

**21****REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES**

---

**21.1 DEFINICIÓN**

Se define como reutilización in situ con cemento de capas de firme la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material 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 centímetros (20 a 30 cm). Excepcionalmente se podrá reutilizar con cemento hasta una profundidad de treinta y cinco centímetros (35 cm) siempre que se pueda garantizar en obra una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.

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) y lo indicado, en su caso, en el apartado 21.2.4 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 de cada tramo homogéneo.
- Fresado de la parte del firme a reutilizar.
- Incorporación, en su caso, del árido de aportación.
- Incorporación del cemento, el agua y, eventualmente, los aditivos.
- Mezclado y extensión.
- Precompactación
- Realización de juntas en fresco (prefisuración), en su caso.
- Refino y compactación final.
- Riego de curado y, en su caso, un riego con gravilla monocapa como protección superficial.

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

Los cementos recomendados para estas unidades de obra serán los que figuran en la vigente Instrucción de recepción de cementos: cementos comunes de los tipos CEM II/B, CEM III, CEM IV y CEM V, de clase resistente 32,5N, y el cemento para usos especiales ESP VI-1. El Director de la obra podrá autorizar en épocas frías o en otras circunstancias que así lo precisaran, el empleo de un cemento de clase resistente superior.

Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO<sub>3</sub>) en el material granular que se reutilice (norma UNE 103201) fuera superior al cinco por mil (> 5 ‰) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos (SR/SRC) y aislar adecuadamente estas capas del firme de las obras de hormigón.

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

### 21.2.3. Material existente a reutilizar

#### 21.2.3.1 Características generales

El material a reutilizar 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 la obra, 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 la obra, quien podrá autorizar la reutilización de material fresado procedente de localizaciones distintas a la que se esté reutilizando.

El material granular a reutilizar no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento. En los materiales para los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento se deberá realizar un estudio petrográfico del cual se obtendrá información sobre el tipo de reactividad que en su caso puedan presentar.

En caso de que el estudio petrográfico indique la posibilidad de reactividad de los materiales granulares con el cemento se deberá realizar un estudio específico que garantice la seguridad de la reutilización.

Si del estudio petrográfico del material granular se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-sílice o álcali-silicato se deberá realizar el ensayo descrito en la norma UNE 146508 EX (método acelerado en probetas de mortero).

Si del estudio petrográfico del material granular se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-carbonato se deberá realizar el ensayo descrito en la norma UNE 146507-2EX. En el caso de que en el material a reutilizar estuviese formado por materiales de distinta procedencia, este ensayo se realizará sobre la fracción calizo-dolomítica.

#### 21.2.3.2 Granulometría

El material a reutilizar no contendrá elementos de tamaño superior a cuarenta y cinco milímetros ( $\leq 45$  mm), si bien en reutilizaciones para categoría de tráfico pesado T32 o inferior se admitirán partículas de hasta ochenta milímetros (80 mm) de tamaño máximo en el caso de que el firme a reutilizar contenga alguna capa de macadam. En caso contrario, el Director de la obra 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 ( $\geq 30\%$ ) en masa.

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

### 21.2.3.3 Composición química

El material a reutilizar estará exento de materia orgánica y de productos que puedan perjudicar el fraguado del cemento.

El contenido ponderal en azufre total (expresado en S) y de sulfatos solubles en ácido del árido (SO<sub>3</sub>) según la norma UNE-EN 1744-1 no será superior al uno por ciento ( $S < 1\%$ ), ni a ocho décimas porcentuales (SO<sub>3</sub> < 0,8%), respectivamente.

En caso de dudas sobre el comportamiento químico de material a reutilizar, el Director de la obra podrá ordenar la realización de un ensayo de expansión acelerada, según la norma UNE-EN 13286-49, combinado con el de resistencia a tracción indirecta (UNE-EN 13286-42). Se podrá considerar que el tratamiento es eficaz cuando se cumplan las dos condiciones siguientes:

- El valor de la expansión volumétrica del material tratado, después de siete días (7 d) de inmersión en agua es inferior al cinco por ciento ( $GV < 5\%$ ).
- La resistencia a tracción indirecta determinada sobre una muestra de tres probetas idénticas a las indicadas para el ensayo de expansión acelerada y sometidas a las mismas condiciones de conservación e inmersión en agua a cuarenta grados Celsius (40 °C) durante siete días (7d), con la diferencia de que esta inmersión se hará con las probetas dentro de sus moldes, sea mayor o igual a dos décimas de megapascal ( $\geq 0,2$  MPa).

