



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## **RECOMENDACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS TRATADAS CON POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN FIRMES DE VIALES EN MÁLAGA**



**GERENCIA MUNICIPAL DE URBANISMO  
AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA**



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

La sostenibilidad en las obras de construcción requiere el empleo de materiales reciclados reservando los naturales, incluso como es el caso de los neumáticos fuera de uso (NFU), cuando este residuo no ha sido producido por el sector de la construcción.

El Plan Nacional de Neumáticos fuera de uso cita a la obra pública como instrumento de reciclado prioritario, siempre que la utilización de materiales reciclado de NFU sea técnica y económicamente viable.

Entre las posibles aplicaciones en la obra pública, una de las de mayor interés es la fabricación de mezclas bituminosas para carreteras, ya que el caucho de los neumáticos comporta mejoras en su comportamiento, es más económico que otros modificadores alternativos y permite consumir una considerable cantidad de residuo.

Sin embargo, aunque hay normativa en España para la fabricación de mezclas bituminosas con caucho, entre otras el PG-3 o el Manual de Empleo de Caucho de NFU en mezclas bituminosas, siguen existiendo importantes lagunas técnicas para la ejecución de obras con estos tipos de mezclas bituminosas.

Es por ello que la Gerencia Municipal de Urbanismo de Málaga ha decidido la redacción de estas “RECOMENDACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS TRATADAS CON POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN FIRMES DE VIALES EN MÁLAGA” para la fabricación y puesta en obra de diferentes tipos de mezclas bituminosas que emplean polvo de caucho como uno de sus constituyentes. Recomendaciones que podrán ser utilizadas por Projectistas, Directores de Obra, Contratistas y Laboratorios de control para asegurar la correcta calidad de la obra diseñada y ejecutada.

Equipo de trabajo redactor de la recomendación:

Presidente: Francisco Javier Carmona Conde.- GMU Ayto. Málaga

Vicepresidenta: M<sup>a</sup> Pilar Vila Herrero.- GMU Ayto. Málaga

Secretario: D. Javier Castro Lara.- CEMOSA

Vocales

- Ramsés Vidal Sánchez – GMU Ayto. Málaga
- Miguel Ángel Soler García – GMU Ayto. Málaga
- Manuel Salas Casanova – CEMOSA
- Francisco J. Becerra Pérez – CEMOSA
- Alberto Icardo García - PAMASA
- Juan Carlos Vertedor Sánchez - EIFFAGE
- M<sup>a</sup> Elena Hidalgo Pérez - EIFFAGE
- Jorge Alberto Gámiz Pérez – SANDO
- Luis Alfonso de León – CIRTEC
- Miguel Ángel Sanz Coll - CIRTEC



## ÍNDICE

1	Mezclas bituminosas con polvo de caucho .....	7
1.1	Ventajas de las mezclas bituminosas con polvo de caucho (NFU) .....	7
1.2	Tipos de mezclas bituminosas en función de la dotación de NFU .....	7
1.3	Sistemas de aportación del NFU para las mezclas altamente modificadas con NFU..	8
2	Alcance de las Recomendaciones .....	9
3	Definición .....	10
4	Materiales .....	11
4.1	Ligante hidrocarbonado.....	12
4.1.1	Vía húmeda .....	12
4.1.2	Vía semi húmeda.....	12
4.1.3	Vía seca.....	13
4.2	Materiales para la adición del polvo de NFU .....	13
4.2.1	Polvo de NFU, Vía húmeda.....	13
4.2.2	Aditivo mejorado en base a NFU pre-digerido, Vía Semihúmeda .....	13
4.2.3	Polvo de NFU, Vía seca .....	14
4.3	Áridos .....	14
4.3.1	Características generales.....	14
4.3.2	Árido grueso .....	14
4.3.3	Árido fino .....	17
4.3.4	Polvo mineral.....	17
5	Tipo y composición de la mezcla .....	19
5.1	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	19
5.2	Mezclas para capas de rodadura. Mezclas discontinuas .....	20
5.3	Mezclas tipo AC 8 FR.....	21
5.4	Mezclas para capas de rodadura urbana con alta viscosidad en caucho .....	23
5.5	Mezclas tipo SMA (incluida SMA8 FR) .....	23
6	Equipo necesario para la ejecución de las obras.....	25
6.1	Central de fabricación .....	26
6.2	Elementos de transporte .....	27
	Recomendaciones Mezclas Bituminosas con NFU. Abril 2019	3



