MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE INFRAESTRUCTURAS,
TRANSPORTE Y VIVIENDA

SECRETARIA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

ORDEN CIRCULAR 40/2017 SOBRE RECICLADO DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS

El reciclado de firmes y pavimentos existentes comprende una serie de técnicas constructivas tendentes al máximo aprovechamiento de materiales envejecidos por el uso en la rehabilitación estructural de firmes y pavimentos de carretera. En el caso de los reciclados realizados *in situ*, los equipos de maquinaria integral y los sistemas constructivos específicos actuales para su ejecución permiten la consecución de unas técnicas eficientes y unos productos de alta calidad y homogeneidad, y a unos costes razonablemente competitivos frente a las soluciones tradicionales.

En el tiempo transcurrido tras la aprobación de la Orden Circular 8/2001 Reciclado de firmes, la experiencia adquirida en la obras realizadas y la evolución tecnológica de los equipos y sistemas constructivos, así como la necesidad de considerar las técnicas de reciclado como alternativas ineludibles en los proyectos de rehabilitación estructural de carreteras, aconsejan la actualización de las especificaciones sobre las técnicas de reciclado de firmes y pavimentos, por consideraciones ambientales, de seguridad viaria y económicas.

El anejo de la mencionada orden circular hacía referencia a las tres técnicas más idóneas en aquel momento para la situación (tipología de las secciones estructurales y sus deterioros) existente en los firmes y pavimentos de nuestro país. Las técnicas aludidas eran: 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 un artículo específico de prescripciones técnicas generales.

Con esta nueva orden circular se actualizan los mencionados artículos, con los que se pueden abordar estas técnicas específicas de valorización de materiales envejecidos por el uso. Un aspecto significativo de esta actualización es que se amplían los tipos de actuación de estas unidades de obra, así como se posibilita el aumento de las proporciones de material reciclado a incorporar y se minoran, dentro de lo técnicamente posible, las características iniciales de los productos susceptibles de ser reciclados.

PASEO DE LA CASTELLANA, 67
28071 MADRID
TEL: 91-597 80 24
FAX: 91-597 85 35

Las posibilidades técnicas actuales para el reciclado de materiales de firmes y pavimentos son muy amplias y variadas. Sin embargo, esta orden circular contempla únicamente las tres técnicas recogidas en la O.C. 8/2001, por considerarlas suficientemente sancionadas por la experiencia en la red de carreteras del Estado, actualizándolas e introduciendo nuevas alternativas y variantes de valorización del residuo obtenido dentro de ellas, para propiciar su mayor aplicación en dicha red.

Conviene señalar de forma explícita algunas de las actualizaciones y novedades incluidas en esta orden circular, con respecto a la anterior:

- Por la disponibilidad de materiales a reciclar existentes, y en aras a una mayor y mejor valorización, se amplía el espectro de aplicación de estas técnicas a obras de acondicionamiento de trazado, de ensanche y mejora de plataforma o de ampliación de carriles.
- La posibilidad de aplicación de las tres técnicas de reciclado especificadas en categorías de tráfico pesado más altas que las indicadas en la O.C. 8/2001. En esta última consideración se ha tenido muy en cuenta no sólo la experiencia acumulada de los últimos quince años, sino también la cantidad y calidad de la maquinaria de reciclado *in situ* disponible y de las centrales de fabricación con equipamiento específico para las diferentes opciones de reciclado en caliente y semicaliente existentes.
- Por cuestiones de economía y de sostenibilidad, se incentiva un mayor aprovechamiento de los materiales reciclados de capas bituminosas, posibilitando el empleo de mayores proporciones de materiales reciclados con respecto a la masa total de la mezcla, en relación a la reglamentación vigente.
- Se mejoran y se concretan significativamente los coeficientes de equivalencia de los materiales realizados con mezclas recicladas con respecto a las mezclas convencionales, de acuerdo a la experiencia y conocimientos adquiridos en estos años, así como al estado actual de las técnicas de reciclado.
- Dentro del marco de prescripciones de los betunes, se propicia la aplicación de diferentes innovaciones tecnológicas que permiten la disminución de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas.
- La utilización en los reciclados *in situ* con cemento de equipos con dosificación en forma de lechada y con dosificador-distribuidor volumétrico de la misma con

control programable, para obtener un material de mayor calidad, debido al mayor control del reciclado y a la fiabilidad de dosificación, y con menores riesgos ambientales y de seguridad y salud.

- La entrada en vigor del marcado CE para un gran número de productos de construcción, que son reglamentados a través del articulado del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales y del Reglamento de Productos de Construcción. Por ello, en todo el texto incluido en estos tres artículos resulta obvia la obligatoriedad del marcado CE en los materiales básicos que se incorporen a las mezclas recicladas —razón por la que se hace referencia continua en ellos a los artículos 200, 202, 211, 212 y 214 del PG-3— y, en el caso particular del artículo 22 de esta Orden, a sus productos resultantes, al ser una unidad de obra cuyo material final obtenido puede ser semejante al especificado en el artículo 542 del PG-3.
- La adaptación a las nuevas nomenclaturas y ensayos de las normas europeas armonizadas (UNE-EN).

Los artículos 29, 40 y 51 y la Disposición final única 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 atenerse los estudios, proyectos y obras de construcción y de conservación de la red de carreteras del Estado.

No obstante, resulta inexcusable el cumplimiento del procedimiento de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y de reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, previsto en la Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998, modificada por la Directiva 98/48/CE, de 20 de julio de 1998, así como en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, que incorpora estas directivas al ordenamiento jurídico español y, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 24.1.c) de la Ley 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno, al trámite de audiencia que en ella se establece, proceso que consumirá algún tiempo.

Por todo lo indicado, y debido a la necesidad de contar con unas prescripciones técnicas para el proyecto y la ejecución del reciclado de firmes y pavimentos

bituminosos, cuya contenido ha sido suficientemente difundido y contrastado, para las actuaciones en la red de carreteras del Estado, la Dirección General de Carreteras ha dispuesto lo siguiente:

1. Serán de aplicación en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares para obras de carreteras en servicio de los tipos especificados en el punto 5 de estas disposiciones, los artículos:

- Artículo 20. Reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas.
- Artículo 21. Reciclado *in situ* con cemento de capas de firme.
- Artículo 22. Reciclado en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas.

que se recogen como anexo a esta Orden Circular.

2. Por consideraciones ambientales y de valorización de los materiales envejecidos por el uso en los firmes y pavimentos, en el análisis de soluciones en actuaciones de rehabilitación de un firme cuya superficie de aplicación sea superior a 70 000 m^2, y para cualquier categoría de tráfico pesado, será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reciclado incluidas como anejo a esta Orden Circular, con las limitaciones y prescripciones indicadas en los puntos 3 y 4, siempre que la opción elegida sea ajustada desde el punto de vista técnico y económico, debiéndose tener en cuenta la afección al tráfico por las obras y, muy especialmente, los aspectos relacionados con la seguridad de la circulación viaria.

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

- Sobre los materiales resultantes de la aplicación de cualquiera de las técnicas de reciclado consideradas en esta Orden Circular deberá disponerse siempre, en cualquier caso, capas de recrecimiento con mezclas bituminosas (artículos 542 y 543 del PG-3), con la excepción de los tráficos de categoría T2 a T4 según se indica en la tabla 1.

- Las técnicas de reciclado *in situ* en frío, con emulsión o con cemento, no podrán utilizarse en ningún caso en carreteras con categorías de tráfico pesado T00 y T0, con la excepción, que se indica posteriormente, de los arcenes.

– Se seguirán los criterios de aplicación de las técnicas de reciclado, que se recogen en la tabla 1, en función de la categoría de tráfico de las carreteras, así como lo indicado en el punto 4 sobre dimensionamiento de la sección del firme o del pavimento.

TABLA 1 – CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO

TIPO DE RECICLADO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	**T0**	**T1**	**T2**	**T3 y T4**
En central	Reciclado + 10 cm (1)	Reciclado + 8 cm (1)	Reciclado + 5 cm (2)	Reciclado + 5 cm (2, 3)	Reciclado + rodadura (3, 4 ó 5)
In situ con emulsión	—	—	Reciclado + 8 cm (1)	Reciclado + 5 cm (2)	Reciclado + rodadura (3, 4 ó 5)
In situ con cemento	—	—	Reciclado + MBC	Reciclado + MBC	Reciclado + MBC

MBC Mezclas bituminosas (incluida capa de rodadura), con espesores de acuerdo con la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes.

(1) **Espesor total mínimo de 8 o 10 cm**, en doble capa, siendo 3 o 4 cm el espesor correspondiente a la capa de rodadura, según se trate de una mezcla discontinua o drenante (art. 543 del PG-3), respectivamente.

(2) **Espesor total mínimo de 5 cm en capa única.** Para el espesor mínimo se dispondrá una sola capa de mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3) de 5 cm de espesor. En el caso de ser preceptiva una capa de rodadura drenante o discontinua, el espesor mínimo se elevará a 8 cm y se aplicará lo indicado en (1).

(3) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) reciclada en central conforme a lo indicado en el artículo 22 en su apartado 22.3.

(4) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3).

(5) Microaglomerado en frío (art. 540 del PG-3).

- Carreteras con categoría de tráfico pesado T00 y T0

  Solamente se podrán emplear en capas de reposición de calzada mezclas bituminosas recicladas en central, sobre las que se dispondrán mezclas bituminosas (artículo 542 del PG-3) en un espesor total mínimo de 10 cm u 8 cm —según sean categorías de tráfico pesado T00 o T0—, incluida la capa de rodadura correspondiente (artículo 543 del PG-3).

- Carreteras con categoría de tráfico pesado T1

  Se podrán utilizar en capas de reposición de calzada las mezclas bituminosas recicladas en central en los mismos supuestos indicados para

las categorías de tráfico pesado T00 y T0, colocando capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en un espesor total mínimo de 5 cm, en capa única. En el caso de ser preceptiva la utilización de una capa de rodadura drenante o discontinua (artículo 543 del PG-3), el espesor total de mezcla bituminosa utilizado se elevará hasta un mínimo de 8 cm, incluida la capa de rodadura correspondiente, ejecutándose en dos capas.

También podrán emplearse mezclas bituminosas recicladas *in situ* con emulsión en capas de reposición de calzada, cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en un espesor total mínimo de 8 cm, incluida la capa de rodadura correspondiente.

En el caso de utilización de materiales granulares o tratados con cemento, el espesor de recrecimiento de mezclas bituminosas necesario se determinará siguiendo los criterios especificados en la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes o Norma 6.1 IC. Secciones de firme, según el tipo de obra o reciclado a realizar.

- Carreteras con categoría de tráfico pesado T2

  Se aplicarán los mismos criterios indicados para la categoría de tráfico pesado T1, con la salvedad de que podrán emplearse como capa de rodadura mezclas bituminosas calientes y semicalientes recicladas en central, de acuerdo con lo indicado en el artículo 22 en su apartado 22.3.

  En el caso de empleo de mezclas bituminosas recicladas *in situ* con emulsión, el espesor total mínimo de las capas de recrecimiento con mezclas bituminosas, incluida la capa de rodadura, será de 5 cm.

- Carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas.

  Podrán utilizarse todas las técnicas de reciclado indicadas en esta orden circular, con la condición de disponer sobre cualquiera de ellas, como mínimo, una capa de mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (artículo 542 del PG-3) o de microaglomerado en frío (artículo 540 del PG-3).

– En los arcenes podrán emplearse todas las técnicas de reciclado indicadas en esta Orden Circular, con la excepción del reciclado *in situ* con cemento para las categorías de tráfico pesado T00. En todos los casos, se estará a lo dispuesto para ellos en el apartado 12.7 de la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes, y en el caso de los reciclados con cemento además a lo indicado en el capítulo 7 de la Norma 6.1 IC Secciones de firme.

4. El dimensionamiento de las secciones de firme con materiales reciclados se realizará mediante un estudio especial que incluya la identificación más completa posible del material a reutilizar, determinando el módulo elástico y la ley de fatiga del producto resultante. En su defecto, se adoptarán como simplificación los coeficientes de equivalencia recogidos en la tabla 2, y se efectuará la evaluación de los espesores necesarios de acuerdo con la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes, según se trate de soluciones de eliminación parcial y reposición del firme ó de recrecimiento del firme existente. Teniendo en cuenta su equivalencia estructural con el suelocemento, en el caso de capas o materiales reciclados con cemento, la determinación de los espesores necesarios se efectuará de acuerdo con la Norma 6.1 IC Secciones de firme.

Los coeficientes de equivalencia aquí recogidos son los reflejados en la tabla 11.- Materiales para Rehabilitación Estructural de Firmes, del Anejo 2 de la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes, a los que se les ha añadido las precisiones y concreciones que figuran en las notas al pie de la tabla (1), (2) y (3), conforme a la experiencia y conocimientos adquiridos en estos años, así como al estado actual de las técnicas de reciclado.

TABLA 2 - COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE O SEMICALIENTE Y LOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL RECICLADO

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIÓN DE ESPESOR (cm)
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE O SEMICALIENTE (Densa, Semidensa y Gruesa)	1	$\varepsilon_r = 6{,}925.10^{-3}.N^{-0{,}27243}$	—
RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS	0,80 a 1 (1)	Ley específica	5 - 15
RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS	0,75 (2)	Ley específica	6 - 12
RECICLADO *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME	Material semejante al suelocemento		20 - 30(3)

(1) El coeficiente de equivalencia dependerá de la proporción r de material bituminoso reciclado (RAP) utilizado, con el siguiente criterio: **1** si $15 < r \leq 30$**;** **0,9** si $30 < r \leq 60$ y **0,8** si $r \geq 60$**.**

(2) Si el mezclado se efectúa en una central de fabricación de mezclas de las especificadas en los artículos 542 del PG-3 o 22 de esta Orden Circular, podrá adoptarse el coeficiente de 0,80.