### 21.2.3.4 Plasticidad

El material a reutilizar será No Plástico (norma UNE-EN ISO 17892-12). Únicamente en carreteras de tráfico pesado T4 se podrá admitir que el material a reutilizar presente plasticidad siempre que el límite líquido (norma UNE-EN ISO 17892-12 ) sea inferior a treinta y cinco ( $LL < 35$ ) y el índice de plasticidad (norma UNE-EN ISO 17892-12 ), sea igual o inferior a quince ( $IP \leq 15$ ). Si el material no cumple estas condiciones, el Director de la obra podrá autorizar un tratamiento previo con cal para corregir la plasticidad del material. La dotación de cal deberá determinarse mediante ensayos de laboratorio y será aprobada por el Director de la obra.

### 21.2.4. Árido de aportación

Si fuese necesario utilizar árido de aportación como corrector granulométrico, su granulometría y proporción se ajustarán de forma que se obtenga una granulometría del material reutilizado que cumpla lo indicado en el apartado 21.2.3.2. En general, el árido de aportación será una arena de machaqueo no plástica ( $IP=0$ ) con tamaño máximo significativo (retenido máximo del 10%) de entre tres y cinco milímetros (3-5 mm), de granulometría continua y un equivalente de arena que cumpla lo indicado en la tabla 510.3 del art. 510 (Zahorras) del PG-3

Si fuese necesario utilizar un árido de aportación para corregir peraltes, completar el espesor de capa reutilizada o efectuar un ensanche, dicho árido cumplirá las prescripciones exigidas para la zahorra artificial en el artículo 510 del PG-3 y su empleo deberá ser aprobado previamente por el Director de la obra. En el caso de los arcenes, el material de aportación también podrá ser un suelo seleccionado que cumplirá las prescripciones exigidas en el artículo 330 del PG-3 con las limitaciones de tamaño máximo señaladas en el apartado 21.2.3.2.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

También podrán utilizarse materiales granulares reutilizados, 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 estudiadas y 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 aquellos clasificados como peligrosos, por no cumplir la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

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

### 21.2.5 Agua

El agua deberá cumplir las prescripciones establecidas para el agua de amasado y curado del hormigón.

### 21.2.6 Aditivos

En el caso de emplearse, se cumplirán las prescripciones de los artículos 513 del Pliego General PG-3.

## 21.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares definirá el tipo y composición de la mezcla reutilizada, 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 a los siete días (7 d) del material resultante sea superior a los dos con cinco megapascuales ( $> 2,5$  MPa). En cualquier caso, dicho contenido no será inferior al tres con cinco por ciento ( $\geq 3,5$  %) de la masa total en seco del material a reutilizar.

En caso de emplearse cementos para usos especiales (ESP VI-1) o cementos con elevadas proporciones de adiciones activas la resistencia mínima a compresión simple a 7 días podrá reducirse en un quince por cien (15%).

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 y se ensayarán a compresión simple según la UNE-EN 13286-41.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

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 reutilizada previamente.

**TABLA 21.1 – PERIODO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD ( $w_{pc}$ )  
(UNE-EN 13286-45) DE LA REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO**

Situación de obra	Anchura	$w_{pc}$ (horas)
Sin tráfico	Carril completo	2
	Por franjas	3
Con tráfico	Cualquiera	4

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

#### 21.4.1 Consideraciones generales

No se podrá utilizar en la ejecución de la reutilización in situ con cemento equipo alguno que no haya sido previamente empleado en el tramo de prueba y aprobado por el Director de la obra.

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

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

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

### 21.4.2.1 Fresado

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

### 21.4.2.2 Dosificación

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

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

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

Siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental y de seguridad y salud, se emplearán equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que podrán consistir en tanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable.

El equipo de reutilización deberá estar provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y anchura del material fresado a reutilizar, y según el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, en este artículo.

El cemento se podrá dosificar en polvo en obras pequeñas, cuya superficie a tratar sea menor de veinte mil metros cuadrados (< 20.000 m<sup>2</sup>) y, excepcionalmente, cuando la superficie del pavimento se encuentre mojada y no sea posible demorar las operaciones, siempre que lo autorice expresamente el Director de la obra.

En este caso, y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental y de seguridad y salud, se emplearán equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que podrán consistir en tanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del cemento sobre el firme a reutilizar se realizase desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga estará protegido con faldones

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

cuya parte inferior no deberá distar más de diez centímetros (10 cm) de la superficie del firme. En este caso, el equipo de dosificación deberá desplazarse coordinadamente con el de reutilización, sin dejar excesivo espacio entre ambos, adoptándose las medidas de prevención necesarias.