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

6.3	Equipo de extendido.....	27
6.4	Equipo de compactación .....	28
7	Ejecución de las obras .....	29
7.1	Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.....	29
7.1.1	Principios generales .....	29
7.1.2	Contenido de huecos.....	31
7.1.3	Resistencia a la deformación permanente .....	33
7.1.4	Sensibilidad al agua .....	35
7.1.5	Escurrimiento del ligante .....	36
7.2	Preparación de la superficie existente .....	36
7.3	Aprovisionamiento de áridos .....	36
7.4	Fabricación de la mezcla.....	37
7.4.1	Incorporación de los áridos .....	37
7.4.2	Incorporación del NFU.....	38
7.4.3	Temperaturas de fabricación.....	39
7.5	Transporte de la mezcla .....	39
7.6	Extensión de la mezcla .....	39
7.7	Compactación de la mezcla .....	40
7.7.1	Para todos los tipos de mezcla .....	40
7.7.2	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	40
7.7.3	Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.....	40
7.7.4	Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho. ....	40
7.7.5	Mezclas bituminosas tipo SMA y mezclas tipo AC 8 FR.....	40
7.8	Juntas transversales y longitudinales.....	41
8	Tramo de prueba.....	42
8.1	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	42
8.2	Otras mezclas para capas de rodadura .....	42
9	Especificaciones de la unidad terminada .....	42
9.1	Densidad .....	42
9.1.1	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	42
9.1.2	Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.....	42



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

9.1.3	Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho .....	42
9.1.4	Mezclas bituminosas tipo SMA y mezclas tipo AC 8 FR.....	42
9.2	Rasante, espesor y anchura .....	42
9.2.1	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	43
9.2.2	Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo SMA, mezclas tipo AC 8 FR y mezclas con alta viscosidad en caucho.....	43
9.3	Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento .....	44
9.3.1	Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.....	44
9.3.2	Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.....	44
9.3.3	Mezclas tipo AC 8 FR.....	44
9.3.4	Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho. ....	44
9.3.5	Mezclas bituminosas tipo SMA .....	45
10	Limitaciones de la ejecución .....	45
11	Control de calidad.....	46
11.1	Control de procedencia de los materiales.....	46
11.1.1	Control de procedencia del ligante hidrocarbonado.....	46
11.1.2	Control de procedencia del NFU tratado. Aditivos .....	46
11.1.3	Control de procedencia del polvo de NFU para vía seca.....	46
11.1.4	Control de procedencia de los áridos.....	47
11.1.5	Control de procedencia del polvo mineral de aportación .....	47
11.2	Control de calidad de los materiales .....	48
11.2.1	Control de calidad de los ligantes hidrocarbonados .....	48
11.2.2	Control de calidad de los áridos .....	48
11.2.3	Control de calidad del aditivo (polvo de NFU pre digerido con betún).....	49
11.2.4	Control de calidad del polvo NFU para vía seca.....	49
11.2.5	Control de calidad del polvo mineral .....	49
11.3	Control de ejecución.....	50
11.3.1	Fabricación .....	50
11.3.2	Puesta en obra .....	52
11.4	Control de recepción de la unidad terminada .....	53
12	Criterios de aceptación o rechazo.....	54
12.1	Densidad .....	54



**Departamento de Arquitectura e Infraestructuras**  
**Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras**

12.2	Espesor .....	55
12.3	Regularidad superficial .....	55
12.4	Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento .....	56
13	Medición y abono .....	57
14	Especificaciones técnicas y distintivos de calidad .....	59
	Normas referidas en estas Recomendaciones .....	60
	ANEJO. ARTÍCULOS 542 Y 543 DEL PG-3 Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS CON BETÚN MODIFICADO DE ALTA VISCOSIDAD CON CAUCHO PROCEDENTE DE LA TRITURACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (TIPO 1, BMAVC-1), EMPLEADAS EN CAPAS DE RODADURA URBANAS .....	63