(3) Este valor máximo podrá aumentarse hasta 35 cm, 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. Aunque los materiales especificados en el artículo 22 pueden ser técnicamente válidos también en cualquier tipo de obras de nueva construcción, el ámbito más específico de aplicación de esta Orden Circular y de su anejo se circunscribe a los siguientes tipos de proyectos, obras y actuaciones en general:

- Proyectos de acondicionamiento de trazado, ensanche y mejora de plataforma, y ampliación de carriles cuya Orden de Estudio se autorice con posterioridad a la fecha de entrada en vigor de esta Orden Circular.
- Proyectos de rehabilitación de firmes y pavimentos de carreteras que estén en fase de redacción, o cuya Orden de Estudio se autorice 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 de esta Dirección General, según corresponda, acerca de la conveniencia de proceder a modificar el proyecto o el contrato para adecuarlo a lo previsto en esta Orden Circular.

6. Esta Orden Circular anula en todo su contenido a la Orden Circular 8/2001 Reciclado de firmes.

7. En el articulado de esta Orden Circular se establece una serie de comprobaciones de la conformidad de los productos y los procesos incluidos en su ámbito que, en muchos casos, están referidos a normativa NLT, UNE, UNE-EN y UNE-EN ISO. A los efectos de esta Orden Circular, debe entenderse que las normas mencionadas en el articulado se refieren siempre a las versiones que se relacionan en el Anejo 1 del Anexo a esta Orden, salvo en el caso de normas UNE-EN que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el marco de aplicación del Reglamento (UE) n.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la última Comunicación de la Comisión que incluya dicha referencia.

La relación de las versiones correspondientes a las normas referenciadas aplicables en cada caso, se actualizarán periódicamente, para acomodar su contenido al progreso de la técnica o a la normativa comunitaria.

8. Esta Orden Circular entrará en vigor al día siguiente al de su firma.

Madrid, de Octubre de 2017
El Director General de Carreteras

Jorge Urrecho Corrales

ANEXO DE LA ORDEN CIRCULAR 40/2017

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES
PARA OBRAS DE CARRETERAS

Í N D I C E

20	RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS	15
21	RECICLADO *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME	41
22	RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS	67

20

RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS

20.1 DEFINICIÓN

Se define como reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un pavimento existente, una emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos.

Todo el proceso de ejecución de esta unidad de obra se realiza a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar en un espesor comprendido entre seis y doce centímetros (6 a 12 cm).

Aunque no es objeto de aplicación de este artículo, si el material procedente de la demolición o fresado de capas bituminosas se lleva a una instalación para su tratamiento, clasificación y mezclado con emulsión, el material resultante podrá considerarse, a efectos de capacidad estructural, semejante a una gravaemulsión de las indicadas en la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes.

Asimismo, aunque tampoco es objeto de aplicación directa de este artículo, todas las técnicas aquí recogidas podrían ser válidas para el reciclado *in situ* de capas bituminosas con un betún asfáltico espumado en sustitución de la emulsión.

A efectos de aplicación de este artículo el material definido en este apartado sólo se considerará válido cuando al menos el noventa por ciento (≥ 90%) de la masa 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 homogéneas.
- Fresado de la parte del pavimento a reciclar.
- Incorporación de la emulsión, agua y aditivos.
- Mezclado y extensión.

- Compactación del material resultante.
- Curado y, en su caso, ejecución de un riego de protección.

20.2 MATERIALES

20.2.1 Consideraciones generales

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE son conformes con las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

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

20.2.2 Emulsión bituminosa

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de emulsión bituminosa a emplear, que cumplirá las prescripciones del artículo 214 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). La emulsión bituminosa a emplear, salvo justificación en contrario, será del tipo C60B5REC.

En caso de utilizar emulsiones con adiciones para controlar la rotura o mejorar sus propiedades, no incluidas en el artículo 214 del 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.

20.2.3 Material existente a reciclar

20.2.3.1 Características generales

El material a reciclar estará constituido por un conjunto de partículas pétreas, recubiertas por ligante hidrocarbonado envejecido, resultantes de la adecuada disgregación mediante fresado del pavimento existente en la profundidad establecida.

El Director de las Obras, de acuerdo con las características y el estado de las capas del pavimento, determinará si existen zonas en las que no deba reutilizarse el material existente, en cuyo caso se tratará como un residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente, y se sustituirá por un material aprobado por el Director de las Obras, quien podrá autorizar la reutilización de material fresado procedente de localizaciones distintas a la que se esté reciclando.

No podrán ser reciclados con las técnicas especificadas en este artículo aquellos materiales que procedan de pavimentos con deformaciones plásticas, o que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas. Tampoco lo podrán ser aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, por no cumplir la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

20.2.3.2 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 20.2. El análisis granulométrico se hará conforme a la norma 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 y diez centímetros (6 a 10 cm).

TABLA 20.2 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE RECICLADO	**ABERTURA DE LOS TAMICES** (norma UNE-EN 933-2) **(mm)**									
	40	**32**	**22**	**16**	**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

20.2.4 Agua

El agua deberá cumplir las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

20.2.5 Polvo mineral de aportación

En caso de utilizarse polvo mineral de aportación, éste cumplirá las exigencias establecidas para él en el artículo 542 del PG-3.

20.2.6 Aditivos

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

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 deban 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 con los materiales y dosificaciones previstos en la fórmula de trabajo, para comprobar que cumplen su función.

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, resistencia a tracción indirecta antes y después de la inmersión en agua, y 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 20.2 y, además, deberá cumplirse que el tamaño máximo nominal —primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa (> 10%)— del material a reciclar sea inferior a un tercio (< 1/3) del espesor del reciclado.

La dotación de ligante hidrocarbonado residual no será en ningún caso inferior al dos por ciento ($\nless$ 2 %) en capas de base para la categoría de tráfico pesado T1, y al uno y medio por ciento ($\nless$ 1,5 %) en el resto de los casos.

Se fabricarán probetas compactadas mediante compactador giratorio (norma UNE-EN 12697-31) a temperatura ambiente y curadas desmoldadas durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50ºC). El número de giros aplicado será de ciento sesenta (160) giros para la mezcla tipo RE1, con molde de diámetro interior de ciento cincuenta milímetros (150 mm), y de cien (100) giros para mezclas tipo RE2 con molde de diámetro interior de cien milímetros (100 mm).

Sobre dichas probetas se determinará la densidad de la mezcla (norma UNE-EN 12697-6) y se realizarán ensayos de tracción indirecta a quince grados Celsius (15ºC) (norma UNE-EN 12697-12) de las probetas secas y húmedas (acondicionadas en agua), que deberán cumplir los valores mínimos especificados en la tabla 20.3.

TABLA 20.3 - VALORES MINIMOS DE RESISTENCIA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

(norma UNE-EN 12697-12)

CATEGORIA DEL TRAFICO PESADO	RESISTENCIA MEDIA (MPa) (**)		RELACIÓN DE RESISTENCIA (ITSR) (%)
	SECA (ITS_d)	HÚMEDA (ITS_w)	
T1 (CAPAS DE BASE) T2 y (*)	1,7	1,3	75
T3, T4 y ARCENES	1,2	0,9	70

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

(**) Sobre un número de probetas no inferior a tres ($\nless 3$) para cada tipo de resistencia.

En caso necesario, y para mejorar la adhesividad y la relación de resistencia, se podrá utilizar algún tipo de polvo mineral de aportación, como la cal o el cemento, en una proporción máxima del uno por ciento (1%) de la masa total en seco del material que se vaya a reciclar.

20.4. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

20.4.1 Consideraciones generales

No se podrá utilizar en la ejecución del reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas ningún equipo que no haya sido previamente empleado en el tramo de prueba y aprobado por el Director 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.

20.4.2 Equipo de ejecución

La ejecución se llevará a cabo con equipos mecánicos que integren en una sola unidad las operaciones de fresado, dosificación y distribución de la emulsión y del agua y, en su caso, del polvo mineral de aportación y los aditivos, mezclado y extensión.

El suministro de la emulsión, agua y demás componentes se realizará desde cubas o depósitos móviles, de modo que no se produzcan paradas del equipo, ni afecten en carreteras en servicio a su seguridad viaria.

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.

20.4.2.1 Fresado

El equipo estará dotado de un rotor de fresado de eje horizontal capaz de disgregar el pavimento existente en la profundidad y la anchura especificadas produciendo, en una sola pasada y a una velocidad constante adecuada, un material suelto y homogéneo con la granulometría requerida. Dispondrá, además, de un dispositivo de control automático que asegure el espesor especificado y prefijado, y de un sistema que evite el levantamiento en bloques del material existente.

20.4.2.2 Dosificación

El equipo de dosificación de la emulsión, del agua, los aditivos y, eventualmente, del polvo mineral de aportación, se compondrá de depósitos, bombas de caudal variable y difusores adecuadamente dispuestos, con control automático programable, que permitirán realizar la dosificación de la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado y la velocidad de avance del equipo, con las tolerancias fijadas en la Tabla 20.4 de este artículo.

20.4.2.3 Mezclado y extensión

El mezclado efectuado aprovechando la energía del rotor de fresado, deberá garantizar una mezcla homogénea y uniforme en toda la anchura y profundidad del reciclado.

La cámara de mezclado dispondrá de una compuerta posterior, en el sentido de avance del equipo, que regule la altura de salida del material y el tiempo que éste permanece en ella, e incorporará también un elemento enrasador o maestra de extendido que mejore el acabado, proporcione una precompactación homogénea y permita obtener el perfil deseado.

20.4.2.4 Compactación

Se cumplirán las prescripciones indicadas al respecto en el artículo 542 del PG-3.

Para espesores de reciclado superiores a diez centímetros (>10 cm), se utilizarán compactadores de la máxima carga disponible, si así lo considera necesario el Director de las Obras.

20.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

20.5.1 Estudio previo de los materiales

20.5.1.1 Estudio previo de la emulsión

Se comprobará la adhesividad del ligante residual de aportación con el material fresado, mediante el ensayo de resistencia conservada de tracción indirecta con inmersión (norma UNE-EN 12697-12). El resultado obtenido deberá cumplir los valores mínimos especificados en la tabla 20.3, fabricándose las probetas de acuerdo con el procedimiento indicado en el apartado 20.3.

20.5.1.2. Estudio del material existente a reciclar y comprobación de la tramificación

Previamente a la formulación de la mezcla 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 comprobando el espesor, la densidad (norma UNE-EN 12697-6) y tipo de material de las diferentes capas. Como mínimo se realizarán dos (2) sondeos y una (1) calicata por kilómetro (km) o tramo diferenciado si su longitud fuera menor.

Los tramos que, a juicio del Director de las Obras, presenten deficiencias superficiales (ondulaciones superficiales, excesos de ligante, deformaciones plásticas) o estructurales significativas, o contengan sustancias potencialmente peligrosas, deberán demolerse y el material resultante tratarse como un residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

En cada tramo homogéneo se tomarán muestras de material fresado en el espesor previsto en el Proyecto, 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 (norma UNE-EN 933-1).
- Contenido de ligante residual (normas UNE-EN 12697-1 ó UNE-EN 12697-39).
- Penetración (norma UNE-EN 1426) y punto de reblandecimiento (norma UNE-EN 1427) del ligante recuperado (norma UNE-EN 12697-1 ó UNE-EN 12697-3).
- 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.

20.5.1.3 Valores de referencia de las características

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 un 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 de tolerancia establecidos.

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

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

La ejecución del reciclado *in situ* con emulsión no se podrá iniciar hasta que el Director de las Obras haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en obra, la cual señalará, como mínimo:

- El espesor del reciclado *in situ*. La elección del espesor se hará de manera que se reciclen capas completas del firme existente, permitiéndose que se penetre un

centímetro (1 cm) en la capa inferior si ésta fuese también una mezcla bituminosa. Si esto no fuera posible, se evitará que queden sin tratar espesores de mezcla bituminosa inferiores a tres centímetros (< 3 cm), especialmente si no están adecuadamente adheridos a la capa inferior.

- La granulometría del material fresado por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico en la tabla 20.2.
- La proporción en masa respecto a la total del material a reciclar en seco de:
    - ligante residual de aportación, indicando el tipo de emulsión utilizada.
    - agua de aportación.
    - aditivos, con indicación de su tipo y características.
    - polvo mineral de aportación, en su caso, indicando el tipo utilizado.
- La densidad de la mezcla (norma UNE-EN 12697-6) y la humedad óptima de compactación, obtenida sobre probetas fabricadas según lo indicado en el apartado 20.3.

La proporción necesaria de ligante residual en la mezcla reciclada se determinará mediante el ensayo de sensibilidad al agua (norma UNE-EN 12697-12), de acuerdo con los valores mínimos especificados en la tabla 20.3, fabricándose las probetas de acuerdo con lo indicado en el apartado 20.3.

La humedad de compactación se determinará mediante el ensayo Proctor modificado (norma UNE-EN 13286-2), realizado sobre el material a reciclar. La humedad de compactación será, salvo justificación en contrario, la correspondiente a la humedad óptima Proctor modificado menos un cinco por mil (5 ‰), y menos el porcentaje de ligante residual de la emulsión bituminosa a incorporar a la mezcla, y 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 varíen las características del material a reciclar o de alguno de los componentes de la mezcla, o 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.

TABLA 20.4 - TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERISTICA		NORMA	UNIDAD	TOLERANCIA
GRANULOMETRÍA CERNIDO TAMICES (mm)	> 2	UNE-EN 933-2	% sobre masa total material a reciclar en seco	± 6
	> 0,063 y ≤ 2			± 3
	0,063			± 1,5
LIGANTE RESIDUAL APORTADO		UNE-EN 12697-12		± 0,3
HUMEDAD COMPACTACIÓN (AGUA TOTAL)		UNE-EN 13286-2		-1 / + 0,5

20.5.3 Fresado del espesor del pavimento 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 avance del equipo será constante en cada tramo homogéneo, a fin de asegurar una profundidad uniforme de fresado y la homogeneidad del material obtenido. 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.