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

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

### **21.4.2.3 Mezclado y extensión**

El mezclado, efectuado aprovechando la energía del rotor de fresado en el caso de los equipos integrados, deberá garantizar una mezcla homogénea y uniforme en toda la anchura y profundidad de la reutilización. 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.

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 en el caso de no disponer de plancha de colocación, y, en algunos casos, incorporará también un elemento alisador que mejore el acabado y proporcione una precompactación homogénea, que permita obtener el perfil deseado.

Para los tráfico T00 y T0 el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá especificar el empleo de un equipo para la extensión que disponga de un distribuidor que evite la segregación del material mezclado y realice una extensión (y, preferentemente, también una precompactación) homogéneas y con el perfil deseado, mediante una maestra de extensión con dispositivos de nivelación automáticos.

### **21.4.2.4 Compactación**

Se cumplirán las prescripciones del artículo 513 del PG-3. Para espesores de reutilización superiores a treinta centímetros (30 cm) se utilizarán compactadores de la máxima carga posible, si lo considera necesario el Director de la obra.

### **21.4.2.5 Ejecución de juntas transversales en fresco**

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

## 21.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

### 21.5.1 Estudio previo de los materiales

#### 21.5.1.1 Estudio del material existente a reutilizar y comprobación de la tramificación

Previamente a la formulación de la mezcla se realizará una inspección de la superficie a reutilizar 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) testigos y una (1) calicata por kilómetro (km) o tramo diferenciado si su longitud fuera menor, asegurando que se obtiene material suficiente para los ensayos.

En cada tramo homogéneo se tomarán muestras de material en el espesor previsto inicialmente, realizándose en el laboratorio una rotura del material de similares características al que se produzca con el fresado 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 (norma UNE-EN ISO 17892-12).
- 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 (UNE 103501).
- La presencia de elementos inhibidores del fraguado del cemento, tales como sulfuros (piritas) o cloruros (sal gema).

Los resultados del reconocimiento y de los ensayos deberán servir para verificar que el material existente es apto para su reutilización *in situ* con cemento y que los tramos en que se ha dividido la obra sean suficientemente homogéneos en relación con los objetivos pretendidos por el procedimiento de reutilización.

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

**TABLA 21.2 – TOLERANCIAS MÁXIMAS ADMISIBLES EN TRAMOS HOMOGÉNEOS**

CARACTERÍSTICA		UNIDAD	TOLERANCIA MÁXIMA
Proporción de material bituminoso sobre el total de material a reutilizar		%	± 10
Material granular a reutilizar	Tamaño máximo		0
	Pasa 4 mm	%	± 4
	Índice de plasticidad		± 3
Densidad máxima del Proctor modificado		%	± 3

### 21.5.1.2 Valores de referencia de las características

Una vez comprobado que el material cumple todas las condiciones establecidas en este artículo, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en el proyecto, el Director de la obra 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 de la reutilización in situ con cemento no se podrá iniciar hasta que el Director de la obra haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en el tramo de prueba, la cual señalará, como mínimo:

- El espesor de la reutilización 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.
- El tipo y clase resistente del cemento y su proporción en masa, respecto de la masa total del material a reutilizar en seco.
- La proporción en masa, respecto de la masa total del material a reutilizar en seco, del agua de amasado.
- Los tipos de aditivos y sus proporciones en masa, respecto de la masa total del material a reutilizar en seco.
- La humedad de compactación.
- El periodo de trabajabilidad de la mezcla, a la máxima temperatura media prevista en obra (entre las doce, 12:00 h, y las quince horas, 15:00 h, horario solar).
- El valor de la densidad de referencia.

En el caso de que la capa reutilizada in situ vaya a abrirse de forma inmediata al tráfico o se trabaje bajo tráfico, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto el Director de la obra, deberá establecer el valor admisible del índice de carga inmediato (IBI) (norma UNE-EN 13286-47) que, en ningún caso será inferior a cincuenta ( $\geq 50$ ).

Para el estudio de la mezcla de cada tramo homogéneo del material a reutilizar:

- Se obtendrán muestras representativas, en cantidad suficiente para la realización de los pertinentes ensayos, mediante un equipo de fresado igual o similar al que vaya a emplearse en obra.
- Se determinarán la humedad y la densidad máxima mediante el ensayo de Proctor modificado (UNE 103501).
- Se determinarán los contenidos de cemento necesarios para alcanzar la resistencia a compresión a siete días (7 d) especificada en 21.3 sobre probetas compactadas a diferentes densidades al 93, 95, 97 y 100% de la densidad máxima del Proctor Modificado, de forma que, con vistas a la realización del tramo de prueba, se disponga

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

de una curva que relacione el contenido mínimo de cemento requerido para alcanzar la resistencia a compresión a 7 días frente a la densidad obtenida realmente en el tramo de prueba.