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 1 Mezclas bituminosas con polvo de caucho

---

### 1.1 Ventajas de las mezclas bituminosas con polvo de caucho (NFU)

En el MANUAL DE EMPLEO DE CAUCHO DE NFU EN MEZCLAS BITUMINOSAS (en adelante Manual NFU) del Ministerio de Fomento se indican las ventajas técnicas que el empleo de polvo de NFU aporta a las mezclas bituminosas fabricadas con esta adición:

La adición de polvo de caucho a un betún o a una mezcla bituminosa tiene dos efectos principales:

- El polvo de caucho actúa como espesante, aumentando la viscosidad del ligante. En las mezclas bituminosas esto permite envolver los áridos con películas más gruesas de betún sin que se produzcan escurrimientos o exudaciones.
- La adición de polvo de caucho modifica la reología de los betunes, de manera que aumentan su elasticidad y resiliencia a temperaturas elevadas y disminuye la susceptibilidad térmica.

El efecto conjunto de estas modificaciones permite conseguir en las mezclas bituminosas:

- Mejor resistencia a las roderas que las mezclas convencionales, por su elevada viscosidad, punto de reblandecimiento y resiliencia (ligante más elástico y viscoso a las temperaturas altas de servicio).
- Menor susceptibilidad a la temperatura que las mezclas convencionales.
- Mayor resistencia al agrietamiento, tanto por fatiga como por reflexión de las capas inferiores que las mezclas convencionales, debido a los mayores contenidos de ligante que permite esta técnica.
- Mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación que las mezclas convencionales, por el potencial de utilizar mayores dotaciones de ligante y por la presencia de los antioxidantes del caucho de los NFUs.

### 1.2 Tipos de mezclas bituminosas en función de la dotación de NFU

El grado de mejora que se quiera conseguir para la mezcla bituminosa dependerá de la dotación de polvo de NFU que se utilice.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

De acuerdo con ello las mezclas bituminosas en este documento se clasifican como:

- **Mezclas mejoradas**, con dotaciones de polvo de NFU del 8 al 12% (*en porcentaje sobre peso total del ligante modificado empleado*)
- **Mezclas modificadas**, con dotaciones de polvo de NFU del 12 al 15% (*en porcentaje sobre peso total del ligante modificado empleado*)
- **Mezclas altamente modificadas**, con dotaciones de polvo de NFU superiores al 15% (*en porcentaje sobre peso total del ligante modificado empleado*).

### 1.3 Sistemas de aportación del NFU para las mezclas altamente modificadas con NFU

La incorporación del NFU puede realizarse por diferentes medios.

En estas Recomendaciones se contemplan dos procedimientos (vías) de aportación del NFU a la mezcla bituminosa:

- Vía húmeda (modificación in situ del betún con polvo de caucho)  
  
Este sistema consiste en la modificación del betún con la adición del polvo de NFU, previo a su incorporación a la mezcla.  
  
Para su fabricación, es necesario contar con una planta de modificación de betunes incorporada a la planta de asfalto.  
  
Una vez modificado el betún-caucho obtenido se incorpora directamente al mezclador de la planta asfáltica.
- Vía semihúmeda (empleo de aditivos de polvo de caucho pre-digerido con betún)  
  
A partir de aditivos consistentes en polvo de NFU pre-digerido con betún, (en adelante aditivos de NFU) fabricado en factoría industrial mediante un proceso de vía húmeda.  
  
Estos aditivos de NFU se incorporan directamente al mezclador consiguiendo las mismas prestaciones en la mezcla bituminosa que los incorpora que las obtenidas por la vía húmeda anteriormente definida.
- Vía seca (empleo de polvo de caucho sin pre-digerir con betún)  
  
En este caso, el polvo de caucho se incorpora directamente al mezclador de la planta de asfalto, consiguiendo prestaciones en la mezcla bituminosa que lo incorpora equivalentes a las obtenidas por las vías anteriores, para tiempos de digestión de la mezcla (desde que se fabrica hasta que se pone en obra), superiores a 45 minutos.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 2 Alcance de las Recomendaciones

---

El empleo de polvo de NFU en las mezclas bituminosas está contemplado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (en adelante PG-3), tanto en los artículos 542 (mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso) como en el 543 (mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas).

