclada se determinará, salvo justificación en contrario, mediante el ensayo de resistencia a compresión simple, realizado según la NLT-305, a siete días (7 d), de modo que se cumplan los límites especificados en el apartado 21.3. Las probetas se compactarán según la NLT-310, con la energía con que se logre la densidad exigida en el apartado 21.7.1.

Se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características o la procedencia del cemento y, en su caso, de los aditivos o de los materiales granulares de aportación o del material a reciclar. En el caso de que las condiciones ambientales cambiasen de forma importante, deberá determinarse de nuevo el plazo de trabajabilidad de la mezcla.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 21.3, teniendo en cuenta que en ningún caso los valores podrán sobrepasar los límites establecidos.

### 21.5.3 Preparación de la superficie existente

Antes de comenzar los trabajos de reciclado se procederá a la preparación de la superficie del firme realizando las siguientes operaciones:

- Limpieza y retirada de materias extrañas acumuladas en la totalidad de la anchura de la carretera, incluso en los carriles que no vayan a ser reciclados.
- Tratamiento o eliminación de zonas muy contaminadas, que a juicio del Director de las Obras, no puedan cumplir en ningún caso las especificaciones mínimas para poder ser recicladas.
- Nivelación de la plataforma añadiendo, si hiciera falta, el árido de aportación para conseguir los perfiles longitudinal y transversal previstos.

### 21.5.4 Fresado de la parte del firme que se vaya a reciclar

El fresado se realizará con el equipo y el método aprobados por el Director de las Obras después de la ejecución del tramo de prueba, de acuerdo con lo establecido en el apartado 21.4. La velocidad de traslación del equipo y la velocidad de rotación del rotor de fresado serán constantes en cada tramo homogéneo, a fin de asegurar una profundidad uniforme de fresado y una buena homogeneidad del material reciclado. Se evitarán en lo posible las paradas, y cuando sean inevitables se cortarán de forma inmediata las entradas de lechada o cemento y de agua para evitar sobredosificaciones o encharcamientos. Deberá comprobarse con la frecuencia que el Director de las Obras considere necesario, que la granulometría del material fresado corresponde a la obtenida en el tramo de prueba y, por tanto, a la utilizada para la elaboración de la fórmula de trabajo.

Siempre que se observe que no se cumplen las tolerancias admisibles citadas en el apartado 21.5.2, se detendrá el reciclado hasta eliminar las causas de la anomalía (desgaste de picas, obstrucción de inyectores, etc.).

Donde resultase imposible el empleo de máquinas fresadoras, el material se demolerá con otros medios mecánicos, y los productos así obtenidos se trasladarán a un vertedero autorizado. Estas zonas se rellenarán con materiales que cumplirán en cualquier circunstancia las prescripciones establecidas para el conjunto de la unidad de obra.

### 21.5.5 Distribución de cemento, agua y aditivos

El cemento, el agua y los aditivos se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo. La distribución del cemento se realizará en forma de lechada y directamente en el mezclador del equipo de reciclado.

Antes de iniciar el proceso en obra se purgarán y pondrán a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo de reciclado se realizará una limpieza de los difusores, y como mínimo dos veces al día (2/d). Las operaciones para abastecer de cemento al equipo dosificador se realizarán sin afectar al tráfico que circule por los carriles que se mantengan en servicio.

El Director de las Obras podrá autorizar la distribución del cemento en seco en obras pequeñas, cuya superficie a tratar sea menor de setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>), o cuando sea conveniente por el exceso de humedad del firme a reciclar.

En el caso de que la distribución del cemento no se realice en forma de lechada, deberán coordinarse adecuadamente los avances del equipo de dosificación de cemento y del de reciclado, no permitiéndose que

TABLA 21.3. TOLERANCIAS ADMISIBLES SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA
Cernido tamices UNE-EN 933-2	Tamaño máximo	% sobre la masa total del material a reciclar en seco	0
	> 4 mm		± 6
	≤ 4 mm		± 4
	0,063 mm (incluido el cemento)		± 1,5
Cemento			± 0,3
Humedad compactación (agua total)		% respecto de la óptima	-1,5 / + 0,5

haya entre ambos una longitud extendida de cemento superior a cien metros (100 m). La extensión del cemento se detendrá cuando la velocidad del viento fuera excesiva, a juicio del Director de las Obras, o cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas o especialmente sensibles.

Sólo en zonas de reducida extensión no accesibles a equipos mecánicos, el Director de las Obras podrá autorizar la distribución manual. Para ello, se utilizarán sacos de cemento que se colocarán sobre el firme formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, de acuerdo con la dosificación aprobada. Una vez abiertos los sacos, su contenido será distribuido rápida y uniformemente mediante rastrillos manuales o rastras de púas remolcadas.

No se distribuirá el cemento si hay encharcamientos superficiales.

En la distribución de cemento se tomarán las medidas adecuadas para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental y de seguridad laboral, estuviese vigente.

### 21.5.6 Ejecución de la mezcla y extensión

Inmediatamente después de la distribución del cemento deberá procederse a su mezcla con la capa que se vaya a reciclar.

Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar el tratamiento de cualquier porción de la superficie de la capa que se vaya a reciclar con encharcamientos, si es preciso deteniendo el proceso cuando se observe tal circunstancia.

La mezcla deberá obtener una dispersión homogénea del cemento, lo que se reconocerá por su color uniforme y la ausencia de grumos de cemento. Toda cantidad de cemento aplicada se deberá mezclar con el material disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.

El equipo de reciclado deberá contar con los dispositivos necesarios para asegurar una mezcla homogénea en toda la anchura y profundidad del tratamiento. Si se detectaran segregaciones, partículas sin mezclar, o diferencias de contenido de cemento o de agua en partes de la superficie reciclada, deberá detenerse el proceso y realizar las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

Cuando la anchura de la superficie a reciclar sea superior a la del equipo de trabajo, el reciclado se realizará por franjas paralelas, que se solaparán en una anchura comprendida entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes. Deberán adoptarse las precauciones necesarias para evitar que se produzcan sobredosificaciones de cemento o de agua en los solapes. En el caso de utilizar para el reciclado dos equipos en paralelo se adoptará la misma precaución en lo que se refiere a sus anchuras de trabajo; el desfase entre las dos máquinas será el menor posible, de modo que, compactando en toda la anchura, no se produzcan juntas longitudinales en el interior del carril.

En cada carril, la extensión y precompactación se realizarán en toda la anchura definida en los Planos del Proyecto. Para ello se utilizará una sola máquina de la anchura necesaria, o bien dos trabajando en paralelo con el mínimo desfase posible, de modo que, compactando en toda la anchura, no se produzcan juntas longitudinales en el interior de la zona reciclada.