La fórmula de trabajo será aprobada por el Director de la obra de acuerdo con lo indicado en este apartado y a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba, según se indica en el apartado 21.6. Se comprobará la fórmula de trabajo cada vez que varíen las características del material a reutilizar o de alguno de los componentes de la mezcla. En particular, dada la posible variación de las características de los materiales existentes en el firme, es posible que sea necesario realizar ajustes del contenido de humedad durante la ejecución de las obras, por lo que los mecanismos de control y de toma de decisiones también deberán ponerse a punto durante la realización del tramo de ensayo.

En el caso de que las condiciones ambientales cambiasen de forma importante, deberá determinarse de nuevo el plazo de trabajabilidad de la mezcla.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 21.3.

**TABLA 21.3 – TOLERANCIAS ADMISIBLES SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO**

CARACTERÍSTICA		UNIDAD	TOLERANCIA
Cernido tamices UNE-EN 933-2	Tamaño máximo	% sobre la masa total del material a reutilizar en seco	0
	4 mm		± 6
	2 mm		± 4
Dotación de cemento			± 0,3
Humedad de compactación (agua total)		% respecto de la de referencia	±1,0%

### 21.5.3 Preparación de la superficie existente

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

- Limpieza y retirada de materias extrañas acumuladas en toda la anchura de la carretera, incluso en los carriles que no vayan a ser reutilizados.
- Tratamiento o eliminación de zonas que no puedan cumplir las especificaciones mínimas para poder ser reutilizadas.
- Nivelación de la plataforma añadiendo, si fuera necesario, el árido de aportación para conseguir los perfiles longitudinal y transversal previstos.

### 21.5.4 Incorporación del árido de aportación

Cuando sea necesario árido de aportación al material a reutilizar, se incorporará a la mezcla por uno de los procedimientos siguientes, que será aprobado por el Director de la obra en el tramo de prueba correspondiente:

- Mediante su extensión en una capa de espesor uniforme sobre la superficie existente antes del fresado.
- Mediante la extensión parcial de ese árido antes del fresado.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

- Mediante su incorporación al proceso de mezcla de los materiales después de fresar. Este procedimiento requiere un equipo de recogida de material, dosificación y mezcla independiente del equipo de reutilización.

### 21.5.5 Fresado del espesor del firme a reutilizar

El fresado se realizará con el equipo y el método aprobados por el Director de la obra 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, a fin de asegurar una profundidad uniforme de fresado y la homogeneidad del material reutilizado. Se evitarán, en lo posible, las paradas y cuando sean inevitables, si están unidos en un equipo, 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 la obra considere necesario o que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto indique, que la granulometría del material fresado corresponde a la obtenida en el tramo de prueba y, por tanto, a la utilizada para la elaboración de la fórmula de trabajo.

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

Donde resultase imposible el empleo de equipos adecuados, 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.

### 21.5.6 Distribución del 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. La distribución del cemento se realizará en forma de lechada y directamente en el mezclador del equipo de reutilización, salvo las excepciones mencionadas en 21.4.2.2.

Antes de iniciar el proceso en obra se purgarán y pondrán a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo de reutilización se realizará una limpieza de los difusores, y como mínimo dos veces al día (2/d). Las operaciones para abastecer de cemento al equipo dosificador se realizarán sin afectar al tráfico que circule por los carriles que se mantengan en servicio. El Director de la obra podrá autorizar la distribución del cemento en seco en obras pequeñas o cuando sea conveniente por el exceso de humedad del firme a reutilizar.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

En el caso de que la distribución del cemento no se realice en forma de lechada, deberán coordinarse adecuadamente los avances del equipo de dosificación de cemento y del de reutilización, no permitiéndose que haya entre ambos una longitud extendida de cemento superior a cien metros (100 m). La extensión del cemento se detendrá cuando la velocidad del viento fuera excesiva, a juicio del Director de la obra, o cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas o especialmente sensibles.

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

No se distribuirá el cemento si hay encharcamientos superficiales.

### 21.5.7 Ejecución de la mezcla y extensión

Si el Director de la obra hubiera aprobado la extensión del cemento en seco, después de la distribución del cemento deberá procederse lo más rápido posible, y siempre antes de haber transcurrido media hora, a su mezcla con la capa que se vaya a reutilizar.