Además del PG-3 se cuenta con el mencionado Manual NFU.

Pero para asegurar la calidad de las obras ejecutadas con mezclas bituminosas tratadas con polvo de NFU hay que ampliar dicha normativa técnica, contemplando:

- Legislar sobre productos no indicados en el PG-3 y Manual NFU.
- Detallar procedimientos específicos en las diferentes fases de la pavimentación de la obra con este tipo de mezclas.
- Legislar sobre mezclas bituminosas aún no presentes en el PG-3.

Lo que se detalla en los siguientes apartados:

### 2.1 Aditivos de NFU

- Definición de estos productos.
- Control de recepción.
- Sistemas de incorporación a la mezcla bituminosa.

### 2.2 En la fase de diseño

- •Legislar sobre las dotaciones mínimas y recomendadas de polvo de NFU.
- Definir los contenidos mínimos y óptimos de ligante (betún + polvo de NFU).
- Control de recepción de los aditivos de NFU.

### 2.3 En la fase de fabricación

- Sistema de incorporación del NFU a la mezcla bituminosa.
- Temperaturas de fabricación.
- Procedimiento de amasado (áridos y mezcla bituminosa).



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 2.4 En la fase de puesta en obra

- Temperaturas de puesta en obra.
- Temperaturas de compactación.
- Procedimiento de compactación.

## 2.5 Mezclas bituminosas no indicadas en el PG-3

- Mezclas tipo SMA
- Mezclas ultra delgadas fono reductoras altamente modificadas con caucho (AC 8 FR o SMA 8 FR)
- Mezclas bituminosas urbanas con alta viscosidad con caucho.

De acuerdo con todo ello, la normativa de referencia empleada en estas Recomendaciones ha sido:

- Manual NFU.
- Artículo 542 PG-3.
- Artículo 543 PG-3.
- Propuesta de normativa para mezclas SMA. Proyecto SMA ([www.proyectosma.eu](http://www.proyectosma.eu))
- Monografía mezclas tipo SMA ASEFMA.
- Pliego de prescripciones técnicas particulares para mezclas bituminosas fabricadas con betún modificado de alta viscosidad con caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (tipo 1, BMAVC-1) empleadas en capas de rodadura urbanas.
- Pliego de prescripciones técnicas particulares para los betunes modificados de alta viscosidad con caucho tipo 1 (BMAVC-1). 2014.

## 3 Definición

---

A efectos de estas Recomendaciones, se define como mezcla bituminosa en caliente tratada con polvo de NFU la combinación de un ligante hidrocarbonado, polvo de neumático (en dotación comprendida entre el 8 y superior al 15% sobre la masa de ligante), áridos (incluido el polvo mineral) y, en su caso, aditivos, de manera que todas



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea y gruesa de mástico filler-betún modificado con polvo de NFU. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante, el NFU y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Las mezclas bituminosas tratadas con polvo de NFU podrán ser de los siguientes tipos:

- En función de la dotación de NFU:
  - Mezclas mejoradas.
  - Mezclas modificadas y
  - Mezclas altamente modificadas.
- En función de la combinación y tipo de áridos y contenido de ligante:
  - Mezclas tipo hormigón asfáltico (las definidas en el artículo 542 del PG-3, con excepción de las mezclas de alto módulo)
  - Mezclas discontinuas para capas de rodadura delgadas.
  - Mezclas tipo SMA (incluidas las mezclas tipo SMA8 FR).
  - Mezclas tipo AC 8 FR.
  - Mezclas urbanas fabricadas con betún de alta viscosidad con caucho tipo 1 (BMAVC-1).

La ejecución de las mezclas bituminosas en caliente definidas anteriormente incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

## 4 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



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, y 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.