La ejecución por franjas se deberá planificar adecuadamente para permitir el paso alternativo del tráfico si fuera necesario, dando la máxima re-

levancia a las condiciones de seguridad de la circulación y del personal de las obras.

Se delimitarán cuidadosamente los arcones o zonas adyacentes a la calzada a fin de evitar que los materiales de aquéllos se mezclen con los de ésta durante el reciclado.

La operación de extensión se detendrá si se observa que se produce segregación o contaminación o defectos en la regularidad superficial, y se procederá a efectuar las correcciones necesarias para impedirlo.

Donde resultase imposible el empleo del equipo de extensión aprobado, la mezcla reciclada podrá extenderse con otros dispositivos mecánicos más sencillos, que produzcan un producto terminado de características similares a las del resto de la unidad de obra.

### 21.5.7 Incorporación del árido de aportación

Cuando sea necesaria la adición de un árido de aportación al material a reciclar, será incorporado a la mezcla por uno de los procedimientos siguientes, que será comprobado y aprobado por el Director de las Obras en el tramo de prueba correspondiente:

- Mediante su extensión en una capa de espesor uniforme sobre la superficie existente antes del fresado.
- Mediante su incorporación al proceso de mezcla de los materiales después de fresar. Este procedimiento requiere un equipo de recogida de material, dosificación y mezcla independiente de la máquina recicladora.

### 21.5.8 Prefisuración

Antes de iniciar la compactación de la capa reciclada se realizarán en ella juntas transversales en fresco. Se empleará el equipo y el método de ejecución aprobados y fijados por el Director de las Obras, después de la realización del tramo de prueba.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá la distancia a la que deben realizarse las juntas transversales en fresco, dependiendo de la categoría de tráfico pesado, de la zona climática y del espesor de las capas que se dispongan por encima. La separación entre juntas estará comprendida, en general, entre tres (3) y cuatro metros (4 m).

El equipo para la ejecución de juntas transversales en fresco efectuará en cada pasada un surco recto interesando al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa reciclada y al mismo tiempo introducirá en dicho surco un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo.

Donde resultase imposible el empleo del equipo de prefisuración aprobado o en obras pequeñas, cuya superficie a tratar sea menor de setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>) y en las que así lo apruebe el Director de las Obras, la ejecución de juntas en fresco podrá realizarse con otros dispositivos mecánicos más sencillos, en los que el útil de corte abarque al menos un tercio (1/3) del espesor de la capa una vez compactada.

### 21.5.9 Compactación

La compactación se realizará inmediatamente después de la mezcla y la ejecución de las juntas transversales en fresco para evitar pérdidas de humedad y permitir su finalización dentro del plazo de trabajabilidad del material.

La mezcla no podrá permanecer más de media hora (1/2 h) sin que se proceda a su compactación y terminación.

La compactación se realizará longitudinalmente, de manera continua y sistemática hasta que se alcance la densidad especificada en el apartado 21.7.1. Si la extensión se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior. Si la extensión se realiza con dos máquinas en paralelo con un ligero desfase, se compactarán las dos franjas a la vez.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de reciclado, los cambios de dirección se harán sobre mezcla ya apisonada, y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

La compactación se iniciará longitudinalmente por el borde más bajo de la franja que se esté tratando, y se continuará hacia su borde más alto, solapándose las sucesivas pasadas. Durante la compactación se dispondrá de un equipo capaz de extender agua en forma de neblina sobre la superficie del firme reciclado, a fin de evitar que se produzcan desecaciones.

En una sección transversal cualquiera, la compactación de una franja deberá quedar terminada antes de que haya transcurrido el plazo de trabajabilidad de la adyacente ejecutada previamente.

En lugares inaccesibles para los compactadores se emplearán placas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr resultados análogos a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

#### 21.5.10 Terminación de la superficie

Una vez terminada la compactación no se permitirá su recrecimiento. Sin embargo, y siempre dentro del plazo de trabajabilidad establecido, se podrá hacer un refino con motoniveladora, procediendo a continuación a barrer la superficie y, tras una eventual humectación, a la recompactación del área corregida. Los materiales procedentes del refino deberán ser retirados a un vertedero autorizado. Salvo justificación en contrario, la terminación final se efectuará utilizando rodillos lisos sin vibración.

Se eliminarán los excesos laterales sin la compactación adecuada, excepto si forman parte del talud exterior de la plataforma, que se tratará según lo establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto por el Director de las Obras.

#### 21.5.11 Ejecución de juntas

Después de haber extendido y compactado una franja, se realizará la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

Si se trabajase por franjas, se dispondrá una junta longitudinal donde la demora entre las operaciones en dos (2) contiguas rebasase el plazo de trabajabilidad de la mezcla.

Las juntas longitudinales entre la zona reciclada y el firme existente deberán situarse en los bordes del carril o, si fuese indispensable, en su centro, pero nunca en las franjas de rodadura (rodadas).

La anchura de las franjas longitudinales de extensión se fijará de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación y las características del equipo empleado.

Entre las sucesivas pasadas del equipo de reciclado deberá producirse un solape con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente trata-

das o la acumulación de segregaciones. Este solape vendrá impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar y generalmente estará comprendido entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm). La máquina dosificadora-mezcladora deberá tener cerrados los difusores de cemento y de agua correspondientes a la franja de solape para evitar la producción de mezcla reciclada con dotaciones distintas de la especificada.

Se dispondrán juntas transversales de trabajo donde el proceso constructivo se interrumpiera un tiempo superior al de trabajabilidad de la mezcla.

Las juntas transversales de trabajo se efectuarán fresando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación del cemento en la zona no tratada.

#### 21.5.12 Curado y protección superficial

Una vez finalizadas las operaciones de compactación y terminación, y en cualquier caso antes de transcurridas tres horas (3 h), se procederá a la aplicación de un riego de curado, de acuerdo con el artículo 532 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Inmediatamente después, y salvo que la carretera vaya a permanecer cerrada a todo tipo de tráfico hasta la extensión de la capa superior de mezcla bituminosa, se procederá a la extensión de un árido de cobertura que cumplirá lo especificado en el artículo 532 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Tras su extensión se procederá al apisonado con un compactador de neumáticos y, previamente a la apertura al tráfico, se barrerá para eliminar el árido sobrante.

No se podrá circular sobre la superficie reciclada hasta que no se produzca la rotura de la emulsión de curado y esté asegurada su integridad bajo el tráfico.