El equipo de reutilización deberá contar con los dispositivos necesarios para asegurar una mezcla homogénea en toda la anchura y espesor o profundidad del tratamiento, lo que se reconocerá visualmente. Si se detectaran segregaciones, partículas mal mezcladas, diferencias de contenido de cemento o de agua o cualquier otra heterogeneidad en las zonas del firme reutilizado, deberá detenerse el proceso y realizar las oportunas correcciones hasta solucionar favorablemente las deficiencias, a juicio del Director de la obra.

Se adoptarán las precauciones necesarias para evitar la ejecución de la reutilización en zonas en las que la superficie del firme presente encharcamientos, deteniendo el proceso a juicio del Director de la obra cuando se observe tal circunstancia.

Salvo cuando el Proyecto disponga otra solución, la reutilización con cemento de capas del firme se realizará por carriles, en todo su ancho. Para ello se utilizará una única máquina de la anchura necesaria o, en su defecto, dos equipos en paralelo de forma que no se produzcan juntas longitudinales en el interior del carril. Cuando se trabaje con dos equipos de reutilización en paralelo, el solape entre las zonas reutilizadas estará comprendido entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes, debiendo adoptarse las precauciones necesarias para evitar que se produzcan sobredosificaciones de cemento o de agua en los solapes. Además, el desfase entre las dos máquinas será el menor posible de modo que, compactando a toda su anchura, no se produzcan juntas longitudinales en el interior del carril.

Cuando la anchura total a reutilizar fuera de dos o más carriles, la reutilización de los carriles adjuntos se solapará en una anchura comprendida entre quince (15) y treinta centímetros (30 cm) para no dejar materiales sin mezclar en sus bordes disponiendo la junta lo más próxima posible a los límites de los carriles y, en ningún caso, en la zona de rodada del tráfico.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

Únicamente en carreteras de categoría de tráfico pesado T3 y T4 se permitirá realizar la reutilización por franjas paralelas, adoptándose las mismas precauciones que para la reutilización con dos máquinas en paralelo.

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. Su longitud se fijará de manera que todas las paradas debidas a la carga del cemento, se realicen con toda la sección transversal reutilizada para no dar lugar a la formación de una junta longitudinal.

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 de la reutilización.

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

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

### **21.5.8 Precompactación**

Tras el fresado, mezcla y extensión, se debe realizar una primera compactación que afecte al fondo de la capa y que alcance una densidad de al menos el 90 % de la densidad de referencia establecida en el tramo de prueba.

### **21.5.9 Prefisuración. Ejecución de juntas en fresco**

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

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de la obra, 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 transversales estará comprendida entre tres metros y tres metros y medio (3 m y 3,5 m).

En caso de que se reutilice a todo el ancho de la sección y no por carriles, las juntas transversales de carriles adyacentes deberán estar alineadas y, además, se realizarán juntas en fresco

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

longitudinales con una distancia máxima entre ellas de cinco metros (5 m) que se situarán, preferentemente, en los bordes del carril y sin que puedan quedar situadas bajo las bandas de rodadura de los vehículos.

### 21.5.10 Refino

Tras la prefisuración, se procede, si fuera necesario, a la nivelación de la capa eliminando el material sobrante mediante motoniveladoras, u otros equipos aprobados por el Director de la obra, dotadas de equipos auxiliares de nivelación de precisión suficiente.

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

Se eliminará el exceso de material reutilizado que tras el refino pueda presentar una desecación excesiva, pudiendo dar lugar a una segregación superficial.

### 21.5.11 Compactación

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

En general, en cada tramo de trabajo, se realizará una precompactación inmediatamente después de la extensión, según lo indicado en 21.5.5. A continuación, se procederá, en su caso, a la ejecución de las juntas en fresco y el refino, tras lo cual se completará y finalizará la compactación hasta alcanzar la densidad especificada en el epígrafe 21.7.1. y, todo ello, dentro del plazo de trabajabilidad.

Ambas fases de la compactación se realizarán longitudinalmente, de manera continua y sistemática, iniciándose por el borde más bajo de la franja que se esté tratando continuándose 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 reutilización 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.

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

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

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

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 la obra 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.

### **21.5.12 Ejecución de juntas por serrado**

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 reutilizada, y únicamente sea necesaria una junta final al acabar 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 y siempre dentro del plazo de trabajabilidad.

Las juntas longitudinales entre la zona reutilizada y el firme existente deberán situarse en los bordes del carril o, eventualmente, en su centro, pero nunca en las franjas de rodadura (rodadas) de paso del tráfico.

Para el caso de que se haya autorizado el trabajo por franjas, después de haber extendido y compactado una franja, se realizará la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla y en condiciones de ser compactado. En caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

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

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 sin avanzar para que pueda regularse con precisión la incorporación del cemento y el agua en la zona no tratada.