#### 4.1 Ligante hidrocarbonado

Se define como ligante:

##### 4.1.1 Vía húmeda

En el caso de la vía húmeda, el ligante al betún-caucho debe cumplir con los requisitos incluidos en la normativa que se menciona a continuación:

- Betunes mejorados (BC):
  - Apartado 211 del PG-3 para betunes asfálticos
  - O.C. 21/2007 del Ministerio de Fomento
- Betunes modificados (PMB – C):
  - Apartado 212 del PG-3. para betunes asfálticos modificados.
- Betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC):
  - O.C. 21/2007 del Ministerio de Fomento
  - Pliego BMAVC-1 (2014) para los betunes modificados de alta viscosidad con caucho tipo 1.

##### 4.1.2 Vía semi húmeda

En el caso del empleo de aditivos consistentes en polvo de NFU pre-digerido con betún, se define como ligante de la mezcla a la suma de:

- A la dotación de betún aportado a la mezcla.
- A la dotación de betún que el aditivo de NFU lleva incorporado.
- A la dotación de NFU que el aditivo lleva incorporado.

En la vía semi húmeda el tipo de betún aportado será el solicitado por el tipo de mezcla que se fabrique:

- En el caso de las mezclas tipo hormigón bituminoso se actuará de acuerdo con lo indicado en el apartado 542.2.2, si bien el betún empleado en dicha mezcla



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

bituminosa podrá ser tanto modificado como convencional, debido a la posterior modificación que aporta el aditivo de polvo de caucho pre-digerido en las propiedades de dicho ligante.

- En el caso de las mezclas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas con alta viscosidad en caucho, mezclas tipo SMA y AC 8 FR, se actuará de acuerdo con lo indicado en el apartado 543.2.2, si bien el betún empleado en dicha mezcla bituminosa podrá ser tanto modificado como convencional, debido a la posterior modificación que aporta el aditivo de polvo de caucho pre-digerido en las propiedades de dicho ligante.

Se podrán emplear los betunes indicados en estos dos apartados excepto los mejorados o modificados con caucho ya que esta mejora o modificación se realiza con el aditivo.

#### 4.1.3 Vía seca

En el caso de incorporar el polvo de caucho por vía seca se define como ligante de la mezcla a la suma de las dotaciones del betún y polvo NFU aportados a la mezcla. Teniendo en cuenta la zona térmica en la que se encuentra la provincia de Málaga se recomienda emplear un betún 50/70.

## 4.2 Materiales para la adición del polvo de NFU

### 4.2.1 Polvo de NFU, Vía húmeda

Para la fabricación del betún modificado de alta viscosidad con caucho de NFU tipo 1, BMAVC-1, se utilizará el polvo de NFU tamaño P2, del ANEJO 2 del *Manual del empleo del caucho de NFU en mezclas bituminosas*, publicado por el CEDEX, siendo el tamaño máximo de 0,8 mm.

### 4.2.2 Aditivo mejorado en base a NFU pre-digerido, Vía Semihúmeda

Se empleará aditivo consistente en polvo de NFU pre-digerido, fabricado en factoría industrial mediante un proceso de vía húmeda, pudiéndose incorporar directamente al mezclador (vía seca) consiguiendo las mismas prestaciones que la vía húmeda.

Estos productos presentan en su composición polvo mineral, betún y otros reactivos.

El fabricante, debe proporcionar la composición y características del aditivo.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 4.2.2.1 *Composición del aditivo de NFU*

Las proporciones de filler y betún que se incorporan con este producto hay que tenerlas en cuenta para el diseño del esqueleto mineral y para determinar el contenido total de ligante de la mezcla.

#### 4.2.2.2 *Características del aditivo de NFU.*

El fabricante debe definir los valores y tolerancias de las características del aditivo, que como mínimo serán:

- La densidad aparente.
- La granulometría.

#### 4.2.3 *Polvo de NFU, Vía seca*

Para la modificación de mezclas bituminosas incorporando caucho por vía seca se empleará un polvo de caucho de tamaño nominal no superior a 0,5 mm.