## 21.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse el reciclado *in situ* con cemento será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, que se realizará con el espesor y la fórmula de trabajo prescritos y empleando los mismos medios que vaya a utilizar luego el Contratista para la ejecución de las obras, para comprobar la fórmula de trabajo, el funcionamiento de los equipos necesarios para la ejecución de las obras y, especialmente, la forma de actuación del equipo de compactación. Asimismo, se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del reciclado con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de reciclado, granulometría, contenido de cemento y demás requisitos exigidos.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será inferior a doscientos metros (200 m) para carreteras con categoría de tráfico pesado T2 y a cien metros (100 m) en el resto de los casos. El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

Además, al comienzo de cada tramo homogéneo:

- Se comprobará la profundidad de fresado.
- Se ajustará la velocidad de avance del equipo para obtener la profundidad de fresado, la granulometría especificada y una mezcla uniforme y homogénea.

- Se determinará la granulometría del material fresado que se vaya a reciclar.
- Se comprobará y ajustará la fórmula de trabajo obtenida para ese tramo.

Asimismo, durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán los aspectos siguientes:

- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la dosificación del cemento establecidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.
- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la densidad y la humedad *in situ* establecidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.
- Se comprobará en la mezcla la precisión de los sistemas de dosificación del cemento y del agua y, en su caso, de las adiciones.
- Se establecerán las relaciones entre humedad y densidad alcanzada.
- Se establecerán las relaciones entre orden y número de pasadas de los compactadores y la densidad alcanzada.
- Se medirá el esponjamiento de la capa reciclada, por diferencia de espesor antes del fresado y después de la compactación.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula de trabajo. En el primer caso se podrá iniciar la ejecución del reciclado. En el segundo, deberá proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en la central de fabricación y en los sistemas de extensión, etc.).
- Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista. En el primer caso, aprobará su forma específica de actuación. En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar equipos suplementarios.

Los resultados obtenidos en el tramo de prueba válido servirán para fijar la fórmula de trabajo definitiva y los valores de referencia para los ensayos de información.

Antes de transcurridos veintiséis días (26 d) de su puesta en obra y previamente a la ejecución de la siguiente capa se extraerán del tramo aceptado seis (6) testigos cilíndricos enteros, según la UNE 83302. Dichos testigos estarán situados en emplazamientos aleatorios que disten entre sí un mínimo de siete metros (7 m) en sentido longitudinal, y separados más de cincuenta centímetros (50 cm) de cualquier grieta de retracción, junta transversal o borde visibles. Estos testigos se ensayarán a compresión simple, según la NLT-305, después de haber sido conservados durante cuarenta y ocho horas (48 h) al aire en ambiente de laboratorio, en las condiciones establecidas en la UNE 83302. El valor medio de los resultados de estos ensayos servirá de base para su comparación con los obtenidos en los ensayos de información a los que se refiere el apartado 21.10.

## 21.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

### 21.7.1 Densidad

La densidad media en el espesor de la capa reciclada obtenida en cualquier punto será superior al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado según la

UNE 103501, para la fórmula de trabajo aprobada, y con este valor se fabricarán las probetas para la determinación de la resistencia a compresión simple.

La densidad mínima en el fondo o en superficie de la capa reciclada no será inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad obtenida según la UNE 103501.

### 21.7.2 Resistencia mecánica

La resistencia a compresión simple a siete días (7d), según la NLT-305, no deberá ser inferior al límite especificado en el apartado 21.3.

### 21.7.3 Terminación, rasante, anchura y espesor

La superficie de la capa reciclada terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.

La rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto ni quedar por debajo de ella en más de veinte milímetros (20 mm). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá modificar el límite anterior.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa reciclada, que en ningún caso deberá ser inferior ni superar en más de diez centímetros (10 cm) a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

### 21.7.4 Regularidad superficial

El índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 21.4.

TABLA 21.4. ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI (dm/hm)
50	< 3,0
80	< 3,5
100	< 4,5

## 21.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la ejecución del reciclado *in situ* con cemento:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35 °C).
- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C). El Director de las Obras podrá aumentar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

En los casos en los que el Director de las Obras autorice la extensión del cemento en seco, su distribución deberá interrumpirse cuando la fuerza del viento sea excesiva, a juicio de aquel, teniendo siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que,

en materia ambiental y de seguridad y salud, estuviese vigente y respetando las limitaciones indicadas en el apartado 21.5.5.

## 21.9 CONTROL DE CALIDAD

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, para cada caso, el método de control, tamaño del lote y tipo y número de ensayos a realizar. También se establecerán los métodos rápidos de control que pueden utilizarse y las condiciones básicas de empleo.

Los ensayos *in situ* se realizarán y, en su caso, las muestras se tomarán y los testigos se extraerán en puntos previamente seleccionados mediante un muestreo aleatorio, tanto longitudinal como transversalmente, realizado de forma que haya al menos uno por cada hectómetro (1/hm).

### 21.9.1 Control de procedencia de los materiales

#### 21.9.1.1 Cemento

El cemento deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 202 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 21.9.1.2 Árido de aportación

Se examinará la descarga al acopio o al equipo de extensión, desechando los áridos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo. Se acopiarán aparte las partidas que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lajas, arcilla, etc., hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

En su caso, se vigilará la altura de los acopios y el estado de su contorno y accesos.

Si con el árido se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias del artículo 500 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) o estuviesen en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad homologado, según lo indicado en el apartado 21.12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia del árido no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el apartado anterior, de cada procedencia del árido y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos:

#### Al menos una vez al día (1/d):

- Granulometría, según la UNE-EN 933-1.
- Equivalente de arena, según UNE-EN 933-8 y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

#### Al menos una vez a la semana, o cuando se cambie el suministro o lugar de procedencia:

- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y 103104, respectivamente.
- Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.
- Contenido de compuestos de azufre, según la UNE-EN 1744-1.

#### Al menos una vez al mes, o cuando se cambie de procedencia, y al menos tres veces durante la ejecución de las obras:

- Índice de lajas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.
- Coeficiente de Los Angeles, según la UNE-EN 1097-2.

### 21.9.2 Control de ejecución

#### 21.9.2.1 Dosificación del cemento

Cuando el cemento se incorpore directamente a la recicladora en forma de lechada, se controlará al menos una vez por la mañana y otra por la tarde el funcionamiento de las boquillas de inyección. Asimismo se contrastará diariamente el consumo efectivo de cemento con la información proporcionada por el microprocesador para control del volumen de lechada añadido.