### **21.5.13 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 la obra de acuerdo con lo indicado en el artículo 532 del PG 3. Su extensión se efectuará de manera uniforme en toda la superficie

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

expuesta (incluidos los bordes), 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 reutilizada y se alcancen las características resistentes deseadas. El Director de la obra 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.

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

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 Proyecto para lo que se extraerán testigos. En caso contrario se procederá a su ejecución mediante serrado, a una distancia no superior a la indicada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto, por el Director de la obra de forma que no queden a menos de dos metros y medio (2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar.

### 21.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse la reutilización in situ con cemento será preceptiva la realización de un tramo de prueba en cada tramo homogéneo, según lo establecido en este artículo, con el espesor prescritos y empleando los mismos medios que vayan a utilizarse para la ejecución de las obras. Se comprobará el correcto funcionamiento de los equipos previstos (especialmente, la forma de actuación de los de compactación y prefisuración).

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de la obra, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será inferior a cien metros (100 m). Los tramos de prueba se realizarán con, al menos, diez días (10 d) de anticipación al inicio de cada tramo homogéneo siendo preferible, siempre que fuera posible, su ejecución con un mes de anticipación al inicio de las obras. El Director de la obra determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

Al comienzo de cada tramo de prueba homogéneo:

- Se comprobará la profundidad de fresado con los equipos de obra.
- Se ajustará la velocidad de avance del equipo para obtener la profundidad de fresado y una mezcla uniforme y homogénea.
- Se determinará la granulometría del material fresado que se vaya a reutilizar.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

- Se determinará la humedad y densidad *in situ* introduciendo el vástago de la sonda nuclear, según UNE 103900, hasta el fondo de las capas a reutilizar. El mínimo número de densidades *in situ* realizadas con la sonda nuclear será de quince (15).

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

- Correlación, en su caso, de los métodos de control de la dosificación de cemento 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 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 evaluará el esponjamiento de la capa reutilizada, por diferencia de espesor antes del fresado y después de la compactación, al objeto de garantizar el espesor mínimo de reutilización necesario.
- 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 ajustarán los contenidos de cemento a la densidad máxima alcanzada empleando la relación obtenida en laboratorio.
- Se comprobará que las resistencias a compresión simple a siete días (7d) de las probetas son iguales o mayores a las obtenidas en los ensayos previos realizados en el Laboratorio con probetas realizadas con la densidad obtenida en el tramo de prueba.

A la vista de los resultados obtenidos el Director de la obra definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula de trabajo, pudiéndose iniciar la reutilización o bien si debe proponer al Contratista 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, 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 (una vez aceptados) y el plan de compactación empleado. La densidad de referencia no podrá ser inferior, en ningún caso, al noventa y cinco por ciento ( $\geq 95\%$ ) de la densidad máxima del Proctor Modificado obtenida en laboratorio. El contenido de cemento de la fórmula de trabajo no podrá ser inferior al que proporcione la resistencia a compresión exigida en 21.3 cuando la densidad alcanzada sea la mínima prevista en 21.7.1

Siempre que sea posible, antes de transcurridos veintiséis días (26 d) de su puesta en obra y previamente a la ejecución de la siguiente capa se extraerán del tramo aceptado seis (6) testigos cilíndricos enteros, según la UNE 83302. Dichos testigos estarán situados en emplazamientos aleatorios que disten entre sí un mínimo de siete metros (7 m) en sentido longitudinal, y separados más de cincuenta centímetros (50 cm) de cualquier grieta de retracción, junta

transversal o borde visibles. Estos testigos se ensayarán a compresión simple, según la norma UNE-EN 13286-41, después de haber sido conservados durante cuarenta y ocho horas (48 h) al aire en ambiente de laboratorio, en las condiciones establecidas en la UNE 83302. El valor medio de los resultados de estos ensayos servirá de base para su comparación con los obtenidos en los ensayos de información a los que se refiere el apartado 21.10.

## 21.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

### 21.7.1 Densidad

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad mínima 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 ( $\geq 97\%$ ).

### 21.7.2 Resistencia mecánica

La resistencia a compresión simple a siete días (7 d) (norma UNE-EN 13286-41) deberá ser superior a la resistencia especificada 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 (20 mm).

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

El espesor de la capa reutilizada 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 21.4.