Donde resultase imposible el empleo de máquinas fresadoras, el material se demolerá con otros medios mecánicos y los productos así obtenidos se tratarán como un residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente, pudiéndose utilizar en los términos previstos para ellos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Estas zonas se rellenarán con materiales que, en cualquier circunstancia, deberán cumplir 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, en su caso, el polvo mineral de aportación y los aditivos se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, garantizando su mezcla homogénea en todo el ancho efectivo de trabajo.

Antes de iniciarse los trabajos, y fuera del lugar de empleo, se purgarán y pondrán a punto las bombas y los difusores del ligante y del agua, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realizará la limpieza de los difusores y siempre como mínimo dos (2) veces al día.

Las operaciones para abastecer de emulsión y agua al equipo 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

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, diferencias de contenido de ligante o de agua en partes del pavimento reciclado, y siempre que se observe que no se cumplen las tolerancias admisibles citadas en la tabla 20.4, deberá detenerse el proceso y realizar las oportunas correcciones hasta solucionar favorablemente las deficiencias, a juicio del Director de las Obras.

Se adoptarán las precauciones necesarias para evitar la ejecución del reciclado en zonas en las que la superficie del pavimento presente encharcamientos, deteniendo el proceso cuando se observe tal circunstancia.

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 y treinta centímetros (15 a 30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes, debiéndose adoptar las precauciones necesarias para evitar que se produzcan sobredosificaciones de emulsión o de agua en estas zonas de solape.

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

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 viaria y del personal de las obras.

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

Donde resultase imposible el empleo del equipo de reciclado aprobado y haya de procederse a la utilización de otro distinto, se emplearán equipos de extensión aprobados por el Director de las Obras que proporcionen un producto acabado con unas características similares a las del resto de la unidad de obra.

20.5.6 Compactación

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba.

La mezcla no podrá permanecer más de media hora ($\geq$1/2 h) sin que se proceda a su compactación y terminación. La compactación se realizará longitudinalmente, de manera continua y sistemática, hasta alcanzar la densidad especificada en el epígrafe 20.7.1. La compactación se iniciará por el borde más bajo de la franja que se esté tratando y se continuará hacia el más alto, solapándose las sucesivas pasadas. 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 extensión, y los cambios de dirección y de sentido se realizarán sobre material ya compactado y con suavidad. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

Las zonas que, por su reducida extensión, pendiente o proximidad a obras de paso o de desagüe, muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se compactarán con medios adecuados, de forma que las densidades que se alcancen no resulten inferiores, en ningún caso, a las exigidas.

20.5.7 Ejecución de juntas

La ejecución de los trabajos se realizará en toda la anchura completa del carril de modo que no se produzcan juntas longitudinales en el interior de la zona reciclada, y únicamente sea necesaria una junta transversal al final de la jornada de trabajo. 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 después de haber ejecutado una franja, se realice la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado.

Preferentemente las juntas longitudinales entre la zona reciclada y el firme existente deberán situarse en los bordes del carril, pero nunca en las franjas de rodadura (rodadas) de paso del tráfico.

Las juntas transversales de trabajo se efectuarán fresando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general no inferior al 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 período a fijar por el Director de las Obras, en general entre quince y treinta días (15 a 30 d), en función de las condiciones climatológicas y de la intensidad de circulación. Durante este período de acción del tráfico se tendrá cuidado de controlar su distribución por carriles para que no se concentren las rodadas en una sola franja.

En las zonas con riesgo de presentar desprendimientos superficiales deberá ejecutarse un riego de protección con árido de cobertura, de acuerdo con lo especificado en el

artículo 532 del PG-3. La dotación de ligante residual estará comprendida entre doscientos y trescientos gramos por metro cuadrado (200 a 300 g/m^2).

La extensión de una nueva capa sobre la reciclada no se iniciará hasta que la humedad a mitad del espesor de la capa reciclada sea constante e inferior al uno y medio por ciento (< 1,5 %), comprobándose que se mantiene por debajo de ese valor durante al menos siete días (7 d) y, además, que los testigos extraídos (norma UNE-EN 12697-27) a partir de ese momento no se disgregan y permiten 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 de un tramo de prueba para cada tramo homogéneo, según lo establecido en el epígrafe 20.5.1, con el espesor y la fórmula de trabajo prescritos, y empleando los mismos medios que vayan a utilizarse para la ejecución de las obras. Se comprobará la fórmula de trabajo, el funcionamiento de los equipos previstos (especialmente, la forma de actuación del de compactación) y se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del material reciclado resultante con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de capa, densidad, 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 cien metros (≮ 100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

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.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán también los siguientes aspectos:

- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la dosificación del ligante establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, y otros métodos rápidos de control.
- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la densidad y humedad *in situ* establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, 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, del polvo mineral de aportación y las adiciones.
- Se establecerán las relaciones entre humedad y densidad alcanzada, así como entre ésta última y el orden y número de pasadas de los compactadores.
- Se evaluará el esponjamiento de la capa reciclada, por diferencia de espesor antes del fresado y después de la compactación, al objeto de garantizar el espesor mínimo de reciclado necesario.

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 al Contratista las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en las unidades de fresado, mezcla o dosificación, 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, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar otros adicionales a los existentes.

Los resultados obtenidos en el tramo de prueba definitivo servirán para fijar la fórmula de trabajo y los valores de referencia para los ensayos de control de calidad.

Se fijará como densidad de referencia la alcanzada en el tramo de prueba con los equipos propuestos y el plan de compactación empleado. Esta densidad deberá ser igual o superior a la obtenida en laboratorio con la fórmula de trabajo propuesta con probetas fabricadas, compactadas y curadas según lo indicado en el apartado 20.3. En caso contrario, y siempre que dicha densidad obtenida no sea inferior al noventa y cinco por ciento ($\prec$ 95%) de la de laboratorio, se comprobará que con los valores alcanzados se siguen cumpliendo los valores mínimos de resistencia establecidos en la tabla 20.3.

De no ser así, o de no alcanzarse el noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad, no se considerará aceptable el equipo de compactación utilizado. El Contratista deberá optar por proponer una mejora del equipo de compactación o modificar la fórmula de trabajo propuesta.

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, expresada como porcentaje de la densidad de referencia alcanzada en el tramo de prueba definitivo con la fórmula de trabajo, la cual no será inferior al noventa y ocho por ciento ($\prec$ 98%).

La diferencia de densidades entre la zona más superficial y la más profunda de la capa compactada no superará los tres puntos porcentuales ($\succ$ 3%).

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 no superará a la teórica en ningún punto, ni quedará por debajo de ella en más de quince milímetros ($\succ$ 15 mm).

En perfiles transversales cada veinte metros (20 m) se comprobará la anchura de la capa reciclada, que en ningún caso será inferior ni superará en más de diez centímetros ($\succ$10 cm) a la establecida en los planos del Proyecto.

El espesor de la capa reciclada no deberá ser inferior en ningún punto al previsto en los planos de secciones tipo del Proyecto.

20.7.3. Regularidad superficial

El índice de regularidad internacional (IRI) (norma NLT -330) de la capa terminada deberá cumplir los valores indicados en la tabla 20.5.

TABLA 20.5 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

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

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 variar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Se produzcan precipitaciones atmosféricas constantes o precipitaciones puntuales con una intensidad significativa, a juicio del Director de las Obras.

20.9. CONTROL DE CALIDAD

20.9.1. Consideraciones generales

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.

La realización de los ensayos *in situ* y la toma de muestras se realizará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal, de tal forma que haya al menos una (1) toma o un (1) ensayo por cada hectómetro (hm).

20.9.2 Control de procedencia de los materiales

20.9.2.1 Emulsión bituminosa

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 214 del PG-3.

20.9.2.2 Polvo mineral de aportación

El polvo mineral de aportación deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 542 del PG-3.

20.9.3 Control de ejecución

20.9.3.1 Dosificación de la emulsión

Se controlará el funcionamiento de las boquillas de inyección al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde) y, en cualquier caso, antes del inicio de los trabajos. En cada camión de suministro se controlará, además, el consumo efectivo de ligante, que se contrastará con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de emulsión añadido.

20.9.3.2 Fresado y mezcla reciclada

Por cada lote definido en el epígrafe 20.9.4, y al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se efectuarán las siguientes determinaciones:

- Granulometría (norma UNE-EN 933-1) del material a la salida de la unidad de mezclado.
- Contenido de humedad de la mezcla (norma UNE-EN ISO 17892-1).
- Dosificación de ligante (normas UNE-EN 12697-1 o UNE-EN 12697-39) de la mezcla bituminosa reciclada.
- Fabricación (norma UNE-EN 12697-31) y curado de dos (2) series de tres (3) probetas, según lo especificado en el apartado 20.3, para la determinación de la sensibilidad al agua (método A norma UNE EN 12697-12) de la mezcla bituminosa reciclada.

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, si así lo aconsejase el desarrollo de las obras.

La adición de agua y de emulsión se controlará por medio del caudalímetro del equipo de reciclado, que dispondrá de un sistema automático de registro, de forma que se obtenga en cada tramo la humedad especificada.

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 aprobadas de acuerdo con el apartado 20.6.
- El aspecto de la mezcla bituminosa reciclada, especialmente la cubrición del ligante, la homogeneidad de la superficie y la ausencia de segregaciones.
- 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.

Si el reciclado se realiza con dos equipos trabajando en paralelo los controles especificados en este epígrafe se efectuarán para cada uno de ellos.

20.9.3.3 Compactación

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 epígrafe 20.9.4. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas se proseguirá el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos.

En el caso de usar equipo nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente contrastados en la realización del tramo de prueba. En el primer caso, para la determinación de la densidad media la varilla con la fuente radiactiva deberá introducirse hasta el fondo de la capa reciclada.

20.9.3.4 Curado y protección superficial

Cuando, durante el tiempo que el Director de las Obras haya establecido, se someta la capa a la acción del tráfico para acelerar la eliminación de humedad de la mezcla compactada, se comprobará diariamente que no se han producido deformaciones por la acción de dicho tráfico y se llevará a cabo el control de la distribución transversal de su paso para que la acción de éste no se concentre en una sola franja.

En caso de ser necesaria la ejecución de un riego de protección con árido de cobertura, éste se controlará de acuerdo con lo especificado en el artículo 532 del PG-3.

20.9.4 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, según lo establecido en el epígrafe 520.5.1:

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

El espesor, la densidad y la humedad, de acuerdo con lo especificado en el epígrafe 20.5.2, se comprobarán mediante la extracción de testigos cilíndricos (norma UNE-EN 12697-27) en emplazamientos aleatorios, después de finalizado el curado y antes de ejecutar otra capa sobre la reciclada. Los testigos obtenidos deberán presentar un aspecto homogéneo y compacto en todo su espesor, no admitiéndose aquellos que presenten coqueras, resulten disgregados, rotos o troceados durante su extracción. El número de testigos por lote será de tres (3), aumentándose hasta un máximo de cinco (5), en casos de detección de anomalías en espesores o densidades, a criterio del Director de las Obras. Las cavidades producidas por la extracción de testigos se rellenarán con material de la misma calidad que el utilizado en el resto de la capa, y será correctamente compactado y enrasado.

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 perfiles transversales cada veinte metros (20 m) se comprobará que la superficie extendida y compactada presenta un aspecto uniforme, así como ausencia de segregaciones. Se verificará también que la anchura de la capa cumple lo establecido en el epígrafe 20.7.2.

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará, en tramos de mil metros (1 000 m) de longitud, 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) (norma NLT-330), calculando un solo valor de IRI para cada hectómetro (hm) del perfil auscultado y así sucesivamente hasta completar el tramo medido que deberá cumplir lo especificado en el epígrafe 20.7.3. En el caso de que se ausculte más de un perfil longitudinal (rodada derecha e izquierda) se deberá verificar el cumplimiento de las condiciones descritas en cada uno de ellos.

20.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Los criterios de aceptación o rechazo de la unidad terminada se aplicarán sobre los lotes definidos en el epígrafe 20.9.4, según lo indicado a continuación:

20.10.1 Densidad

Por cada lote, la densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en el epígrafe 20.7.1. Si fuera inferior, se procederá de la siguiente manera:

- Si es superior o igual al noventa y cinco por ciento (≥ 95%) de la densidad especificada, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado.
- Si es inferior al noventa y cinco por ciento (< 95%) de la densidad especificada, se demolerá 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. El producto resultante de la demolición se empleará como indique el Director de las Obras, a cargo del Contratista o, en su

defecto, se tratará como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

Adicionalmente, no se admitirá que más de un (≯ 1) individuo de la muestra ensayada del lote presente un valor inferior al prescrito (20.7.1) en más de cinco (5) puntos porcentuales. De no cumplirse esta condición se dividirá el lote en dos (2) partes iguales y se tomarán testigos de cada una de ellas, aplicando a cada uno los criterios descritos en este epígrafe.

20.10.2 Espesor

El espesor medio obtenido no será inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los planos del Proyecto.

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

Adicionalmente, no se admitirá que más de un (≯ 1) individuo de la muestra ensayada del lote presente un valor inferior al prescrito en más de un diez por ciento (≯ 10%). De no cumplirse esta condición se dividirá el lote en dos (2) partes iguales y se tomarán testigos de cada una de ellas, aplicando a cada uno los criterios descritos en este epígrafe.

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. Si se rebasan dichas tolerancias se procederá de la siguiente manera:

- Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la rasante siempre que se compense la merma producida con el espesor adicional necesario de la capa superior prevista, en toda la anchura de la sección tipo y por cuenta del Contratista.

- Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, se corregirá mediante fresado por cuenta del Contratista, siempre que no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los planos del Proyecto. El producto resultante será tratado como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

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 epígrafe 20.7.4. Si se sobrepasaran dichos límites, se procederá de la siguiente manera:

- Si es inferior al diez por ciento (< 10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).
- Si es igual o superior al diez por ciento (≥ 10%) de la longitud del tramo controlado se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista, teniendo en cuenta todo lo especificado en los epígrafes 20.10.3 y 20.10.4.