### **4.3 Áridos**

#### 4.3.1 *Características generales*

##### 4.3.1.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.1

##### 4.3.1.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.1

#### 4.3.2 *Árido grueso*

##### 4.3.2.1 *Definición del árido grueso*

Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

4.3.2.2 *Procedencia del árido grueso*

4.3.2.2.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.2

4.3.2.2.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.2

4.3.2.3 *Angulosidad del árido grueso (Porcentaje de caras de fractura)*

4.3.2.3.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.3

4.3.2.3.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.3

4.3.2.4 *Forma del árido grueso (Índice de lajas)*

4.3.2.4.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.4

4.3.2.4.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.4



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

4.3.2.5 *Resistencia a la fragmentación del árido grueso (Coeficiente de Los Ángeles)*

4.3.2.5.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.5

4.3.2.5.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.5

4.3.2.6 *Resistencia al pulimento del árido grueso para capas de rodadura (Coeficiente de pulimento acelerado)*

4.3.2.6.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.6

4.3.2.6.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.6

4.3.2.7 *Limpieza del árido grueso (Contenido de impurezas)*

4.3.2.7.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.2.7

4.3.2.7.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.7

4.3.2.7.3 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.2.5



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 4.3.3 Árido fino

##### 4.3.3.1 Definición del árido fino

Se define como árido fino la parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.

##### 4.3.3.2 Procedencia del árido fino

###### 4.3.3.2.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.3.2

###### 4.3.3.2.2 Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.3.2

##### 4.3.3.3 Limpieza del árido fino

El árido fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

##### 4.3.3.4 Resistencia a la fragmentación del árido fino

###### 4.3.3.4.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.3.4

###### 4.3.3.4.2 Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.3.4

#### 4.3.4 Polvo mineral

##### 4.3.4.1 Definición del polvo mineral

Se define como polvo mineral a la parte del árido total cernida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 4.3.4.2 *Procedencia del polvo mineral*

El polvo mineral podrá proceder de los áridos, separándose de ellos por extracción en la central de fabricación, o bien aportarse a la mezcla por separado de aquellos, como un producto comercial o especialmente preparado.

En el caso de la preparación de la mezcla por vía semihúmeda hay preparados de NFU que en su composición contienen parte de filler mineral. Hay que tener en cuenta esta dotación de filler en la dosificación de la mezcla.

#### 4.3.4.3 *Proporción del polvo mineral*

##### 4.3.4.3.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso. Procedencia para capas de rodadura*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.2.3.4.2

##### 4.3.4.3.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.2.3.4.2

#### 4.3.4.4 *Granulometría del polvo mineral*

La granulometría del polvo mineral se determinará según UNE-EN 933-10. El cien por cien (100%) de los resultados de análisis granulométricos deben quedar dentro del huso granulométrico general definido en la tabla 1.

Adicionalmente, el noventa por cien (90%) de los resultados de análisis granulométricos basados en los últimos veinte (20) valores obtenidos, deben quedar incluidos dentro de un huso granulométrico más estrecho, cuyo ancho máximo en los tamices correspondientes a 0,125 y 0,063 mm no supere el diez por ciento (10%).

TABLA 1- ESPECIFICACIONES PARA LA GRANULOMETRIA DEL POLVO MINERAL

ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	HUSO GRANULOMÉTRICO GENERAL PARA RESULTADOS INDIVIDUALES (% EN MASA)	ANCHO MÁXIMO DEL HUSO RESTRINGIDO (% EN MASA)
2	100	-
0,125	85 a 100	10
0,063	70 a 100	10



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 4.3.4.5 *Finura y actividad del polvo mineral*

La densidad aparente del polvo mineral, según el anexo A de la norma UNE-EN 1097-3, deberá estar comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>).

## 5 Tipo y composición de la mezcla

### 5.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso

La designación de las mezclas se ajustará a lo indicado en el apartado 542.3 del PG-3, completándose con información:

- Sobre el tipo de mezcla en función de la proporción de NFU.
- Indicándose la dotación de NFU en la mezcla.

