

RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS

20.1 DEFINICIÓN

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

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

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

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

20.2 MATERIALES

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

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

20.2.1 Emulsión bituminosa

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

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

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

20.2.2 Material que se vaya a reciclar

20.2.2.1 Características generales

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

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

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

20.2.2.2 Granulometría

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

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

20.2.3 Agua

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

20.2.4 Aditivos

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

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

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

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

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

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

20.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

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

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

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

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

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

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

20.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

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

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

Salvo justificación en contrario, para las carreteras con categoría de tráfico pesado T1 o T2 o cuando la superficie a tratar sea superior a los setenta mil metros cuadrados (70 000 m²) será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de fresado, de dosificación y de distribución de la emulsión, de mezcla y de extensión.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

20.4.1 Equipo de compactación

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

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

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

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

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

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

20.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

20.5.1 Estudios previos de los materiales

20.5.1.1 Estudios previos de la emulsión

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLA 20.3. –TOLERANCIAS MÁXIMAS ADMISIBLES EN TRAMOS HOMOGÉNEOS

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

20.5.1.3 Valores de referencia de las características

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

20.5.4 Distribución de emulsión, agua y aditivos

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

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

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

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

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

20.5.5 Ejecución de la mezcla y extensión

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

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

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

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

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

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

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

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

20.5.6 Compactación

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

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

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

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

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

20.5.7 Ejecución de juntas

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

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

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

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

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

20.5.8 Curado y protección superficial

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

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

El riego de protección se ejecutará utilizando una emulsión de rotura rápida y con árido de cobertura. La emulsión estará diluida en agua de forma que la concentración de ligante residual sea del treinta por ciento (30%). La dotación de ligante residual estará comprendida entre doscientos (200) y trescientos gramos por metro cuadrado (300 g/m²). El árido de cobertura que se vaya a emplear cumplirá lo especificado en el artículo 532 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Tras su extensión, se procederá al apisonado con un compactador de neumáticos y, previamente a la apertura al tráfico, se barrerá para eliminar el árido sobrante.

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

20.6 TRAMO DE PRUEBA

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

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

Además, al comienzo de cada tramo homogéneo:

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

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

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

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

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

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

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

20.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

20.7.1 Densidad

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

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

20.7.2 Terminación, rasante, anchura y espesor

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

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

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

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

20.7.3 Regularidad superficial

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

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

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

20.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

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

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

20.9 CONTROL DE CALIDAD

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

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

20.9.1 Control de procedencia de la emulsión bituminosa

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

20.9.2 Control de ejecución

20.9.2.1 Dosificación de la emulsión

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

20.9.2.2 Fresado y mezcla reciclada

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

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

Al menos dos veces al día (2/d), una por la mañana y otra por la tarde, y al menos una (1) vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se tomarán muestras de la mezcla bituminosa reciclada y sobre ellas se determinará la dosificación de ligante, según la NLT-I64.

Al menos una vez al día (1/d), y al menos vez por lote, definido en el apartado 20.9.3, se tomarán muestras de la mezcla reciclada, en recipientes que conserven la humedad, para realizar con ellas series de probetas, que se ensayarán para determinar los valores de los resultados del ensayo de inmersión-compresión según la NLT-I 62. Todas las probetas se curarán desmoldadas durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50 °C).

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

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

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

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

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

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

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

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

20.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

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

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m²) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

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

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

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

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

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

20.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

20.10.1 Densidad

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

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

20.10.2 Espesor

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

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

20.10.3 Rasante

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

20.10.4 Regularidad superficial

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

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

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

20.11 MEDICIÓN Y ABONO

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

La ejecución del reciclado se abonará por metros cuadrados (m²) de superficie reciclada con el espesor indicado en los Planos de la sección tipo, el cual se entiende como mínimo en cualquier punto. Dicha superficie se obtendrá multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada.

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

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

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

El tratamiento de protección de la superficie de la mezcla bituminosa reciclada se abonará por metros cuadrados (m²) realmente ejecutados, medidos sobre el terreno.

20.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

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

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

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

NORMAS REFERENCIADAS

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

Artículo derogado por la O.C. 40/2017