20.11 MEDICIÓN Y ABONO

La emulsión bituminosa se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, obtenidas multiplicando la medición abonable de material reciclado por la dosificación media deducida del control de dosificación de cada lote.

La ejecución del reciclado *in situ* de capas bituminosas se abonará por metros cúbicos (m^3) de material reciclado, los cuales se obtendrán como producto de la superficie reciclada, obtenida multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada, y el espesor medio de reciclado deducido de los ensayos de control.

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

No se tendrá derecho a un incremento de abono por las zonas solapadas o las superficies que por sus defectos haya sido necesario reciclar en más de una aplicación. Tampoco serán de abono las creces laterales, ni la limpieza de la superficie existente.

La aplicación del ligante bituminoso para la protección superficial de la mezcla bituminosa reciclada se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo. El árido de cobertura superficial, incluida su extensión, apisonado y barrido posterior, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

21

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 homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material granular procedente del fresado de una o varias capas de un firme existente, con excepción de las de pavimento de hormigón y de hormigón magro vibrado, con cemento, agua y, eventualmente, aditivos y material de aportación.

Todo el proceso de ejecución se realiza a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar, en una profundidad adecuada para que el espesor resultante tras la compactación esté comprendido entre veinte y treinta y cinco centímetros (20 a 35 cm).

Aunque no es objeto de aplicación de este artículo, si el material procedente del fresado o demolición de capas de firmes (incluidos pavimentos de hormigón y hormigón magro vibrado) se lleva a una instalación para su tratamiento, clasificación y mezclado con cemento, dicha mezcla resultante podrá considerarse un material tratado con cemento (suelocemento o gravacemento), si cumple los requisitos del artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), así como con lo indicado en el epígrafe 21.2.3.5 de este artículo.

Su ejecución *in situ* incluye las siguientes operaciones:

- Estudio previo de los materiales.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fresado de la parte del firme a reciclar.
- Incorporación del cemento, el agua y, eventualmente, los aditivos y el material de aportación.
- Mezclado y extensión.
- Realización de juntas en fresco (prefisuración).
- Compactación y terminación.

- Curado y, en su caso, protección superficial mediante la extensión de un árido de cobertura.

21.1 MATERIALES

21.2.1 Consideraciones Generales

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE son conformes con las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

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

21.2.2 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, que cumplirá las prescripciones del artículo 202 y 513 del PG-3 y las adicionales que en él se establezcan.

21.2.3 Material existente a reciclar

21.2.3.1 Características generales

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

El Director de las Obras, de acuerdo con las características y el estado del firme, determinará si existen zonas en las que no deba reutilizarse el material existente, en cuyo caso se tratarán como un residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente, y se sustituirán por un material aprobado por el Director de las Obras, quien podrá autorizar la reutilización de material fresado procedente de localizaciones distintas a la que se esté reciclando.

21.2.3.2 Granulometría

El material a reciclar no contendrá elementos de tamaño superior a ochenta milímetros ($\nearrow$ 80 mm). En caso contrario, el Director de las Obras aprobará las medidas a adoptar para su eliminación.

El contenido de partículas cernido por el tamiz 4 mm (norma UNE-EN 933-2) no será inferior al treinta por ciento ($\swarrow$ 30%) en masa.

21.2.3.3 Composición química

Se cumplirán las prescripciones del artículo 513 del PG-3.

21.2.3.4 Plasticidad

El límite líquido (norma UNE 103103) será inferior a treinta y cinco (LL < 35) y el índice de plasticidad (norma UNE 103104), será igual o inferior a quince (IP ≤ 15).

21.2.3.5 Material de aportación

Si fuera necesario material de aportación para corregir peraltes, completar el espesor de capa reciclada o efectuar un ensanche, su empleo tendrá que ser aprobado previamente por el Director de las Obras. En caso necesario, podrá utilizarse una

zahorra o un suelo granular que deberá cumplir las exigencias establecidas en el artículo 510 ó 513, según corresponda, del PG-3.

También podrán utilizarse materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos, residuos de construcción y demolición o productos inertes de desecho, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación europea sobre estas materias. Para su empleo se exigirá que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El material de aportación no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento, ni contendrá elementos que perjudiquen su fraguado. No podrán utilizarse tampoco aquellos clasificados como peligrosos, por no cumplir la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

21.2.4 Agua

El agua deberá cumplir las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

21.2.5 Aditivos

Se cumplirán las prescripciones del artículo 513 del PG-3.

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 de cemento, resistencia y período de trabajabilidad deberán cumplir lo indicado en este apartado.

El contenido mínimo de cemento será el necesario para conseguir que la resistencia media a compresión simple a los siete días (7 d) del material resultante esté comprendida entre un mínimo de dos con cinco megapascales (2,5 MPa) y un máximo de cuatro con cinco megapascales (4,5 MPa). En cualquier caso, dicho contenido no será inferior al tres por ciento ($\prec$ 3%) de la masa total en seco.

Las probetas para la determinación de las resistencias se compactarán (norma UNE-EN 13286-51) con la energía que proporcione la densidad mínima exigida en el epígrafe 21.7.1 de este artículo o en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, pero nunca mayor.

El periodo de trabajabilidad de la mezcla obtenida, determinado a la temperatura máxima esperada durante la puesta en obra (norma UNE-EN 13286-45), no será inferior al indicado en la tabla 21.1. En el supuesto de una ejecución por franjas, el material resultante tendrá un periodo de trabajabilidad tal que permita completar la compactación de cada una de ellas, antes de que se haya finalizado dicho periodo en la franja adyacente reciclada previamente.

TABLA 21.1 – PERIODO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD (W_{pc}) DEL RECICLADO *IN SITU* CON CEMENTO

TIPO DE OBRA		**W_{pc}** (horas) (UNE-EN 13286-45)
SIN TRÁFICO	**ANCHURA COMPLETA**	2
	POR FRANJAS	3
CON TRÁFICO		4

21.1. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

21.4.1 Consideraciones generales

No se podrá utilizar en la ejecución del reciclado *in situ* con cemento ningún equipo que no haya sido previamente empleado en el tramo de prueba y aprobado por el Director 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.

21.4.2 Equipo de ejecución

La ejecución se llevará a cabo con equipos mecánicos que integren en una sola unidad las operaciones de fresado, dosificación y distribución del cemento y del agua, mezclado y extensión.

El suministro del cemento, agua y demás componentes se realizará desde cubas o depósitos móviles, de modo que no se produzcan paradas del equipo.

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.

21.4.2.1 Fresado

El equipo estará dotado de un rotor de fresado de eje horizontal capaz de disgregar el firme existente en la profundidad y la anchura especificadas produciendo, en una sola pasada y a una velocidad constante adecuada, un material suelto y homogéneo con la granulometría requerida. Dispondrá, además, de un dispositivo de control automático que asegure el espesor especificado y prefijado, y de un sistema que evite el levantamiento en bloques del material existente.

21.4.2.2 Dosificación

El cemento se aplicará en forma de lechada, para lo cual el equipo de reciclado incluirá un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal de cemento y, en su caso, de aditivos.

Además, dicho equipo estará provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como control automático programable que permita realizar los ajustes de la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado, y la velocidad de avance del equipo, con las tolerancias fijadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, en este artículo.

21.4.2.3 Mezclado y extensión

El mezclado efectuado aprovechando la energía del rotor de fresado deberá garantizar una mezcla homogénea y uniforme en toda la anchura y profundidad del reciclado.

La cámara de mezclado dispondrá de una compuerta posterior, en el sentido de avance del equipo, que regule la altura de salida del material y el tiempo que éste permanece en ella, e incorporará también un elemento alisador que mejore el acabado, proporcione una precompactación homogénea y permita obtener el perfil deseado.

21.4.2.4 Compactación

Se cumplirán las prescripciones indicadas al respecto en el artículo 513 del PG-3.

Para espesores de reciclado superiores a treinta centímetros (>30 cm), se utilizarán compactadores de la máxima carga disponible, si lo considera necesario el Director de las Obras.

21.4.2.5 Equipo para la ejecución de juntas transversales en fresco

Se cumplirán las prescripciones indicadas al respecto en el artículo 513 del PG-3.

21.2 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

21.5.1 Estudio previo de los materiales

21.5.1.1 Estudio del material existente a reciclar y comprobación de la tramificación

Previamente a la formulación de la mezcla 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 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 (km) o tramo diferenciado si su longitud fuera menor.

En cada tramo homogéneo se tomarán muestras de material fresado en el espesor previsto en el Proyecto, 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 (norma UNE-EN 933-1).
- Límite líquido e índice de plasticidad (normas UNE 103103 y UNE 103104).
- Contenido de sulfatos (norma UNE 103201).
- Contenido de materia orgánica (norma UNE 103204).
- Contenido de humedad (norma UNE-EN ISO 17892-1).
- La densidad máxima y la humedad óptima del Proctor modificado (norma UNE-EN 13286-2).
- 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.

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 lo aprobará 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 ensayo prescrito. Los valores así obtenidos deberán diferir de los valores límite establecidos un 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 *in situ* con cemento no se podrá iniciar hasta que el Director de las Obras haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en obra, la cual señalará, como mínimo:

- El espesor del reciclado *in situ*.
- La granulometría del material fresado y, en su caso, la proporción y la granulometría del material de aportación a emplear en la mezcla.
- La proporción en masa de cemento, indicando su tipo y clase resistente, agua de amasado y, en su caso, aditivos con indicación de su tipo, todo ello respecto a la masa total del material a reciclar en seco.
- La humedad de compactación.
- El periodo de trabajabilidad de la mezcla.
- La densidad máxima y la humedad óptima del Proctor modificado (norma UNE-EN 13286-2).

En el caso de que la capa reciclada *in situ* vaya a abrirse de forma inmediata al tráfico, se deberá determinar su índice de carga inmediato (IBI) (norma UNE-EN 13286-47).

La proporción de agua de amasado será la correspondiente a la humedad óptima determinada en el ensayo Proctor modificado (norma UNE-EN 13286-2), realizado sobre el material a reciclar, el de aportación, en su caso, y el contenido de cemento correspondiente a cada tramo homogéneo.

El contenido necesario de cemento en la mezcla reciclada se determinará mediante el ensayo de resistencia a compresión simple (norma UNE 13286-41) a siete días (7 d), de modo que se cumplan los límites especificados en el apartado 21.3.

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

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 21.2, teniendo en cuenta que en ningún caso los valores podrán sobrepasar los límites establecidos.

TABLA 21.2 – TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	TOLERANCIA
CEMENTO	% sobre la masa total del material a reciclar en seco	± 0,3
HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (agua total)		-1,5 / +0,5

21.5.3 Fresado del espesor del firme 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 avance del equipo será constante en cada tramo homogéneo, a fin de asegurar una profundidad uniforme de fresado y la homogeneidad del material obtenido. Se evitarán, en lo posible, las paradas y cuando sean inevitables se cortarán de forma inmediata las entradas de 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.

Donde resultase imposible el empleo de máquinas fresadoras, el material se demolerá con otros medios mecánicos y los productos así obtenidos se tratarán como un residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente, pudiéndose utilizar en los términos previstos para ellos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Estas zonas se rellenarán con materiales que, en cualquier circunstancia, deberán cumplir las prescripciones establecidas para el conjunto de la unidad de obra.

21.5.4 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, garantizando su mezcla homogénea en todo el ancho efectivo de trabajo.

Antes de iniciarse los trabajos, y fuera del lugar de empleo, se purgarán y pondrán a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realizará la limpieza de los difusores y siempre como mínimo dos (2) veces al día.

Las operaciones para abastecer de cemento y agua al equipo se realizarán sin afectar al tráfico que circule por los carriles que se mantengan en servicio durante la ejecución de las obras.

21.5.5 Ejecución de la mezcla y extensión

El equipo de reciclado deberá contar con los dispositivos necesarios para asegurar una mezcla homogénea en toda la anchura y profundidad del tratamiento, lo que se reconocerá visualmente por su color uniforme y la ausencia de grumos. Si se detectaran segregaciones, partículas sin mezclar, diferencias de contenido de cemento o de agua en zonas del firme reciclado, o siempre que se observe que no se cumplen las tolerancias admisibles citadas en la tabla 21.2, deberá detenerse el proceso y realizar las oportunas correcciones hasta solucionar favorablemente las deficiencias, a juicio del Director de las Obras.

Se adoptarán las precauciones necesarias para evitar la ejecución del reciclado en zonas en las que la superficie del firme presente encharcamientos, deteniendo el proceso cuando se observe tal circunstancia.

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 y treinta centímetros (15 a 30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes, debiéndose adoptar las precauciones necesarias para evitar que se produzcan sobredosificaciones de cemento o de agua en estas zonas de solape.

Si estas franjas paralelas se ejecutan dentro del periodo de trabajabilidad de la mezcla obtenida, el resultado se considerará como una banda continua; en caso contrario se considerará que en el borde de la zona de solape correspondiente a la franja extendida en primer lugar existe una junta longitudinal, cuya situación deberá respetar lo indicado en el epígrafe 21.5.8.

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

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 viaria y del personal de las obras.

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

Donde resultase imposible el empleo del equipo de reciclado aprobado y haya de procederse a la utilización de otro distinto, se emplearán equipos de extensión aprobados por el Director de las Obras que proporcionen un producto acabado con unas características similares a las del resto de la unidad de obra.

21.5.6 Prefisuración

Antes de iniciarse la compactación de la capa extendida, se procederá a la realización de juntas en fresco, de acuerdo con las prescripciones específicas del artículo 513 del PG-3.

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 en fresco, dependiendo de la categoría de tráfico pesado, de la zona climática, del espesor y de la tipología de las capas que se dispongan por encima. Salvo justificación en contrario, la separación entre juntas estará comprendida entre tres y cuatro metros (3 a 4 m).

21.5.7 Compactación

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba.