**TABLA 21.4- ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL**

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

## 21.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del Director de la obra, no se permitirá la ejecución de la reutilización in situ con cemento, cuando:

- La temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius ( $> 35^{\circ}\text{C}$ ).
- La temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ).
- El Director de la obra podrá variar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Se produzcan precipitaciones atmosféricas constantes o precipitaciones ocasionales con una intensidad significativa, a juicio del Director de la obra.

En los casos en los que se autorice la extensión del cemento en seco, su distribución deberá interrumpirse cuando, a juicio del Director de la obra, la fuerza del viento sea excesiva. Se tendrán siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental y de seguridad y salud, estuviese vigente y respetando las limitaciones indicadas en el apartado 21.5.6.

## 21.9 CONTROL DE CALIDAD

### 21.9.1 Consideraciones generales

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto 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 Árido de aportación

El árido de aportación cumplirá lo indicado en el apartado 21.2.4.

Si el árido disponen de marcado CE, según el anejo ZA de la norma UNE-EN 13242, se comprobará que los valores declarados en el documento de marcado permiten deducir el cumplimiento de las especificaciones establecidas en este Pliego. En cualquier otro caso, de cada procedencia del árido y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos, según corresponda:

- Granulometría, según la UNE-EN 933-1.

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

- Equivalente de arena, según UNE-EN 933-8 y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.
- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE-EN ISO 17892-12.
- Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.
- Contenido de compuestos de azufre, según la UNE-EN 1744-1.
- Índice de lajas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.
- Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.

### 21.9.3 Control de ejecución

#### 21.9.3.1 Dosificación del cemento

En cada camión de suministro se controlará el consumo efectivo de cemento que se contrastará con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lecha incorporado, de forma que se asegure una correcta dotación media.

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, y se contrastará con el consumo efectivo.

Cuando se autorice que el cemento se extienda en seco sobre el firme a reutilizar, su dotación se comprobará mediante una bandeja de superficie y masa conocidas, que se colocará antes de la extensión del material y se pesará con posterioridad. En cualquier caso, se controlará la dotación de cemento mediante cualquier otra manera determinada por el Director de la Obra. Dicho control se realizará al menos una vez por la mañana y otra por la tarde, debiendo incrementarse su frecuencia en días de viento.

#### 21.9.3.2. Fresado y mezcla reutilizada

Por cada lote definido en el epígrafe 21.9.4, y al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se determinará el contenido de humedad de la mezcla (norma UNE-EN ISO 17892-1) y se tomará muestra del material a la salida de la máquina de reutilización para la fabricación de dos (2) series de tres (3) probetas cada una de ellas, de acuerdo con la norma UNE-EN 13286-51, con la densidad mínima exigida en obra.

Dichas probetas se conservarán en las condiciones previstas en la norma UNE-EN 12504-1, y se ensayarán a compresión simple, de acuerdo con la norma UNE-EN 13286-41, para la determinación de la resistencia a compresión a siete días (7 d).

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 la obra, si así lo aconsejase el desarrollo de las obras.

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

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

Se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de la obra, y al menos dos (2) veces al día:

- Que la profundidad y anchura de reutilización, y la velocidad del rotor y de avance del equipo son las adecuadas y aprobadas de acuerdo con el apartado 21.6.
- El aspecto de la mezcla reutilizada, especialmente la dispersión homogénea de la lechada de cemento, y la ausencia de grumos y segregaciones.
- La profundidad reutilizada, mediante la extracción de testigos o, en caso de no ser posible, mediante la apertura de calicatas realizadas detrás del equipo y antes de la compactación, teniendo en cuenta la reducción de espesor que experimentará el material al ser compactado, o mediante cualquier otro procedimiento, como el punzón graduado, aprobado por el Director de la obra.

Si la reutilización 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 totales de cada compactador antes y después de la prefisuración y, en su caso, del refino.

En cada una de las franjas de reutilización se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote de los definidos posteriormente 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

Resulta recomendable el uso del equipo nuclear u otros métodos rápidos de control, que 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-EN ISO 17892-1.

### 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 dentro de cada tramo homogéneo, al menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes:

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

El espesor, la densidad y, en su caso, la resistencia de la capa, se comprobarán mediante la extracción de testigos cilíndricos por lote (UNE-EN 12504-1) en emplazamientos aleatorios, que deberán presentar un aspecto homogéneo y compacto en todo su espesor, no admitiéndose aquellos que presenten coqueas, 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 caso de detección de anomalías en cualquiera de los controles anteriores, a criterio del Director de la obra. 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 antes de proceder al riego de curado un aspecto uniforme, así como ausencia de segregación. Se verificará que la anchura de la capa reutilizada 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 anteriormente 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 el valor medio es superior o igual al noventa y cinco por ciento ( $\geq 95\%$ ) de la densidad especificada, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de material reutilizado correspondiente al lote controlado.
- Si es inferior al noventa y cinco por ciento ( $< 95\%$ ) de la densidad especificada, y siempre a cuenta del Contratista, se reutilizará de nuevo el tramo previa aceptación del Director de la obra, o, bien, se demolerá la capa de material reutilizado correspondiente al lote