Cuando el Director de las Obras autorice que el cemento se extienda en seco sobre el firme a reciclar, su dotación se controlará mediante una lona o bandeja de superficie y masa conocidas, que se colocará antes de la extensión del material y se pesará con posterioridad. Dicho control se realizará al menos una vez por la mañana y otra por la tarde, debiendo incrementarse su frecuencia en días de viento.

#### 21.9.2.2 Fresado y mezcla reciclada

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una vez por lote, definido en el apartado 21.9.3, se tomará una muestra del material a la salida de la recicladora para determinar su granulometría, según la UNE-EN 933-1.

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una vez por lote, definido en el apartado 21.9.3, se determinará el contenido de humedad de la mezcla según la UNE 103300.

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una vez por lote, definido en el apartado 21.9.3, se tomará una muestra del material a la salida de la recicladora para realizar dos (2) series de tres (3) probetas cada una de ellas, de acuerdo con la NLT-310.

Si el reciclado se realiza con dos equipos trabajando en paralelo, se fabricarán por cada uno de ellos las mismas probetas indicadas en el párrafo anterior.

Dichas probetas se conservarán en las condiciones previstas en la UNE 83302 y se ensayarán a compresión simple, a las edades especificadas, de acuerdo con la NLT-305.

Tanto el número de series como el de probetas por serie podrán ser incrementados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o bien por el Director de las Obras.

La adición de agua o de lechada se controlará con el caudalímetro de la recicladora, que dispondrá de un sistema automático de registro, de forma que se obtenga en cada tramo la humedad especificada.

Además se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de las Obras, que la profundidad y anchura de reciclado y la velocidad del rotor y de avance del equipo son las autorizadas de acuerdo con el apartado 21.6.

Se comprobará a menudo el espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras, teniendo en cuenta la disminución que experimentará el material al ser compactado.

Se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de las Obras, el aspecto de la mezcla reciclada, especialmente la dispersión homogénea del cemento, homogeneidad de la superficie y la ausencia de grumos y segregaciones.

Se comprobará la composición y forma de actuación del equipo de compactación, verificando:

- Que el número y tipo de compactadores es el aprobado.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación y limpieza.
- El lastre y masa total de los compactadores y, en su caso, la presión de inflado de las ruedas de los compactadores de neumáticos.
- La frecuencia y la amplitud de los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada compactador.

En cada una de las franjas de reciclado se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote de los definidos en el apartado 21.9.3. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente contrastados en la realización del tramo de prueba.

Cuando las determinaciones se realicen mediante sonda nuclear, para la determinación de la densidad media la varilla con la fuente radiactiva deberá introducirse hasta el fondo de la capa reciclada, o al menos hasta treinta centímetros (30 cm) de profundidad si el espesor a tratar fuera superior. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas se proseguirá el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos.

Se controlará que la superficie del material reciclado permanezca constantemente húmeda antes de la extensión del producto de curado.

Se realizará, como mínimo, un control diario de la dotación de emulsión bituminosa empleada para el curado y, en su caso, del árido de cobertura, mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares de superficie y masa conocidas, colocados sobre la capa reciclada durante la aplicación del riego de curado.

### 21.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes, dentro de cada tramo homogéneo:

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m<sup>2</sup>).
- La fracción construida diariamente.

Se extraerán testigos cilíndricos en puntos aleatoriamente situados, en número no inferior al establecido por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto por el Director de las Obras, y sobre ellos se determinará el espesor de capa. El número mínimo de testigos por lote será de dos (2), aumentándose hasta cinco (5) si el espesor de alguno de los dos (2) primeros fuese inferior al prescrito. Los orificios producidos se rellenarán con material de la misma calidad que el utilizado en el resto de la capa, el cual será correctamente compactado y enrasado.

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará mediante el índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 21.7.4.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa.

## 21.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

### 21.10.1 Densidad

La densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en el apartado 21.7.1. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada del lote presentará un valor inferior al prescrito en más de dos (2) puntos porcentuales.

Si la densidad media obtenida es inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501, se levantará mediante fresado la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado y se repondrá, con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista. Si la densidad media obtenida no es inferior al noventa y cinco por ciento (95%) se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado.

### 21.10.2 Resistencia

La resistencia de un lote a una determinada edad se calculará como media de las resistencias de las probetas fabricadas de acuerdo con lo indicado en el apartado 21.3.

Si la resistencia del lote fuera inferior a la exigida, pero no a su noventa por ciento (90%), el Contratista podrá elegir entre aceptar las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o solicitar la realización de ensayos de información. Dichas sanciones no podrán ser inferiores a la aplicación de una penalización al precio unitario del lote, cuya cuantía sea igual a dos (2) veces la merma de resistencia, expresadas ambas en porcentaje.

Si la resistencia del lote fuera menor del noventa por ciento (90%) de la exigida se realizarán ensayos de información. Para ello antes de transcurridos veintiséis días (26 d) de su puesta en obra se extraerán del lote seis (6) testigos cilíndricos enteros, según la UNE 83302. Dichos testigos estarán situados en emplazamientos aleatorios que disten entre sí un mínimo de siete metros (7 m) en sentido longitudinal, y separados más de cincuenta centímetros (50 cm) de cualquier grieta de retracción, junta transversal o borde visibles. Estos testigos se ensayarán a compresión simple, según la NLT-305, después de haber sido conservados durante cuarenta y ocho horas (48 h) al aire en ambiente de laboratorio, en las condiciones establecidas en la UNE 83302.

El Director de las Obras podrá autorizar que los testigos de referencia se extraigan de un lote aceptado cuya situación e historial lo hicieran comparable a aquél que vaya a ser sometido a ensayos de información.

El valor medio de los resultados de estos ensayos se comparará con el valor medio de los resultados del tramo de referencia:

- Si no fuera inferior, el lote se considerará aceptable.
- Si fuera inferior a él, pero no inferior a su noventa por ciento (90%), se aplicarán al lote las sanciones previstas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Si fuera inferior al noventa por ciento (90%), pero no a su setenta por ciento (70%), el Director de las Obras podrá aplicar

las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y ordenar un aumento de espesor de las capas superiores que compense la merma de resistencias, sin incremento de coste para la Administración. En los restantes casos el Director de las Obras ordenará la demolición del lote y su reconstrucción a expensas del Contratista. Las sanciones referidas no podrán ser inferiores a la aplicación de una penalización al precio unitario del lote, cuya cuantía sea igual a dos (2) veces la merma de resistencia, expresadas ambas en porcentaje.