La compactación comenzará inmediatamente después de la mezcla y la ejecución de las juntas en fresco para evitar pérdidas de humedad y continuará mientras el material

esté dentro de su periodo de trabajabilidad. Se realizará longitudinalmente, de manera continua y sistemática, hasta alcanzar la densidad especificada en el epígrafe 21.7.1. La compactación se iniciará por el borde más bajo de la franja que se esté tratando y se continuará hacia el más alto, solapándose las sucesivas pasadas. 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 extensión, y los cambios de dirección y de sentido se realizarán sobre material ya compactado y con suavidad. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. En todo momento, y especialmente en tiempo seco y caluroso, o con fuerte viento, deberá mantenerse húmeda la superficie mediante un riego con agua finamente pulverizada.

Una vez terminada la compactación de la capa, no se permitirá su recrecimiento. Sin embargo, y siempre dentro del periodo de trabajabilidad de la mezcla, el Director de las Obras podrá autorizar un reperfilado de las zonas que rebasen la superficie teórica, recompactando posteriormente la zona corregida.

Las zonas que, por su reducida extensión, pendiente o proximidad a obras de paso o de desagüe, muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se compactarán con medios adecuados, de forma que las densidades que se alcancen no resulten inferiores, en ningún caso, a las exigidas.

21.5.8 Ejecución de juntas

La ejecución de los trabajos se realizará en toda la anchura completa del carril de modo que no se produzcan juntas longitudinales en el interior de la zona reciclada, y únicamente sea necesaria una junta transversal al final de la jornada de trabajo. 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 después de haber ejecutado una franja, se realice la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado.

Preferentemente las juntas longitudinales entre la zona reciclada y el firme existente deberán situarse en los bordes del carril, pero nunca en las franjas de rodadura (rodadas) de paso del tráfico.

Se dispondrán juntas transversales de trabajo cuando el proceso constructivo se interrumpiera un tiempo superior al periodo de trabajabilidad de la mezcla, y siempre al final de cada jornada

Las juntas transversales de trabajo se ejecutarán fresando el material de una zona ya tratada en longitud suficiente, en general no inferior al diámetro del rotor de fresado, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación del cemento y el agua en la zona no tratada.

21.5.9 Curado y protección superficial

Una vez terminada la capa, y en cualquier caso siempre antes de que transcurran tres horas (3 h) desde la finalización de la compactación, se procederá a la aplicación de un riego de curado con una emulsión bituminosa, del tipo y en la cantidad que figure en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, señale el Director de las Obras de acuerdo con lo indicado en el artículo 532 del PG-3. Su extensión se efectuará de manera uniforme en toda la superficie expuesta, la cual se deberá mantener en estado húmedo hasta la aplicación del riego.

Se prohibirá la circulación de todo tipo de vehículos sobre las capas recién ejecutadas, durante el tiempo necesario para que se produzca el fraguado del cemento en la mezcla reciclada y se alcancen las características resistentes deseadas. El Director de las Obras podrá autorizar el paso de tráfico siempre que la mezcla resultante presente un índice de carga inmediato (norma UNE-EN 13286-47) superior a cincuenta (IBI > 50).

Inmediatamente después de la aplicación del riego de curado, 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 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 cuidando de no dañar el riego.

Antes de proceder a la extensión de las capas superiores de mezclas bituminosas, se deberá comprobar que se han formado las juntas prefisuradas descritas en el epígrafe 21.5.7. En caso contrario se procederá a su ejecución mediante serrado, de acuerdo a las indicaciones del Director de las Obras, a una distancia no superior a la indicada en el epígrafe 21.5.8 y de forma que no queden a menos de dos metros y medio ($\prec$ 2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar.

21.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse el reciclado *in situ* con cemento será preceptiva la realización de un tramo de prueba en cada tramo homogéneo, según lo establecido en el epígrafe 21.5.1, con el espesor y la fórmula de trabajo prescritos, y empleando los mismos medios que vayan a utilizarse para la ejecución de las obras. Se comprobará la fórmula de trabajo, el funcionamiento de los equipos previstos (especialmente, la forma de actuación de los de compactación y prefisuración) y se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del material reciclado resultante con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de capa, densidad, 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 cien metros ($\prec$ 100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

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 y una mezcla uniforme y homogénea.
- Se comprobará y ajustará la fórmula de trabajo obtenida para ese tramo.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán también los siguientes aspectos:

- Correlación, en su caso, entre los métodos de control de la dosificación de cemento establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnica Particulares, 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 el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, 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 los aditivos.
- Se establecerán las relaciones entre humedad y densidad alcanzada, así como entre ésta última y el orden y número de pasadas de los compactadores.
- Se evaluará el esponjamiento de la capa reciclada, por diferencia de espesor antes del fresado y después de la compactación, al objeto de garantizar el espesor mínimo de reciclado necesario.

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 al Contratista las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, 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, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar otros adicionales a los existentes.

Los resultados obtenidos en el tramo de prueba definitivo servirán para fijar la fórmula de trabajo y los valores de referencia para los ensayos de control de calidad.

Se fijará como densidad de referencia la alcanzada en el tramo de prueba con los equipos propuestos y el plan de compactación empleado. Esta densidad deberá ser igual o superior a la obtenida en laboratorio con la fórmula de trabajo propuesta. En caso de no alcanzarse, no se considerará aceptable el equipo de compactación utilizado y el Contratista deberá optar por proponer una mejora del equipo de compactación o modificar la fórmula de trabajo propuesta.

21.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

21.7.1 Densidad

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad de la capa tras la compactación, expresada como porcentaje de la densidad de referencia definida en la fórmula de trabajo, la cual no será inferior al noventa y siete por ciento ($\prec$ 97%).

21.7.2 Resistencia mecánica

La resistencia a compresión simple a siete días (7 d) (norma UNE-EN 13286-41) deberá estar comprendida entre los límites especificados en el apartado 21.3.

21.7.3 Terminación, rasante, anchura y espesor

La superficie de la capa terminada presentará una textura uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas. La rasante no superará a la teórica en ningún punto, ni quedará por debajo de ella en más de veinte milímetros ($\succ$ 20 mm).

En perfiles transversales cada veinte metros (20 m) se comprobará la anchura de la capa reciclada, que en ningún caso será inferior ni superará en más de diez centímetros ($\succ$ 10 cm) a la establecida en los planos del Proyecto.

El espesor de la capa reciclada no deberá ser inferior en ningún punto al previsto en los planos de secciones tipo del Proyecto.

21.7.4 Regularidad superficial

El índice de regularidad internacional (IRI) (norma NLT-330) de la capa terminada cumplirá los valores indicados en la tabla 21.3.

TABLA 21.3 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

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

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).
- La temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (< 5 °C). El Director de las Obras podrá variar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Se produzcan precipitaciones atmosféricas constantes o precipitaciones puntuales con una intensidad significativa, a juicio del Director de las Obras.

21.9 CONTROL DE CALIDAD

21.9.1 Consideraciones generales

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

La realización de los ensayos *in situ* y la toma de muestras se realizará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal, de tal forma que haya al menos una (1) toma o un (1) ensayo por cada hectómetro (hm).

21.9.2 Control de procedencia de los materiales

21.9.2.1 Cemento

El cemento cumplirá las especificaciones establecidas en el artículo 202 del PG-3.

21.9.2.2 Material de aportación

El material de aportación cumplirá las especificaciones establecidas en el artículo 510 ó 513, según corresponda, del PG-3.

21.9.3 Control de ejecución

21.9.3.1 Dosificación del cemento

Se controlará el funcionamiento de las boquillas de inyección de lechada al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde) y, en cualquier caso, antes del inicio de los trabajos. En cada camión de suministro se controlará, además, el consumo efectivo de cemento, que se contrastará con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido.

21.9.3.2 Fresado y mezcla reciclada

Por cada lote definido en el epígrafe 21.9.4, y al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se efectuarán las siguientes determinaciones:

- Contenido de humedad de la mezcla (norma UNE-EN ISO 17892-1).
- Fabricación de dos (2) series de tres (3) probetas para la determinación de la resistencia a compresión (norma UNE-EN 13286-41) a siete días (7 d). Las probetas se fabricarán (norma UNE-EN 13286-51) con la densidad mínima exigida en obra, pero nunca con valores superiores.

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, si así lo aconsejase el desarrollo de las obras.

La adición de agua y de lechada de cemento se controlará por medio del caudalímetro del equipo de reciclado, que dispondrá de un sistema automático de registro, de forma que se obtenga en cada tramo la humedad especificada.

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 aprobadas de acuerdo con el apartado 21.6.
- El aspecto de la mezcla reciclada, especialmente la dispersión homogénea de la lechada de cemento, y la ausencia de grumos y segregaciones.
- 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.

Si el reciclado se realiza con dos equipos trabajando en paralelo, los controles especificados en este epígrafe se efectuarán para cada uno de ellos.

21.9.3.3 Compactación

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 epígrafe 21.9.4. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas se proseguirá el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos.

En caso de usarse equipo nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente contrastados en la realización del tramo de prueba. La

medición de la densidad por el método nuclear se llevará a cabo según la norma UNE 103900.

21.9.3.4 Curado y protección superficial

Se vigilará que la superficie de la capa permanezca constantemente húmeda hasta la aplicación del riego de curado, pero sin que se produzcan encharcamientos.

Se controlará diariamente la dotación de emulsión bituminosa empleada en el riego de curado y, en su caso, del árido de cobertura, de acuerdo con lo especificado en el artículo 532 del PG-3.

21.9.4 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, según lo establecido en el epígrafe 21.5.1:

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

El espesor, la densidad y, en su caso, la resistencia de la capa, se comprobarán mediante la extracción de testigos cilíndricos (UNE-EN 12504-1) en emplazamientos aleatorios, que deberán presentar un aspecto homogéneo y compacto en todo su espesor, no admitiéndose aquellos que presenten coqueras, resulten disgregados, rotos o troceados durante su extracción. El número de testigos por lote será de tres (3), aumentándose hasta un máximo de cinco (5), en casos de detección de anomalías en espesores o densidades, a criterio del Director de las Obras. Las cavidades producidas por la extracción de testigos se rellenarán con material de la misma calidad que el utilizado en el resto de la capa, y será correctamente compactado y enrasado.

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 mismos. Se comprobará que la superficie extendida y compactada presenta un aspecto

uniforme, así como ausencia de segregaciones, en perfiles transversales cada veinte metros (20 m). Se verificará que la anchura de la capa cumple lo establecido en el epígrafe 21.7.3.

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará, en tramos de mil metros (1 000 m) de longitud y antes de la extensión de la siguiente capa, mediante la determinación del índice de regularidad internacional (IRI) (norma NLT-330) calculando un solo valor del IRI para cada hectómetro (hm) del perfil auscultado y así sucesivamente hasta completar el tramo medido, que deberá cumplir lo especificado en el epígrafe 21.7.4.

21.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Los criterios de aceptación o rechazo de la unidad terminada se aplicarán sobre los lotes definidos en el epígrafe 21.9.4, según lo indicado a continuación:

21.10.1 Densidad

Por cada lote, la densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en el epígrafe 21.7.1. Si fuera inferior, se procederá de la siguiente manera:

- Si es superior o igual al noventa y cinco por ciento (≥ 95%) de la densidad especificada, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de material reciclado correspondiente al lote controlado.
- Si es inferior al noventa y cinco por ciento (< 95%) de la densidad especificada, se demolerá 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. El producto resultante de la demolición se empleará como indique el Director de las Obras, a cargo del Contratista o, en su defecto, se tratará como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

Adicionalmente, no se admitirá que más de un ($\nsucc$ 1) individuo de la muestra ensayada del lote presente un valor inferior al prescrito en más de cuatro (4) puntos porcentuales. De no cumplirse esta condición se dividirá el lote en dos (2) partes iguales y se tomarán

testigos de cada una de ellas, aplicándose para cada uno los criterios descritos en este epígrafe.

21.10.2 Resistencia mecánica

La resistencia media de un lote a siete días (7 d) se calculará como media de las resistencias de las probetas fabricadas de acuerdo con lo indicado en el epígrafe 21.9.3.2. Si fuera superior a la mínima e inferior a la máxima de las referenciadas en el apartado 21.3, se aceptará el lote. En caso contrario, se procederá de la siguiente manera.

- Si la resistencia media fuera superior a la máxima deberán realizarse juntas de contracción por serrado a una distancia no superior a la indicada en el epígrafe 21.5.8 y de forma que no queden a menos de dos metros y medio ($\measuredangle$ 2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar. Esta medida no será necesaria siempre que se compruebe que se ha producido la formación de las juntas prefisuradas previstas y así lo autorice el Director de las Obras.
- Si la resistencia media fuera inferior a la mínima exigida pero no a su noventa por ciento ($\measuredangle$ 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.
- Si la resistencia media es inferior al noventa por ciento (< 90%) de la mínima exigida, se realizarán ensayos de información.

Los ensayos de información para la evaluación de la resistencia mecánica del lote no conforme se realizarán, en su caso, comparando los resultados de ensayos a compresión simple de testigos (UNE-EN 12504-1) extraídos de ese lote con los de otro aceptado, pertenecientes ambos al mismo tramo homogéneo. En caso de que esto no fuese posible, el Director de las Obras podrá autorizar que los testigos de referencia se extraigan de un lote aceptado cuya situación, condiciones de ejecución y características lo hicieran comparable a aquél que vaya a ser sometido a ensayos de información.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el número de testigos a extraer en cada uno de los lotes (aceptado y no conforme), que en ningún caso deberá ser inferior a cuatro ($\measuredangle$ 4). La edad de rotura de los testigos, que será la misma para ambos lotes, será fijada por el Director de las Obras.