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

controlado y se repondrá con un material aceptado por el Director de la obra. En este caso, el producto resultante de la demolición se tratará 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 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 este Pliego. Si fuera superior a la mínima de la referenciada en el apartado 21.3, se aceptará el lote. En caso contrario, se procederá de la siguiente manera:

- Si la resistencia media fuera inferior a la mínima exigida pero no a su noventa por ciento (90%), el Contratista podrá optar 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, el Contratista podrá optar entre reutilizar de nuevo el tramo o la realización de 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 obtenidos en el tramo de prueba, según lo indicado en el apartado 21.6. Cuando no se disponga de los ensayos correspondientes del tramo de prueba, la comparación se realizará con los valores obtenidos de testigos de otro tramo aceptado, pertenecientes ambos al mismo tramo homogéneo y extraídos en ambos los testigos con la misma edad. En caso de que esto no fuese posible, el Director de la obra 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 la obra, 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 (4). La edad de rotura de los testigos, que será la misma para ambos lotes, será fijada por el Director de la obra.

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

- Si fuera inferior a él, pero no inferior a al noventa por ciento ( $\geq 90\%$ ), se aplicarán al lote las sanciones económicas previstas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- Si es inferior al noventa por ciento (< 90%), se demolerá el lote y se repondrá con un nuevo material aceptado por el Director de la Obra o bien se reutilizará de nuevo el tramo, en cualquier caso por cuenta del Contratista, según criterio del Director de la Obra. En su

## 21 REUTILIZACIÓN *IN SITU* CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES

---

caso, el producto resultante de la demolición se tratará según la legislación ambiental vigente, a cargo del Contratista

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 será 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 ( $\geq 90\%$ ) 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 la obra, con cargo al Contratista. El producto resultante de la demolición se tratará según la legislación ambiental vigente o se reutilizará de nuevo, a criterio del Director de la obra, por cuenta del Contratista.

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 siguiente manera:

- Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de la obra podrá aceptar la rasante siempre que no signifique una reducción del 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 según la legislación ambiental.

### 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 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%) o la incluida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.
- Si es igual o superior al diez por ciento ( $\geq 10\%$ ) 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.

### 21.11. MEDICIÓN Y ABONO

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

La ejecución de la reutilización in situ con cemento se abonará por metros cúbicos ( $m^3$ ) de material reutilizado, los cuales se obtendrán como producto de la superficie reutilizada, obtenida multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada y por el espesor medio de reutilización 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 reutilizada.

El árido de aportación, en su caso, en su caso, se abonará por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición abonable de ejecución de la reutilización 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 reutilizar 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 protección superficial, incluidas su extensión y su apisonado, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

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 mencionadas normas se refieren siempre a la última versión aprobada oficialmente por el organismo competente.

Las normas aquí recogidas podrán ser sustituidas por otras de las utilizadas en cualquiera de los 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.

**ARTÍCULO 21.- REUTILIZACIÓN IN SITU CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRMES**

NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional, IRI, en pavimentos de carreteras.
UNE 83302	Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.

UNE 103201	Determinación cuantitativa del contenido de sulfatos solubles en agua que hay en un suelo.
UNE 103204	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103900	Determinación in situ de la densidad y de la humedad de suelos y materiales granulares por métodos nucleares: pequeñas profundidades.
UNE 146508	Ensayo de áridos. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice y álcali-silicato de los áridos. Método acelerado en probetas de mortero.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas
UNE-EN 933-2/1M	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
UNE-EN 933-8	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena.
UNE-EN 933-9	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.
UNE-EN 1097-2	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

UNE-EN 1744-1	Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.
UNE-EN 12504-1	Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión.
UNE-EN 13242	Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes.
UNE-EN 13286-41	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 41: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de las mezclas de áridos con conglomerante hidráulico.
UNE-EN 13286-42	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 42: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta de las mezclas de áridos con conglomerante hidráulico.
UNE-EN 13286-45	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	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 13286-49	Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 49: Ensayo de hinchamiento acelerado para suelos tratados con cal o con conglomerante hidráulico.
UNE-EN 13286-51	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	Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 1: Determinación de la humedad.
UNE-EN ISO 17892-12	Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 12: Determinación del límite líquido y del límite plástico.