### 21.10.3 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los Planos de secciones tipo. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada del lote presentarán resultados que bajen del especificado en más de un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido es inferior al especificado, se compensará la diferencia con un espesor adicional equivalente de la capa superior aplicado en toda la anchura de la sección tipo, por cuenta del Contratista.

### 21.10.4 Rasante

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas, ni existirán zonas que retengan agua. Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración. Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, se corregirá este mediante fresado por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

### 21.10.5 Regularidad superficial

Los resultados de la medida de la regularidad superficial de la capa acabada no excederán de los límites establecidos en el apartado 21.7.4. Si los resultados de la regularidad superficial de la capa terminada exceden los límites, se procederá de la siguiente manera:

- Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista.
- Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

## 21.11 MEDICIÓN Y ABONO

El cemento empleado en el reciclado se abonará por toneladas (t), obtenidas multiplicando la medición abonable de mezcla reciclada por la me-

nor de las dos cantidades siguientes: dosificación establecida en la fórmula de trabajo o dosificación media deducida de los ensayos de control de cada lote.

La ejecución del reciclado se abonará por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de superficie reciclada con el espesor indicado en los Planos de la sección tipo, el cual se entiende como mínimo en cualquier punto. Dicha superficie se obtendrá multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada.

En dicho abono se considera incluida la disgregación por fresado de las capas del firme existente, la mezcla y homogeneización del material fresado, el agua de amasado y, en su caso, los aditivos, la extensión, la prefisuración, la compactación y la terminación de la mezcla reciclada.

El árido de aportación, en su caso, se abonará por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición abonable de ejecución del reciclado, la dosificación de la fórmula de trabajo para ese tramo.

No tendrán derecho a un incremento de abono las zonas solapadas o las superficies que por sus defectos haya sido necesario reciclar en más de una pasada.

No serán de abono las creces laterales, ni la limpieza de la superficie existente.

La aplicación del ligante bituminoso para el curado se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo.

El árido de protección superficial, incluidos su extensión y su apisonado, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

## 21.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según ámbito) o los Organismos españoles –públicos y privados– autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

### NORMAS REFERENCIADAS

<b>NLT-305</b>	<i>Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.</i>
<b>NLT-310</b>	<i>Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados.</i>
<b>NLT-330</b>	<i>Cálculo del índice de regularidad internacional IRI en pavimentos de carreteras.</i>

## NORMAS REFERENCIADAS

- UNE 41240** *Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. Métodos de ensayo. Determinación del plazo de trabajabilidad.*
- UNE 83302** *Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.*
- UNE 103103** *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.*
- UNE 103104** *Determinación del límite plástico de un suelo.*
- UNE 103201** *Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.*
- UNE 103204** *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.*
- UNE 103300** *Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.*
- UNE 103501** *Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.*
- UNE 146507-1** *Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato.*
- UNE-EN 196-3** *Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.*
- UNE-EN 932-1** *Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.*
- UNE-EN 933-1** *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.*
- UNE-EN 933-2** *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.*
- UNE-EN 933-3** *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.*
- UNE-EN 933-8** *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena.*
- UNE-EN 933-9** *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.*
- UNE-EN 1097-2** *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.*
- UNE-EN 1744-2** *Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.*

## RECICLADO EN CENTRAL EN CALIENTE DE CAPAS BITUMINOSAS

### 22.1 DEFINICIÓN

Se define como reciclado en central en caliente de capas bituminosas la técnica consistente en la utilización del material resultante de la disgregación (mediante fresado, o demolición y trituración) de capas de mezcla bituminosa de pavimentos envejecidos en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente de las definidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

A los efectos de la aplicación de este artículo, una mezcla bituminosa reciclada contendrá una proporción en masa del material bituminoso a reciclar comprendida entre el diez (10) y el cincuenta por ciento (50%) de la masa total de la mezcla.

La ejecución de una mezcla bituminosa reciclada en central en caliente incluye las siguientes operaciones:

- Acopio del material procedente de pavimentos bituminosos envejecidos.
- Tratamiento del material bituminoso a reciclar en bruto.
- Caracterización y acopio del material bituminoso a reciclar tratado.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie sobre la que se va a extender la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

### 22.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE; en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso, además, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

#### 22.2.1 Ligante hidrocarbonado

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear de acuerdo con los artículos 211 o 215 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Dicho ligante será seleccionado en función de la proporción y las características del ligante procedente del material bituminoso a reciclar, de forma que al combinarse con éste se obtenga un ligante con características similares a las de los indicados en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) dependiendo de la capa a que se destine la mezcla bitu-

minosa reciclada en caliente, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado.

El tipo y proporción del ligante de aportación necesario se definirá en función de la penetración del ligante final.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>) o cuando las mezclas bituminosas recicladas contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material bituminoso a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se realizará un estudio completo del ligante procedente del material bituminoso a reciclar y del ligante final. En ese estudio se analizarán, además de la penetración, los valores del punto de reblandecimiento, del punto de fragilidad, de la ductilidad y del índice de penetración, de forma que se asegure que el ligante final presenta unas características similares a las del betún convencional correspondiente.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá establecer el empleo de aditivos, tales como activantes o agentes rejuvenecedores, que recompongan y aporten las fracciones que hayan desaparecido o se encuentren en proporciones menores a las necesarias en el ligante envejecido.

#### 22.2.2 Áridos

Los áridos nuevos a emplear en las mezclas bituminosas recicladas en central en caliente deberán cumplir las correspondientes especificaciones recogidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 22.2.3 Material bituminoso a reciclar y su tratamiento

Se entenderá por material bituminoso a reciclar el material procedente de la disgregación, por fresado o trituración, de capas de mezcla bituminosa. Este material estará compuesto por áridos de buena calidad y bien graduados cubiertos por betún asfáltico envejecido. También podrán incluirse dentro de este material los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla bituminosa, que sin presentar problemas de calidad en cuanto a sus componentes y envuelta, no haya sido colocada en obra (material sobrante, material rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.).

A la central de fabricación podrán llegar materiales bituminosos procedentes de pavimentos de distintas características que se acopiarán constituyendo el material bituminoso a reciclar en bruto. En todo caso, el material bituminoso a reciclar no podrá contener más del veinte por ciento (20%) de mezclas bituminosas distintas de los tipos densas (D), semidensas (S) o gruesas (G) definidos en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

En principio, todos los materiales recuperados de mezclas bituminosas son susceptibles de ser reciclados, excepto los que hayan presentado deformaciones plásticas. Sobre los que contengan en su composición original adiciones modificadoras de la reología del ligante bituminoso o del comportamiento mecánico de la mezcla bituminosa (fibras, caucho, etc.), debido a la posible emisión de contaminantes a la atmósfera durante el proceso de fabricación de la nueva mezcla, se deberá hacer un estudio especial.