El valor medio de los resultados de los testigos del lote no conforme se comparará con el de los extraídos en el aceptado y, si es igual o superior, se aceptará el lote investigado. Si fuera inferior, se procederá de la siguiente manera:

- Si es superior o igual al noventa por ciento (≥ 90%), se aplicarán al lote las sanciones previstas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- Si es inferior al noventa por ciento (< 90%), pero superior o igual al setenta por ciento (≥ 70%), el Director de las Obras aplicará las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y ordenará el aumento de espesor en la capa superior que considere compensa la merma producida de resistencia, sin incremento de coste para la Administración.
- Si es inferior al setenta por ciento (< 70%), se demolerá el lote y se repondrá con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista. El producto resultante de la demolición se empleará como indique el Director de las Obras, a cargo del Contratista o, en su defecto, se tratará como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

Las sanciones a las que se hace referencia en este epígrafe 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 será inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los planos del Proyecto. Si fuera inferior, se procederá de la siguiente manera:

- Si es superior o igual al noventa por ciento (≥ 90%) del 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, que se construirá conjuntamente en una única capa. No se permitirá en ningún caso el recrecimiento en capa delgada con ningún tipo de material.
- Si es inferior al noventa por ciento (< 90 %) del especificado, se demolerá la capa correspondiente al lote controlado y se repondrá con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del contratista. El producto resultante de la demolición se empleará como indique el Director de las Obras, a cargo del

Contratista o, en su defecto, se tratará como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

Adicionalmente, no se admitirá que más de un (⩾ 1) individuo de la muestra ensayada del lote presente resultados inferiores al especificado en más de un diez por ciento (⩾ 10%). De no cumplirse esta condición se dividirá el lote en dos (2) partes iguales y se tomarán testigos de cada una de ellas, aplicándose los criterios descritos en este epígrafe.

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. Si se rebasaran dichas tolerancias, se procederá de la siguiente manera:

- Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la rasante siempre que se compense la merma producida con el espesor adicional necesario de la capa superior, en toda la anchura de la sección tipo y por cuenta del Contratista, de acuerdo con lo especificado en el epígrafe anterior.
- Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, se corregirá mediante fresado por cuenta del Contratista, siempre que no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los planos del Proyecto. El producto resultante será tratado como residuo de construcción y demolición, según la legislación ambiental vigente.

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 epígrafe 21.7.4. Si se sobrepasaran dichos límites, se procederá de la siguiente manera:

- Si es inferior al diez por ciento (< 10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

- Si es igual o superior al diez por ciento (≥ 10%) de la longitud del tramo controlado se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista, teniendo en cuenta todo lo especificado en los epígrafes 21.10.3. y 21.10.4.

21.2. MEDICIÓN Y ABONO

El cemento se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, obtenidas multiplicando la medición abonable de material reciclado por la dosificación media deducida del control de dosificación de cada lote.

La ejecución del reciclado *in situ* con cemento se abonará por metros cúbicos (m^3) de material reciclado, los cuales se obtendrán como producto de la superficie reciclada, obtenida multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada y por el espesor medio de reciclado deducido de los ensayos de control.

En dicho abono se considerará 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 material de aportación, en su caso, se abonará por metros cúbicos (m^3), obtenidos aplicando a la medición abonable de ejecución del reciclado la dosificación de la fórmula de trabajo para ese tramo.

No se tendrá derecho a un incremento de abono por las zonas solapadas o las superficies que por sus defectos haya sido necesario reciclar en más de una pasada. Tampoco serán de abono las creces laterales, ni la limpieza de la superficie existente.

La aplicación del ligante bituminoso para el riego de curado se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo. El árido de cobertura superficial, incluida su extensión, apisonado y eliminación posterior, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

22

RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS

22.1 DEFINICIÓN

Se define como material bituminoso a reciclar (RAP), el procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, eventual trituración y posterior tratamiento y clasificación. Este material debe estar compuesto por áridos de buena calidad y granulometría continua, cubiertos por betún asfáltico envejecido.

Se define como reciclado en central de capas bituminosas la técnica de fabricación de mezclas bituminosas consistente en la utilización del RAP con la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente y semicaliente) de las especificadas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

La fabricación de una mezcla bituminosa reciclada en central incluye las siguientes operaciones previas a las especificadas en el mencionado documento reglamentario:

- Acopio del RAP procedente de firmes o pavimentos bituminosos envejecidos.
- Tratamiento del RAP (eventual trituración, eliminación de elementos metálicos contaminantes y clasificación por capas, tamaño, aplicación, etc.).
- Caracterización y acopio del RAP tratado.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo, con la adaptación de todos los materiales de aportación (áridos, ligante, etc.) a las características del árido y ligante procedente del RAP.

Todos los aspectos relativos a la puesta en obra y control de calidad de estos materiales se llevarán a cabo de conformidad a lo indicado en el artículo 542 del PG-3.

22.2 TIPOS DE MEZCLAS BITUMINOSAS RECICLADAS

22.2.1 En función de la temperatura

En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, las mezclas bituminosas recicladas en central se clasifican en calientes y semicalientes, definidas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). En estas últimas, el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, hace posible que la temperatura máxima a la salida del mezclador no sea superior a ciento cuarenta grados Celsius ($\nearrow$ 140 ºC).

22.2.2 En función de la proporción en masa de RAP

Una mezcla bituminosa reciclada contendrá una proporción en masa de RAP superior al quince por ciento (> 15 %) de la masa total de la mezcla. Si dicha proporción es igual o inferior al quince por ciento (≤ 15%) se considerará dicho material como árido y ligante para la fabricación de mezclas tipo hormigón bituminoso de las especificadas en el artículo 542 del PG-3.

Las mezclas bituminosas recicladas en central se clasifican como de tipo 1 (tasa baja), tipo 2 (tasa media) o tipo 3, en función de la proporción de RAP en la masa total de la mezcla, de acuerdo a lo indicado en la tabla 22.1.

TABLA 22.1- CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS RECICLADAS

TIPO	CONTENIDO DE RAP (% sobre la masa total de la mezcla)	
	Límite inferior	Límite superior
1	>15	≤ 30
2	>30	≤ 60
3	>60	≤ 80

Para la ejecución de mezclas bituminosas recicladas del tipo 3, será preceptiva la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras. Se realizará en el Proyecto un estudio técnico particularizado del RAP -por capas y características de los materiales-, y de la central de fabricación y sus instalaciones específicas. La central de fabricación de la mezcla reciclada y sus características así como las de las instalaciones específicas adicionales que sean necesarias se definirán

explícitamente y quedarán establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.

22.3 UTILIZACIÓN DEL RAP

Todos los materiales recuperados de mezclas bituminosas podrán ser susceptibles de ser reciclados, incluidos los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla bituminosa que, sin presentar problemas de calidad en cuanto a sus componentes y envuelta, no hayan sido colocados en obra (material sobrante, rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.), con las excepciones que se indican a continuación.

No podrán ser reciclados con las técnicas especificadas en este artículo aquellos materiales que procedan de pavimentos con deformaciones plásticas, o que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas. Tampoco lo podrán ser aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

Las mezclas bituminosas recicladas en central no se podrán utilizar, en ningún caso, en capas de rodadura para las categorías de tráfico pesado T00 a T1. Solamente se podrán emplear para las categorías de tráfico pesado T2 a T4, cuando se trate de fabricar mezclas densas o semidensas, con RAP procedente de capas de rodadura envejecidas, las cuales deberán cumplir todas las prescripciones definidas para ellas en el artículo 542 del PG-3.

Las mezclas bituminosas recicladas en central podrán utilizarse en capas de base e intermedias de cualquier tipo, salvo para la fabricación de las mezclas de alto módulo (MAM), definidas en el artículo 542 del PG-3, que únicamente se admitirán en el caso de mezclas bituminosas recicladas del tipo 1.

22.4 MATERIALES

22.4.1. Consideraciones generales

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el

Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE son conformes con las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

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

22.4.2 Ligante hidrocarbonado de aportación

El ligante de aportación será seleccionado en función de la proporción y las características del ligante envejecido del RAP, de forma que al combinarse con éste se obtenga un ligante con características similares a las de los indicados en el artículo 542 del PG-3, en función de la capa de firme a la que se destine la mezcla bituminosa reciclada, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de ligante hidrocarbonado de aportación a emplear de acuerdo con los artículos 211 (excepto los betunes asfálticos duros recogidos en la tabla 211.2.b) ó 212 del PG-3 o, en su caso, con la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), el cual deberá cumplir las especificaciones de los correspondientes artículos del PG-3 o de dicha reglamentación específica. Solamente se podrán utilizar betunes asfálticos duros en el caso de MAM en mezclas bituminosas recicladas del tipo 1.

En las mezclas bituminosas recicladas, se realizará un estudio completo tanto del ligante envejecido procedente del RAP como del ligante final. En este estudio se determinarán, además de la penetración con aguja (norma UNE-EN 1426) y de los valores del punto de reblandecimiento (método del anillo y bola, norma UNE-EN 1427), el punto de fragilidad Fraass (norma UNE-EN 12593) y, en su caso, la cohesión (fuerza-ductilidad, normas UNE-EN 13589 y UNE-EN 13703, para betunes modificados y solamente sobre el ligante final), de forma que se asegure que éste presenta unas características similares a los betunes especificados en el artículo 542 del PG-3.

El Director de las Obras, en el uso de sus atribuciones, podrá establecer la necesidad de realizar adicionalmente otro tipo de ensayos, como la determinación de la viscosidad dinámica usando un viscosímetro de rotación de aguja (norma UNE-EN 13302) y la determinación del módulo complejo de corte y del ángulo de fase mediante reómetro de corte dinámico (norma UNE-EN 14770).

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 rejuvenecedores, que mejoren las características del ligante envejecido y del betún asfáltico resultante.

22.4.3 Áridos de aportación

Los áridos de aportación a emplear en las mezclas bituminosas recicladas en central deberán cumplir las correspondientes especificaciones recogidas en el artículo 542 del PG-3.

22.4.4 Características del RAP y su tratamiento

A la central de fabricación podrán llegar materiales bituminosos procedentes de firmes y pavimentos de distintas características, los cuales se acopiarán para su eventual tratamiento y posterior utilización. En todo caso, el RAP acopiado no contendrá más de un veinte por ciento ($\nsucc$ 20 %) de mezclas bituminosas distintas de las contempladas en el artículo 542 del PG-3. Cuando contenga una proporción superior al veinte por ciento (>20%) de microaglomerados en frío, mezclas bituminosas drenantes y discontinuas, deberá acopiarse de forma independiente y ser objeto de un estudio diferenciado de su aprovechamiento.

En principio, y como se especifica en el apartado 22.3 de este artículo, todos los

materiales procedentes de mezclas bituminosas en caliente pueden ser susceptibles de ser reciclados, con las excepciones que allí se indican. Sobre los que contengan en su composición original adiciones modificadoras de la reología del ligante bituminoso o del comportamiento resistente de la mezcla bituminosa (fibras, productos elastoméricos, etc.), se hará un estudio especial ante una eventual emisión de contaminantes a la atmósfera durante el proceso de fabricación de la nueva mezcla.

El RAP que se incorpore al proceso de producción será homogéneo, no contendrá partículas de tamaño superior a veintidós milímetros (⊁ 22 mm) ni ningún tipo de elemento contaminante potencialmente peligroso, y estará totalmente caracterizado y referenciado. Si fuera necesario se someterá en la central a un tratamiento previo de trituración, eliminación de elementos metálicos contaminantes y homogeneización mediante clasificación, para convertirlo en material apto para su uso en una mezcla bituminosa reciclada. Estos procesos convertirán el producto original acopiado en un RAP tratado.

22.4.4.1 Homogeneidad

Para la utilización de cualquier acopio de RAP tratado, la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante, el contenido de éste y su penetración, deberán cumplir las tolerancias indicadas en la tabla 22.2, respecto a los valores especificados en la fórmula de trabajo.

TABLA 22.2 – TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERISTICA		NORMA	UNIDAD	TOLERANCIA
GRANULOMETRÍA CERNIDO TAMICES (mm)	>2	UNE-EN 933-2	% sobre masa total material en seco	± 4
	>0,063 y ≤ 2			± 2
	0,063			± 1
CONTENIDO DE LIGANTE		UNE-EN 12697-1		± 0,3
PENETRACIÓN DEL LIGANTE RECUPERADO		UNE-EN 1426	(1/10) mm	± 4

22.4.4.2 Sustancias sólidas contaminantes

Además de lo especificado en el apartado 2.3 de este artículo, el RAP tratado

estará exento de materiales procedentes de residuos de construcción y demolición, y especialmente de aquellos que en la fabricación de la mezcla reciclada pudieran producir merma en sus propiedades o contaminación. El contenido de materia extraña gruesa y fina para el grupo 1 y 2 de materiales (norma UNE-EN 12697-42) deberá ser inferior al uno por ciento (< 1%) en masa para el grupo 1 y del uno por mil (< 1‰) en masa para el grupo 2.

22.4.4.3 Ligante hidrocarbonado

El ligante hidrocarbonado procedente del RAP tratado, deberá ser susceptible de mezclarse homogéneamente con el de aportación y dar lugar a un producto de características similares a los betunes especificados en el artículo 542 del PG-3.

22.4.4.4 Áridos

Los áridos procedentes del RAP tratado no presentarán signos de meteorización y tendrán las propiedades de dureza y calidad semejantes a las exigidas a los áridos de aportación. Cumplirán las especificaciones del artículo 542 del PG-3 y sus propiedades se evaluarán directamente con los ensayos establecidos en el mismo.

22.4.5 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerán las especificaciones que tendrán que cumplir tanto los aditivos empleados, como las mezclas bituminosas recicladas resultantes. Los métodos de incorporación, dosificación y dispersión homogénea del aditivo, deberán ser aprobados por el Director de las Obras.

22.5 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

La designación y características de la mezcla bituminosa reciclada en central serán fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de entre las especificadas en el artículo 542 del PG-3, con las complementarias indicadas a continuación en este apartado.

La denominación del tipo de mezcla bituminosa reciclada en central se compondrá añadiendo a la denominación del tipo de mezcla correspondiente del artículo

542 del PG-3 la letra "R" y dos dígitos que indiquen la proporción de RAP empleado en la mezcla (por ejemplo: AC 22 base 50/70 G R30). Cuando la mezcla bituminosa reciclada sea semicaliente, se añadirá esta palabra al final de la designación de la mezcla.

La dotación total de ligante hidrocarbonado (el de aportación más el procedente del RAP), expresada en proporción en masa sobre el total de la mezcla, no será inferior en ningún caso al cuatro por ciento ($\prec$ 4 %) en capas intermedias y de base, y al cinco por ciento ($\prec$ 5 %) en capas de rodadura, incluidas las correspondientes tolerancias indicadas en la tabla 22.2.

La dotación de ligante de aportación será como mínimo del cincuenta por ciento (50 %) de la del ligante hidrocarbonado de la mezcla reciclada, incluyendo en la misma la correspondiente al eventual empleo de aditivos o ligantes rejuvenecedores.

22.6 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El equipo necesario para la ejecución de las obras cumplirá con las especificaciones establecidas en el artículo 542 del PG-3, teniendo en cuenta además las prescripciones adicionales indicadas en este apartado.

22.6.1 Centrales de fabricación de la mezcla reciclada

22.6.1.1 Instalaciones de tratamiento del RAP original

Previamente a su acopio en la central de fabricación se procederá al tratamiento del RAP original, realizándose las operaciones que sean necesarias para su homogeneización y adecuada clasificación.

Si el RAP original contiene partículas de tamaño superior a veintidós milímetros ($\succ$ 22 mm) se someterá en la central a un tratamiento previo de trituración y mezclado, para lo que se usarán instalaciones de machaqueo que proporcionen un producto granular uniforme con la menor cantidad posible de elementos finos, entendiendo como tales a aquellos de tamaño inferior a dos milímetros (< 2 mm).

En el caso de que haya elementos contaminantes de tipo metálico se dotará a la

instalación de un dispositivo específico para su detección y eliminación.

Los sistemas de clasificación empleados deberán permitir separar el producto resultante de las operaciones anteriores en al menos dos (2) fracciones, siendo la más fina de tamaño máximo nominal inferior a ocho milímetros (< 8 mm).

22.6.1.2 Central de fabricación

La central de fabricación (de funcionamiento continuo o discontinuo) dispondrá de, al menos, dos (2) tolvas adicionales para el RAP tratado, y será capaz de incorporarlo durante el proceso de mezcla sin afección negativa a los materiales constituyentes, en especial, al ligante de aportación.

En ningún caso se calentará el RAP a una temperatura superior a la del nuevo ligante incorporado, ni los áridos de aportación a más de doscientos veinte grados Celsius (≯ 220ºC).

Los gases producidos en el calentamiento de la mezcla, deberán ser recogidos durante el proceso de fabricación, evitando en todo momento su emisión directa a la atmósfera sin un tratamiento previo. Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental y de seguridad y salud.

22.6.1.2.1 Funcionamiento continuo

En centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación del RAP tratado será ponderal y deberá poder tener en cuenta su humedad, para ajustar la dosificación en función de ella. La central dispondrá de un sistema que permita la incorporación del RAP por detrás del quemador, en un anillo intermedio al tambor, de forma que no exista riesgo de contacto con la llama.

Cuando la mezcla bituminosa reciclada sea de tasa baja (tipo 1 de la tabla 22.1), el flujo de áridos en el secador-mezclador no coincidirá con el de circulación de los gases (flujo en contracorriente), de manera que se evite la exposición directa a la llama de dichos materiales.

Cuando la mezcla bituminosa reciclada sea de tasa media (tipo 2 de la tabla 22.1), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especificará sus características, y las de la central de fabricación y sus instalaciones específicas adicionales.

22.6.1.2.2 Funcionamiento discontinuo

Para las mezclas bituminosas recicladas de tasa baja (tipo 1 de la tabla 22.1), se admitirá la incorporación en frío del RAP en el mezclador siempre que tenga una dosificación ponderal específica e independiente.

Para la fabricación de mezclas bituminosas recicladas de tasa media (tipo 2 de la tabla 22.1), las centrales tendrán un tambor secador independiente para el RAP. Además deberán estar provistas de silos para almacenar en caliente el RAP y de un sistema de dosificación ponderal específico e independiente del mismo.

22.7 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se cumplirán las prescripciones establecidas en el artículo 542 del PG-3 teniendo en cuenta, además, las prescripciones complementarias indicadas a continuación.

22.7.1 Fabricación de la mezcla reciclada

22.7.1.1 Acopio y tratamiento del RAP original

22.7.1.1.1 Consideraciones generales

El RAP podrá emplearse en la misma obra de la que procede o acopiarse para su posterior utilización en otro lugar. Deberá llevarse un registro de la procedencia del RAP, identificando y acopiando por separado los materiales procedentes de mezclas bituminosas distintas de las definidas en el artículo 542 del PG-3.

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

También se acopiarán de forma independiente los materiales para los que sea necesario realizar un estudio diferenciado de su aprovechamiento, según el epígrafe 22.4.4, hasta su aceptación o rechazo.

El RAP original se tratará y mezclará para su homogeneización y eventual descontaminación, según lo indicado el epígrafe 22.6.1.1.

22.7.1.1.2 Caracterización de los acopios del RAP tratado

Una vez tratado, el RAP se dispondrá en acopios homogéneos. Para que un acopio se considere homogéneo deberá quedar identificado y caracterizado por los ensayos del epígrafe 22.8.1, con las tolerancias establecidas en la tabla 22.2. Los materiales que cumplan los criterios de homogeneidad se podrán acopiar juntos y podrán emplearse en la fabricación de mezcla bituminosa reciclada en central con una misma fórmula de trabajo.

Los acopios homogéneos de RAP 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 estar formados por tongadas horizontales de espesor no superior a un metro y medio ($\geq$ 1,5 m), en una zona bien drenada y, preferiblemente, pavimentada. Si se dispusieran sobre el terreno natural no se utilizarán sus quince centímetros (15 cm) inferiores. Deberá vigilarse su altura para evitar que el RAP se aglomere, especialmente con temperaturas elevadas, limitándose a tres metros ($\leq$ 3 m) cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (> 30ºC).

Los acopios deberán estar cubiertos si las condiciones meteorológicas son desfavorables y el tiempo de almacenamiento se reducirá al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad aumente en exceso.

22.7.1.2 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La fabricación y puesta en obra de la mezcla bituminosa reciclada no se iniciará hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en la central de fabricación, de acuerdo con lo indicado en el artículo 542 del PG-3.

La fórmula de trabajo fijará, además de las características establecidas en el mencionado artículo, las siguientes especificaciones:

- Proporción en masa de las fracciones del RAP tratado, referido a la masa total de mezcla bituminosa fabricada.
- Granulometría del árido contenido en las fracciones del RAP tratado (norma UNE-EN 933-2, serie R 20 de la norma UNE 7050-2), y contenido de ligante hidrocarbonado del RAP, referido a la masa total del mismo.
- La identificación y proporción de cada fracción del árido 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.
- Granulometría de los áridos de la mezcla bituminosa fabricada (norma UNE-EN 933-2, serie R 20 de la norma UNE 7050-2).
- Tipo, características y dosificación del ligante hidrocarbonado de aportación, referido a la masa total de la mezcla bituminosa fabricada.
- Tipo y dotación de aditivos, referida a la masa total del ligante y, en su caso, el tipo y la dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.
- Densidad mínima a alcanzar.

Además se indicarán:

- Los tiempos a exigir para la mezcla del RAP y los áridos de aportación, y del conjunto con el ligante de aportación.
- Las temperaturas máxima y mínima y la humedad máxima del RAP en la tolva y en la báscula de dosificación a la entrada del mezclador.
- La temperatura máxima de calentamiento del árido de aportación.
- En el caso de que se empleen aditivos o adiciones, se indicarán las prescripciones sobre su incorporación.

Los tiempos de mezclado del RAP con los áridos y el ligante de aportación (y el eventual producto rejuvenecedor), vendrán determinados por la homogeneidad de la mezcla, la total desaparición de los nódulos del RAP y la integración de todos los ligantes presentes. El tiempo total de permanencia de la mezcla bituminosa reciclada en el mezclador será aquel que garantice un amasado uniforme homogéneo y eficaz (reblandecimiento del ligante envejecido), y deberá ser aprobado por el Director de las Obras.

22.7.1.3 Fabricación de la mezcla

En todos los casos, los dosificadores de áridos en frío y del RAP 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 o de la tolva de regulación del RAP.

22.7.1.3.1 Central con secador-mezclador continuo

La central tendrá un secador que funcionará en contracorriente y un tambor mezclador independiente con incorporación del RAP tratado fuera de la zona de altas temperaturas y de la corriente de gases calientes. La proporción máxima de material reciclado vendrá determinada por la limitación del calentamiento de los áridos de aportación a una temperatura inferior a doscientos veinte grados Celsius (< 220ºC).

La temperatura de calentamiento de los áridos de aportación, se determinará según la fórmula:

$$T = \frac{T_f - R \cdot T_{RAP}}{1 - R} + [H_{RAP} \cdot (637 - T_{RAP}) \cdot 4R \cdot (1 - R)]$$

Siendo:

- T: Temperatura de calentamiento de los áridos de aportación (ºC).
- T_f: Temperatura final de la mezcla reciclada (ºC).
- T_{RAP}: Temperatura del RAP (ºC).
- R: Porcentaje de RAP (en tanto por uno).
- H_{RAP}: Humedad del RAP (en tanto por uno).

Cuando la mezcla bituminosa reciclada sea de tasa media (tipo 2 de la tabla 22.1), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especificará las características de la central de fabricación y del material reciclado resultante.

22.7.1.3.2 Central con mezclador discontinuo

En las mezclas bituminosas recicladas de tasa baja (tipo 1 de la tabla 22.1), cuando el RAP tratado se incorpore al mezclador a temperatura ambiente, podrán existir dos configuraciones posibles de las instalaciones:

- El RAP proveniente de una tolva de pesaje independiente se llevará a otra de

regulación en caliente situada junto a las de los áridos de aportación, y desde esta, a través del circuito convencional de pesada, se incorporará al mezclador. La capacidad del sistema de extracción de vapor deberá ser superior al de una central convencional.

- Se podrá mantener el circuito convencional de áridos de aportación hasta el mezclador, y el RAP se incorporará directamente al mismo, proveniente de una tolva específica conectada a un sistema de pesaje continuo y con un sistema de cinta o elevador de cangilones.

Para posibilitar la transferencia de calor de los áridos de aportación al RAP y que se produzca el reblandecimiento del ligante presente en el mismo, se deberá garantizar que se produce una envuelta en seco (amasada en blanco) suficiente en el mezclador, previa a la inyección del ligante de aportación. Dicho tiempo de mezclado en seco deberá ser aprobado por el Director de las obras.

El tiempo del ciclo de la mezcla (incluido el realizado en seco), será el necesario para eliminar la humedad del RAP, obtener una distribución homogénea del mismo con los áridos de aportación, y garantizar la integración conjunta de todos los materiales y ligantes incorporados, así como la completa desaparición de los nódulos del RAP. El tiempo de ciclo de la mezcla, que deberá ser sensiblemente superior al necesario para fabricar una mezcla bituminosa convencional sin material reciclado, será aprobado por el Director de las Obras.

Para las mezclas bituminosas recicladas de tasa media (tipo 2 de la tabla 22.1), la central de fabricación deberá estar provista de un segundo tambor secador, cuya misión será la de calentar el RAP a una temperatura superior a la ambiente, pero limitada a ciento cuarenta grados Celsius ($\nearrow$ 140°C) para evitar un mayor envejecimiento del betún contenido en el material.

22.8 CONTROL DE CALIDAD

Se cumplirán las prescripciones establecidas en el artículo 542 del PG-3, teniendo en cuenta además las prescripciones complementarias siguientes.

22.8.1 Control de procedencia de los materiales

En el caso de productos que dispongan del marcado CE, de acuerdo con el Reglamento 305/2011, para el control de procedencia de los materiales, se llevará a cabo la verificación de que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE cumplan las especificaciones establecidas en este artículo. Independientemente de la aceptación de la veracidad de las propiedades referidas en el marcado CE, si se detectara alguna anomalía durante el transporte, almacenamiento o manipulación de los productos, el Director de las Obras, en el uso de sus atribuciones, podrá disponer en cualquier momento, la realización de comprobaciones y ensayos sobre los materiales suministrados a la obra, al objeto de asegurar las propiedades y la calidad establecidas en este artículo.

En el caso de productos que no tengan la obligación de disponer de marcado CE por no estar incluidos en normas armonizadas, o corresponder con alguna de las excepciones establecidas en el artículo 5 del Reglamento, se deberán llevar a cabo obligatoriamente los ensayos para el control de procedencia que se indican en los epígrafes del apartado 542.9 del PG-3, con las prescripciones complementarias indicadas en este artículo.

22.8.2 Control de procedencia del RAP

Además de su caracterización en la carretera de la que provenga, el RAP tratado deberá serlo también en los acopios, especialmente cuando proceda de distintos orígenes, para lo que se tomarán muestras con objeto de analizar su homogeneidad y poder caracterizar dichos acopios. Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se separará por fracciones el RAP tratado para poder garantizar la homogeneidad de la granulometría y del contenido de ligante. Dicha separación se realizará en al menos dos (2) fracciones, siendo la más fina con tamaño máximo nominal inferior a ocho milímetros (8 mm).
- Si a lo largo de la obra la composición o propiedades del RAP tratado o el contenido de ligante varían, dicho material se dispondrá en acopios separados, correctamente identificados y con la trazabilidad que permita identificar su procedencia.

Para ello, por cada mil toneladas (1 000 t) de acopio de RAP tratado, si se va a emplear en la fabricación de la mezcla una proporción de RAP de tasa baja (tipo 1 de la tabla 22.1), o por cada quinientas toneladas (500 t) de acopio, si se va a emplear

una proporción superior (tipos 2 ó 3 de la tabla 22.1), se tomarán cinco (5) muestras, y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría del material disgregado (norma UNE-EN 933-1).
- Contenido de ligante soluble (norma UNE-EN 12697-1).
- Granulometría de los áridos recuperados (norma UNE-EN 12697-2).