También deberá realizarse un estudio especial cuando el material bituminoso a reciclar contenga los siguientes materiales definidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3): riegos con gravilla (artículo 533), lechadas bituminosas (artículo 540), mezclas bituminosas drenantes (artículo 542) o mezclas bituminosas discontinuas en caliente (artículo 543).

El material que se incorporará al proceso de producción deberá ser homogéneo, no contener contaminantes y estar totalmente caracterizado y referenciado, por lo que el material bituminoso a reciclar en bruto se someterá en la central a un tratamiento previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización. El proceso anterior convertirá el material bituminoso a reciclar en bruto en material bituminoso a reciclar tratado.

El material bituminoso a reciclar tratado, una vez disgregado, deberá pasar en todo caso por el tamiz 25 mm de la UNE 933-2.

Las propiedades del material bituminoso a reciclar tratado deberán cumplir, en cualquier caso, con las características señaladas en los apartados siguientes.

### 22.2.3.1 Homogeneidad del material bituminoso a reciclar

Para la utilización de cualquier acopio de material bituminoso a reciclar, la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante y el contenido de éste deberán cumplir, respecto a los valores especificados en la fórmula de trabajo, las tolerancias indicadas en la tabla 22.1.

### 22.2.3.2 Contaminantes

El material bituminoso a reciclar tratado deberá estar exento de materiales contaminantes: hormigones, morteros, ladrillos, cemento, metales, maderas, materiales sintéticos, etc., y especialmente de aquellos que en la fabricación de la mezcla reciclada pudieran producir contaminación atmosférica.

### 22.2.3.3 Ligante hidrocarbonado del material bituminoso a reciclar

El ligante hidrocarbonado procedente del material bituminoso a reciclar, deberá ser susceptible de mezclarse homogéneamente con el ligante hidrocarbonado de aportación, y dar lugar a un producto de características similares a los betunes indicados en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

### 22.2.3.4 Árido del material bituminoso a reciclar

Los áridos procedentes del material bituminoso a reciclar no deberán presentar signos de meteorización y deberán poseer unas propiedades de dureza y calidad similares a las exigidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) a los áridos nuevos de aportación.

Estas propiedades deberán ser evaluadas directamente con los ensayos establecidos en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) para los áridos nuevos. El Director de las Obras podrá aceptar como evaluación indirecta de dichas propiedades los ensayos mecánicos a realizar sobre la mezcla bituminosa reciclada, en particular, la resistencia conservada en el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-I 62, que deberá ser como mínimo del setenta y cinco por ciento (75%).

### 22.2.4 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará los aditivos que puedan utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como las mezclas bituminosas resultantes. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

## 22.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El tipo y características de la mezcla bituminosa en caliente reciclada será fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares entre las especificadas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y las prescripciones complementarias siguientes.

No se emplearán mezclas bituminosas recicladas en caliente para la fabricación de mezclas de alto módulo (MAM) con características asociadas de mayor capacidad estructural respecto a mezclas bituminosas en caliente tipo densas (D), semidensas (S) o gruesas (G).

La denominación del tipo de mezcla bituminosa en caliente reciclada se compondrá añadiendo a la denominación del tipo de mezcla correspondiente del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) la letra "R" y dos dígitos que indiquen la proporción de material bituminoso reciclado empleado en la mezcla (Por ejemplo: S20R35).

La dotación total de ligante hidrocarbonado (el de aportación más el procedente del material bituminoso a reciclar) no será inferior expresada en proporción en masa sobre el total de los áridos en seco de la mezcla (incluido el polvo mineral y los áridos procedentes del material bituminoso a reciclar), al cuatro por ciento (4%) en capas intermedias y al tres y medio por ciento (3,5%) en capas de base, incluidas las tolerancias.

La dotación de ligante de aportación deberá ser como mínimo el sesenta por ciento (60%) de la dotación total del ligante hidrocarbonado de la mezcla reciclada.

La razón entre la estabilidad Marshall y la deformación Marshall será inferior a ocho kilonewton por milímetro (8 kN/mm).

TABLA 22.1. TOLERANCIAS SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO DEL MATERIAL BITUMINOSO A RECICLAR

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	TOLERANCIA
Cernido tamices > 2 mm	% en masa del material a reciclar seco	± 5
Cernido tamices > 0,063 mm y ≤ 2 mm		± 3
Cernido tamiz 0,063 mm		± 1,5
Contenido de ligante		± 0,4
Penetración del ligante recuperado	0,1 mm	± 4

## 22.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El equipo necesario para la ejecución de las obras cumplirá las especificaciones establecidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), teniendo en cuenta las siguientes prescripciones adicionales.

### 22.4.1 Central de trituración

Cuando el material bituminoso a reciclar presente problemas de homogeneidad o un tamaño excesivo se procederá a su trituración y mezcla.

Para la trituración se usarán instalaciones de trituración que proporcionen un producto granular uniforme. En el caso de que haya contaminantes de tipo metálico se dotará a la central de trituración de un dispositivo para su detección y eliminación.

### 22.4.2 Central de fabricación

Las centrales de fabricación serán capaces de adicionar durante el proceso de mezcla en caliente el material bituminoso a reciclar sin deterioro de los materiales. Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental.

En las centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación deberá ser ponderal, para el material bituminoso a reciclar, y deberá tener en cuenta la humedad de éste, para corregir la dosificación en función de ella. La central deberá disponer de un dispositivo que permita la incorporación del material bituminoso a reciclar tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella. Los gases producidos en el calentamiento del material bituminoso a reciclar deberán ser quemados durante el proceso, debiendo evitarse en todo momento su emisión a la atmósfera.

Las centrales de fabricación de tambor secador-mezclador, en las que el flujo de áridos coincide con el del tiro del humo, no se emplearán si las cantidades de material bituminoso a reciclar superan el veinticinco por ciento (25%).

De las centrales de fabricación continuas de tambor secador-mezclador se emplearán preferentemente aquellas en las que el flujo de áridos va en contra del tiro del humo o las que tengan doble tambor, que eviten la exposición directa a la llama del material bituminoso a reciclar.

Las centrales de fabricación discontinua deberán estar provistas de un tambor secador independiente para el material bituminoso a reciclar. Los gases producidos en su calentamiento deberán ser recogidos y quemados durante el proceso de fabricación de la mezcla, evitándose en todo momento su emisión a la atmósfera. Además éstas centrales deberán estar provistas de silos para almacenar en caliente el material bituminoso a reciclar, y un sistema de dosificación ponderal del material bituminoso a reciclar.

## 22.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), con las prescripciones complementarias siguientes.

### 22.5.1 Acopio del material bituminoso a reciclar en bruto

El material bituminoso a reciclar podrá emplearse en la misma obra de la que procede o acopiarse para su posterior utilización en otro lugar. Los acopios deberán estar cubiertos y el tiempo de almacenamiento se re-

ducirá al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad del material bituminoso a reciclar aumente excesivamente. Cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30 °C), los acopios no superarán los tres metros (3 m) de altura, para evitar que el material bituminoso a reciclar se aglomere.

Se examinará la descarga al acopio desechando los materiales que a simple vista presenten contaminaciones.

Deberá llevarse un registro de la procedencia del material bituminoso a reciclar, identificando y acopiando aparte los materiales provenientes de mezclas distintas de los tipos densas (D), semidensas (S) o gruesas (G) definidos en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

También deberán acopiarse aparte los materiales para los que sea necesario realizar un estudio especial según el apartado 22.2.3 hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

### 22.5.2 Tratamiento del material bituminoso a reciclar bruto

El material bituminoso a reciclar bruto se tratará y mezclará para su homogeneización y descontaminación.

Para ello se triturarán todos los bloques y bolos con objeto de que todo el material pase por el tamiz 25 mm de la UNE-EN 933-2.

Se procederá también a la eliminación de cualquier contaminante, y en especial se usará un procedimiento de detección y eliminación de elementos metálicos.

Posteriormente el material deberá ser mezclado hasta obtener un producto homogéneo, que no presente segregaciones.

### 22.5.3 Caracterización y acopio del material bituminoso a reciclar tratado

Una vez tratado el material bituminoso a reciclar, se dispondrá en acopios homogéneos. Para que un acopio se considere homogéneo, realizados los ensayos del apartado 22.9.1, los valores de los resultados cumplirán las tolerancias establecidas en la tabla 22.1.

Los materiales que cumplan los criterios de homogeneidad se podrán acopiar juntos. Cada acopio homogéneo quedará identificado y caracterizado por los resultados de los ensayos realizados según el apartado 22.9.1 y podrá emplearse en la fabricación de mezcla bituminosa reciclada en caliente con una misma fórmula de trabajo.

Los acopios de material bituminoso a reciclar tratado serán considerados como lotes aislados, evitando que se mezclen y contaminen entre ellos. El volumen de cada uno de estos acopios será el suficiente para garantizar, al menos, el trabajo de un día o la producción requerida si ésta es menor, con objeto de no cambiar la fórmula de trabajo y poder controlar e identificar adecuadamente la mezcla fabricada.

Los acopios deberán situarse en una zona bien drenada y sobre una superficie revestida. Si se dispusieran en terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de los acopios. Los acopios se formarán por capas. Deberá vigilarse la altura de los acopios para evitar que el material bituminoso se aglomere, especialmente con temperaturas altas, limitándose aquélla a tres metros (3 m) cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30 °C).

Los acopios deberán estar a cubierto y el tiempo de almacenamiento se reducirá al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad aumente excesivamente.

#### 22.5.4 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo fijará, además de las características establecidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) las siguientes:

- Proporción en masa del material bituminoso a reciclar, referido a la masa total de áridos nuevos de aportación más el material bituminoso a reciclar.
- Granulometría del árido contenido en el material bituminoso a reciclar, por los tamices 40 mm; 25 mm; 20 mm; 12,5 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 0,500 mm; 0,250 mm; 0,125 mm; y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, y contenido de ligante hidrocarbonado del material bituminoso a reciclar, referido a la masa total del material bituminoso a reciclar.
- La identificación y proporción de cada fracción del árido nuevo de aportación (incluido el polvo mineral de aportación) en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente, referidas a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material bituminoso a reciclar.
- La granulometría de los áridos de la mezcla bituminosa reciclada, resultado de la combinación de los áridos aportados más los procedentes del material bituminoso a reciclar, por los tamices 40 mm; 25 mm; 20 mm; 12,5 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 0,500 mm; 0,250 mm; 0,125 mm; y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.
- Tipo y características del ligante hidrocarbonado de aportación.
- La dosificación de ligante hidrocarbonado de aportación, referida a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material bituminoso a reciclar.
- En su caso, el tipo y la dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.
- La densidad mínima a alcanzar.

También se señalarán:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos nuevos con el material bituminoso a reciclar y de ésta con el ligante.
- Las temperaturas máxima y mínima y la humedad máxima del material bituminoso a reciclar en la tolva y en la báscula de dosificación a la entrada del mezclador (en ningún caso se calentará el material bituminoso a reciclar a una temperatura superior a la del ligante de aportación).

Los tiempos para la mezcla en caliente de los áridos y para la mezcla con el ligante vendrán determinados por la homogeneidad de la mezcla, la total desintegración de los nódulos de material bituminoso a reciclar y la incorporación del ligante, y en su caso del aditivo rejuvenecedor, con el ligante del material a reciclar.

#### 22.5.5 Fabricación de la mezcla

Los dosificadores de áridos en frío y del material bituminoso a reciclar se regularán de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se ajustará a la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador de áridos y del calentador de material bituminoso a reciclar.

Los gases desprendidos al calentar el material bituminoso a reciclar deberán ser recogidos y quemados durante el proceso, evitando su vertido a la atmósfera.

En centrales cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación fuese continua, los áridos calentados y, en su caso, clasificados, se pesarán y se transportarán al mezclador, incorporando el material bituminoso a reciclar en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador. Si la alimentación de éste fuese discontinua, después de haber introducido los áridos en el mezclador, se pesará e introducirá el material bituminoso a reciclar junto al polvo mineral y, después de un tiempo de disgregación, calentamiento y mezcla, se agregará el ligante hidrocarbonado, y en su caso los aditivos, para cada amasada, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En centrales de mezcla continua con tambor secador-mezclador se apartará el material bituminoso a reciclar tras la llama de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

#### 22.6 TRAMO DE PRUEBA

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 22.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 22.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

#### 22.9 CONTROL DE CALIDAD

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), con las prescripciones complementarias siguientes.

##### 22.9.1 Control de procedencia del material bituminoso a reciclar

Se tomarán muestras del material bituminoso a reciclar tratado con objeto de analizar su homogeneidad y caracterizar los acopios.