Además, en dos (2) de dichas muestras se determinará también:

- Coeficiente de Los Ángeles del árido recuperado (norma UNE-EN 1097-2).
- Densidad y absorción de agua del árido grueso y fino recuperados (norma UNE-EN 1097-6).
- Coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso para capas de rodadura (norma UNE-EN 1097-8).
- Penetración con aguja del ligante recuperado (norma UNE-EN 1426).
- Punto de reblandecimiento, método anillo y bola, del ligante recuperado (norma UNE-EN 1427).
- Índice de penetración del ligante recuperado (Anexo A de las normas UNE-EN 12591 o UNE-EN 13924-1).
- Punto de fragilidad Fraass (norma UNE-EN 12593).
- Cohesión (fuerza-ductilidad, normas UNE-EN 13589 y UNE-EN 13703), en el supuesto de que el RAP tuviera ligante modificado.

Adicionalmente, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrán establecer la necesidad de realizar otro tipo de ensayos, como son la determinación de la viscosidad dinámica usando un viscosímetro de rotación de aguja (norma UNE-EN 13302) y la determinación del módulo complejo de corte y del ángulo de fase mediante reómetro de corte dinámico (norma UNE-EN 14770).

22.8.3 Control de calidad de los acopios de RAP

Se examinará cada acopio homogéneo de RAP desechando los que no cumplan con los límites de tolerancias de granulometría y de contenido de ligante establecidos en la tabla 22.2, y se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus elementos separadores, así como el de los accesos.

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

Al menos una (1) vez al día:

- Contenido de humedad del acopio (norma UNE-EN ISO 17892-1).
- Contenido de ligante soluble (norma UNE-EN 12697-1).
- Granulometría de los áridos recuperados (norma UNE-EN 12697-2).

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

- Penetración con aguja del ligante recuperado (norma UNE-EN 1426).
- Punto de reblandecimiento, método anillo y bola, del ligante recuperado (norma UNE-EN 1427).
- Índice de penetración del ligante recuperado (Anexo A de las normas UNE-EN 12591 o UNE-EN 13924-1).

Adicionalmente, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrán especificar alguna de las características complementarias, como son el punto de fragilidad Fraass (norma UNE-EN 12593), la cohesión (fuerza-ductilidad, normas UNE-EN 13589 y UNE-EN 13703), la viscosidad dinámica usando un viscosímetro de rotación de aguja (norma UNE-EN 13302), y el módulo complejo de corte y el ángulo de fase mediante reómetro de corte dinámico (norma UNE-EN 14770).

22.8.4 Control de fabricación

En centrales continuas, antes de comenzar la fabricación, se determinará el tiempo de mezclado realizando amasadas con la dosificación prevista de RAP y áridos de aportación, sin adición de ligantes ni polvo mineral, y a la temperatura prescrita, estableciendo así el tiempo necesario de amasado para que el RAP eleve su temperatura y se homogenice con la mezcla reciclada.

En centrales discontinuas, antes de comenzar la fabricación en régimen normal de producción, se tomarán muestras del RAP a la entrada del proceso y tras su calentamiento a la temperatura prescrita, se llevarán a cabo los ensayos de determinación del contenido de ligante soluble (norma UNE-EN 12697-1) y de las características del ligante recuperado (norma UNE-EN 12697-3), determinando la penetración (norma UNE-EN 1426) y el punto de reblandecimiento (norma UNE-EN 1427).

22.9 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Se cumplirán las prescripciones establecidas en el artículo 542 del PG-3, teniendo en cuenta además las siguientes prescripciones adicionales.

22.9.1 Resistencia a tracción indirecta seca y húmeda

De cada lote definido en el artículo 542 del PG-3 se extraerán testigos (norma UNE-EN 12697-27), aleatoriamente situados, y sobre ellos se determinará la resistencia a tracción indirecta (norma UNE-EN 12697-12), a la temperatura de quince grados Celsius (15 °C) y según el procedimiento descrito en la citada norma, que deberá cumplir los valores indicados en la tabla 22.3:

TABLA 22.3 – RESISTENCIA MÍNIMA A TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS TESTIGOS

TIPO DE MEZCLA	RESISTENCIA MEDIA (MPa) (*)			
	ACEPTACIÓN		PENALIZACIÓN	
	Seca (ITS_d)	Húmeda (ITS_w)	Seca (ITS_d)	Húmeda (ITS_w)
Densa (D) y Semidensa (S)	1,7	1,5	1,4	1,2
Gruesa (G)	1,4	1,2	1,2	1,0

(*) Directamente sobre los testigos extraídos, en número no inferior a tres ($\nless 3$) para cada tipo de resistencia.

La resistencia media de los testigos húmeda deberá ser siempre superior al setenta y cinco por ciento (>75%) de la resistencia seca.

Si no se cumplieran los requisitos anteriores, se procederá de la siguiente manera:

- Si no se cumple la prescripción del setenta y cinco por ciento (75%) de la relación de resistencia, se aplicará una penalización del tres por ciento (3%) a la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado.
- Si la resistencia media seca, o húmeda, 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 la resistencia media seca, o húmeda, de la mezcla es inferior al umbral de penalización, se demolerá mediante fresado la capa correspondiente al lote controlado y se repondrá con una mezcla aceptada por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista. El producto resultante de la demolición será tratado como residuo de construcción y demolición, según la legislación

ambiental vigente, o empleado, si es posible, como indique el Director de las Obras, a cargo del Contratista.

Adicionalmente, no se admitirá que más de un ($\nsucc$ 1) individuo de la muestra ensayada del lote aceptado (con o sin penalización) presente resultados inferiores al especificado en más de un veinte por ciento (>20%) de los valores prescritos en la tabla 22.3. De no ser así, se aplicará una penalización del tres por ciento (3%) a la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado, con independencia de otras penalizaciones que pudieran haberse aplicado con anterioridad.

22.10 MEDICIÓN Y ABONO

La fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas recicladas en central se abonará por toneladas (t), según su tipo (tipo 1, 2 o 3), obtenidas multiplicando las dimensiones señaladas para cada capa en los Planos del Proyecto por los espesores y densidades medios deducidos de los ensayos de control de cada lote. En dicho abono se considerará incluido el de los áridos (incluso los procedentes del RAP tratado) y el del polvo mineral. No serán de abono los sobreanchos laterales, ni los aumentos de espesor por corrección de mermas en capas subyacentes.

El polvo mineral de aportación y las eventuales adiciones a la mezcla bituminosa, sólo se abonarán aparte si así lo previera explícitamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y el Cuadro de Precios del Proyecto, y su medición estuviera prevista en el Presupuesto del Proyecto. Su abono se hará por toneladas (t), obtenidas multiplicando la medición correspondiente de mezclas bituminosas puesta en obra por su dotación media en las mismas.

Dentro de cada tipo de mezcla bituminosa reciclada en central, el precio se indicará por porcentaje de RAP utilizado, agrupándose por intervalos no inferiores al cinco por ciento ($\prec$ 5 %).

El ligante de aportación, con la inclusión del eventual producto rejuvenecedor, medido por toneladas (t) se abonará aparte. No será objeto de abono el ligante del RAP.

El proyecto incluirá, además de los áridos, un precio auxiliar del RAP que tenga en cuenta las operaciones de tratamiento, clasificación, acopio e incorporación a la central de fabricación.

ANEJO 1. RELACIÓN DE NORMAS

En los artículos del anexo de esta Orden Circular se establecen una serie de comprobaciones de la conformidad de los productos y los procesos incluidos en su ámbito que, en muchos casos, están referidos a normativa NLT, UNE, UNE-EN y UNE-EN ISO. A los efectos de esta Orden Circular, debe entenderse que las normas mencionadas se refieren siempre a las versiones que se relacionan en este anejo, salvo en el caso de normas UNE-EN que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el marco de aplicación de la Directiva 89/106/CEE sobre productos de construcción, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la última Comunicación de la Comisión que incluya dicha referencia.

Las normas aquí recogidas podrán ser sustituidas por otras de las utilizadas en cualquiera de los otros Estados miembros de la Unión Europea, o que sean parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y en aquellos Estados que tengan un acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, siempre que se demuestre que poseen especificaciones técnicas idénticas.

La relación de las versiones correspondientes a las normas referidas, aplicables en cada caso, con referencia a su fecha de aprobación, es la que se indica a continuación.

ART. 20.- RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS

NLT-314	Toma de muestras de testigos de pavimentos.
NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.
UNE-EN 932-1: 1997	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.
UNE-EN 933-1: 2012	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-2: 1996	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 933-2/1M: 1999	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 1426: 2015	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja.
UNE-EN 1427: 2015	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola.
UNE-EN 12697-1: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.
UNE-EN 12697-3: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 3: Recuperación de betún. Evaporador rotatorio.
UNE-EN 12697-6: 2012	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 6: Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas por el método hidrostático.
UNE-EN 12697-12: 2009	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa.
UNE-EN 12697-27: 2001	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 27: Toma de muestras.
UNE-EN 12697-30: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 30: Preparación de la muestra mediante compactador de impactos.
UNE-EN 12697-31: 2008	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 31: Preparación de la muestra mediante compactador giratorio.
UNE-EN 12697-39: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 39: Contenido de ligante por ignición.
UNE-EN 12697-42: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 42: Cantidad de materia extraña en asfalto reciclado.
UNE-EN 13043: 2003	Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras

	áreas pavimentadas.
UNE-EN 13043/AC: 2004	Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.
UNE-EN 13286-2: 2011	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 2: Métodos de ensayo para la determinación en laboratorio de la densidad de referencia y el contenido en agua. Compactación Proctor.
UNE-EN 13286-2: 2011/AC: 2012	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 2: Métodos de ensayo para la determinación en laboratorio de la densidad de referencia y el contenido en agua. Compactación Proctor.
UNE-EN 13614: 2011	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la adhesividad de las emulsiones bituminosas por el método de inmersión en agua.
UNE-EN ISO 17892-1: 2015	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

ART. 21.- RECICLADO *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME

NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional, IRI, en pavimentos de carreteras.
UNE 103103: 1994	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104: 1993	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103201: 1996	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.
UNE 103201: 2003 ERRATUM	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.
UNE 103204: 1993	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103204: 1993 ERRATUM	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.

UNE 103900: 2013	Determinación *in situ* de la densidad y de la humedad de suelos y materiales granulares por métodos nucleares: pequeñas profundidades.
UNE-EN 933-1: 2012	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: 1996	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 933-2/1M: 1999	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 12504-1: 2009	Ensayo de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión.
UNE-EN 13286-2: 2011	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 2: Métodos de ensayo para la determinación en laboratorio de la densidad de referencia y el contenido en agua. Compactación Proctor.
UNE-EN 13286-2: 2011/AC: 2012	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 2: Métodos de ensayo para la determinación en laboratorio de la densidad de referencia y el contenido en agua. Compactación Proctor.
UNE-EN 13286-41: 2003	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 41: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de las mezclas de áridos con conglomerantes hidráulicos.
UNE-EN 13286-45: 2004	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 45: Método de ensayo para la determinación del periodo de trabajabilidad.
UNE-EN 13286-47: 2012	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 47: Método de ensayo para la determinación del CBR (California Bearing Ratio), del índice de carga inmediato (IBI) y del hinchamiento lineal.

UNE-EN 13286-51: 2006	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 51: Métodos de elaboración de probetas de mezclas con conglomerante hidráulico utilizando martillo vibratorio de compactación.
UNE-EN ISO 17892-1: 2015	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

ART.22.-RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS

UNE 7050-2: 1997	Tamices y tamizado de ensayo. Parte 2: Telas metálicas, chapas perforadas y láminas electroformadas. Medidas nominales de las aberturas.
UNE 103900: 2013	Determinación *in situ* de la densidad y de la humedad de suelos y materiales granulares por métodos nucleares: pequeñas profundidades.
UNE-EN 933-1: 2012	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.
UNE-EN 933-2: 1996	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 933-2/1M: 1999	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 1097-2: 2010	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 1097-6: 2014	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.
UNE-EN 1097-8: 2010	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

UNE-EN 1097-8: 2010/1M: 2012	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.
UNE EN 1426: 2015	Betunes y ligantes bituminosos – Determinación de la penetración con aguja.
UNE EN 1427: 2015	Betunes y ligantes bituminosos – Determinación del punto de reblandecimiento – Método del anillo y bola.
UNE EN 12591: 2009	Betunes y ligantes bituminosos – Especificaciones de betunes para pavimentación.
UNE EN 12593: 2015	Betunes y ligantes bituminosos – Determinación del punto de fragilidad Fraass.
UNE-EN 12697-1: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.
UNE-EN 12697-2: 2015	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas.
UNE-EN 12697-3: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 3: Recuperación de betún. Evaporador rotatorio.
UNE-EN 12697-12: 2009	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa.
UNE-EN 12697-27: 2001	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 27: Toma de muestras.
UNE-EN 12697-42: 2013	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 42: Cantidad de materia extraña en asfalto reciclado.
UNE-EN 13302: 2010	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad dinámica de los ligantes bituminosos usando un viscosímetro de rotación de aguja.
UNE-EN 13589: 2008	Betunes y ligantes bituminosos – Determinación de las propiedades de tracción de betunes modificados por el método de fuerza-ductilidad.
UNE-EN 13703: 2004	Betunes y ligantes bituminosos – Determinación de la energía de deformación.
UNE-EN 13924: 2006	Betunes y ligantes bituminosos – Parte 1:

	Especificaciones de los betunes duros para pavimentación.
UNE-EN 13924: 2006/1M: 2010	Betunes y ligantes bituminosos – Parte 1: Especificaciones de los betunes duros para pavimentación.
UNE-EN 14770: 2012	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del módulo complejo de corte y del ángulo de fase usando un reómetro de corte dinámico (Dynamic Shear Rheometer (DSR).
UNE-EN ISO 17892-1: 2015	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.