Para ello, por cada quinientas toneladas (500 t) de acopio de material tratado, si se va a emplear en la fabricación de la mezcla un porcentaje de material bituminoso reciclado inferior al veinticinco por ciento (25%), y por cada doscientas toneladas (200 t) de acopio, si se va a emplear un porcentaje de material bituminoso superior a esa cantidad, se tomarán cinco (5) muestras y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría del material disgregado, según la UNE-EN 933-1.
- Contenido de ligante, según la NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según la NLT-165.

Además, de dos (2) de ellas se determinará también:

- Penetración del ligante recuperado, según la NLT-124.

- Punto de reblandecimiento anillo y bola del ligante recuperado, según la NLT-125.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según la NLT-181.
- Coeficiente de Los Ángeles del árido recuperado, según la UNE-EN 1097-2.
- Densidad relativa y absorción del árido recuperado, según las NLT-153 y NLT-154.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>) o mezclas bituminosas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material bituminoso a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se determinará además:

- Punto de fragilidad Fraass, según la NLT-182.
- Ductilidad, según la NLT-126.

### 22.9.2 Control de calidad del material bituminoso a reciclar

Se examinará cada acopio de material bituminoso a reciclar, desechando los que no cumplan con los límites de tolerancias de granulometría y de contenido de ligante establecidos en el apartado 22.2.3.1.

Se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus elementos separadores y de los accesos.

Sobre cada acopio que se utilice se realizarán los siguientes ensayos:

#### Al menos dos veces al día (2/d):

- Granulometría del material disgregado, según la UNE-EN 933-1.
- Contenido de ligante, según la NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según la NLT-165.

#### Al menos una (1) vez a la semana, o cuando se cambie de procedencia:

- Penetración del ligante recuperado, según la NLT-124.
- Punto de reblandecimiento anillo y bola del ligante recuperado, según la NLT-125.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según la NLT-181.
- Densidad relativa y absorción del árido recuperado, según las NLT-153 y NLT-154, respectivamente.

#### Al menos una (1) vez al mes, o cuando se cambie de procedencia:

- Punto de fragilidad Fraass del ligante recuperado, según la NLT-182.
- Ductilidad del ligante recuperado, según la NLT-126.

### 22.9.3 Control de ejecución

#### 22.9.3.1 Fabricación

Al comenzar la fabricación y al menos dos veces al día, o cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas cada hora, se determinará la humedad, según la UNE 103300, del material bituminoso a reciclar, en la tolva o cinta de carga desde el acopio y en la descarga de la tolva de dosificación y alimentación al mezclador.

### 22.9.4 Control de recepción de la unidad terminada

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>), mezclas bituminosas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material bituminoso a reciclar respecto de la masa total de la mezcla o cuando existan dudas razonables sobre la calidad de la mezcla, el Director de las Obras podrá exigir de los testigos extraídos de acuerdo con lo especificado en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), la determinación, además de su densidad y de su espesor, de la resistencia a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5 °C), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente.

La resistencia a tracción deberá ser determinada tanto en seco, directamente sobre los testigos extraídos, como en húmedo, sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60 °C).

## 22.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), y las siguientes prescripciones adicionales.

### 22.10.1 Resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo

La resistencia media a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5 °C), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente, deberá cumplir los valores indicados en la tabla 22.2.

No más del veinte por ciento (20%) de los valores individuales de la muestra deberán ser inferiores a los valores prescritos en la tabla anterior para los casos de penalización.

Además, la resistencia media de los testigos en húmedo deberá ser siempre superior al setenta y cinco por ciento (75%) de la resistencia en seco.

TABLA 22.2.– RESISTENCIA MÍNIMA A TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS TESTIGOS

TIPO DE MEZCLA	ACEPTACIÓN		PENALIZACIÓN	
	Seco <sup>(1)</sup> (MPa)	Húmedo <sup>(2)</sup> (MPa)	Seco <sup>(1)</sup> (MPa)	Húmedo <sup>(2)</sup> (MPa)
<b>Densa (D) y Semidensa (S)</b>	2,5	1,9	2,1	1,6
<b>Gruesa (G)</b>	2,0	1,5	1,6	1,2

<sup>(1)</sup> Directamente sobre los testigos extraídos.

<sup>(2)</sup> Sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60 °C).

De no cumplirse los requisitos anteriores se procederá de la siguiente manera:

- Si la resistencia media en seco, o en húmedo, de la mezcla es inferior al umbral de penalización, se levantará la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado mediante fresado y se repondrá por cuenta del Contratista.
- Si la resistencia media en seco, o en húmedo, está entre los niveles de aceptación y penalización, se aplicará una penalización del diez por ciento (10%) a la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado.
- Si no cumple la prescripción del setenta y cinco por ciento (75%) de resistencia conservada, o el número de valores individuales defectuosos supera el veinte por ciento (20%), se aplicará una penalización del tres por ciento (3%) a la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado.

### 22.11 MEDICIÓN Y ABONO

Se cumplirán las especificaciones del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), con las prescripciones complementarias siguientes.

El material bituminoso a reciclar se considerará incluido en el abono de la mezcla bituminosa reciclada.

El ligante de aportación podrá ser incluido también en el abono de la mezcla reciclada, o bien abonado

aparte. En este caso se determinará la cantidad de ligante de aportación como la diferencia entre el contenido de ligante de la mezcla reciclada y el ligante bituminoso aportado por el material a reciclar.

### 22.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según ámbito) o los Organismos españoles –públicos y privados– autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

### NORMAS REFERENCIADAS

<b>NLT-124</b>	<i>Penetración de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-125</b>	<i>Punto de reblandecimiento anillo y bola de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-126</b>	<i>Ductilidad de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-153</b>	<i>Densidad relativa y absorción de áridos gruesos.</i>
<b>NLT-154</b>	<i>Densidad relativa y absorción de áridos finos.</i>
<b>NLT-162</b>	<i>Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de Inmersión-Compresión).</i>
<b>NLT-164</b>	<i>Contenido de ligante en mezclas bituminosas.</i>
<b>NLT-165</b>	<i>Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas bituminosas.</i>
<b>NLT-181</b>	<i>Índice de penetración de los betunes asfálticos.</i>
<b>NLT-182</b>	<i>Punto de fragilidad Fraass de los materiales bituminosos.</i>
<b>NLT-346</b>	<i>Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas.</i>
<b>NLT-360</b>	<i>Determinación del módulo resiliente, en mezclas bituminosas, mediante ensayo de compresión diametral.</i>
<b>UNE 103300</b>	<i>Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.</i>
<b>UNE-EN 933-1</b>	<i>Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.</i>
<b>UNE-EN 933-2</b>	<i>Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.</i>
<b>UNE-EN 1097-2</b>	<i>Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.</i>