La designación de las mezclas bituminosas seguirá, por lo tanto, el esquema siguiente:

Tipo de mezcla	AC	D	Surf/bin/base	ligante	Granulometría	Dotación de NFU
----------------	----	---	---------------	---------	---------------	-----------------

Donde:

- **Tipo de mezcla:** de acuerdo con lo indicado en el apartado 1.2 de estas Recomendaciones
- **AC:** indicación relativa a que la mezcla es de tipo hormigón bituminoso.
- **D:** tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.
- **Surf/bin/base:** abreviaturas relativas al tipo de capa de empleo de la mezcla, rodadura, intermedia o base, respectivamente.
- **Ligante:** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- **Granulometría:** designación mediante las letras D, S o G del tipo de granulometría correspondiente a una mezcla densa (D), semidensa (S) o gruesa (G), respectivamente.
- **Dotación de NFU:** proporción mínima en peso del NFU contenido en el ligante total (betún + NFU + en el caso del aditivo betún del aditivo)



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Ejemplo:

### **Mezcla bituminosa mejorada con caucho AC 16 BIN 50/70 D 8 NFU.**

En el caso de adición de polvo de caucho por vía seca en el que el porcentaje de caucho se expresa normalmente en porcentaje sobre mezcla, la dotación mínima de NFU hay que convertirla de dotación sobre ligante total a dotación sobre mezcla. Es decir, en la mezcla del ejemplo, una dotación mínima de 8% NFU sobre ligante total correspondería a una dotación mínima de NFU sobre mezcla de 0,4%, suponiendo un 4,6% de porcentaje de betún sobre mezcla. Lógicamente, en función del porcentaje de betún de la mezcla, la dotación de NFU sobre mezcla variará, con el fin de mantener la dotación mínima de NFU sobre ligante total.

La granulometría, tipo de mezcla a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, la dotación mínima de ligante de la mezcla, así como la relación filler ligante serán las indicadas en el apartado 542.3 del PG-3. No obstante, hay que tener en cuenta que cuando se aumentan las dotaciones de polvo de caucho, sobre todo a partir del 12%, es necesario aumentar la dotación de betún, por lo que en cualquier caso, la dotación óptima de ligante se deberá determinar en función del estudio completo de la fórmula de trabajo, sin limitarse a cumplir la dotación mínima establecida en el apartado 542.3 del PG-3.

## **5.2 Mezclas para capas de rodadura. Mezclas discontinuas**

La designación de las mezclas se ajustará a lo indicado en el apartado 543.3 del PG-3, completándose con información:

- Sobre el tipo de mezcla en función de la proporción de NFU.
- Indicándose la dotación de NFU en la mezcla.

La designación de las mezclas bituminosas seguirá, por lo tanto, el esquema siguiente:

Tipo de mezcla	BBTM	D	Clase	ligante	Dotación de NFU
----------------	------	---	-------	---------	-----------------

Donde:

- **Tipo de mezcla:** de acuerdo con lo indicado en el apartado 1.2 de estas Recomendaciones
- **BBTM:** indicación relativa a que la mezcla bituminosa es de tipo discontinuo.  
Recomendaciones Mezclas Bituminosas con NFU. Abril 2019



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

- **D:** tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.
- **Clase:** designación de la clase de mezcla discontinua. A efectos del PG-3 será A o B.
- **Ligante:** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- **Dotación de NFU:** proporción mínima en peso del NFU contenido en el ligante total (betún + NFU + en el caso del aditivo betún del aditivo)

Ejemplo:

**Mezcla bituminosa altamente modificada con caucho BBTM 11 A PMB 45/80-65 15 NFU.**

En el caso de adición de polvo de caucho por vía seca en el que el porcentaje de caucho se expresa normalmente en porcentaje sobre mezcla, la dotación mínima de NFU hay que convertirla de dotación sobre ligante total a dotación sobre mezcla. Es decir, en la mezcla del ejemplo, una dotación mínima de 15% NFU sobre ligante correspondería a una dotación mínima de NFU sobre mezcla de 1,02%, suponiendo un 5,8% de porcentaje de betún sobre mezcla. Lógicamente, en función del porcentaje de betún de la mezcla, la dotación de NFU sobre mezcla variará, con el fin de mantener la dotación mínima de NFU sobre ligante total.

La granulometría, tipo de mezcla a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, la dotación mínima de ligante de la mezcla, así como la relación filler ligante serán las indicadas en el apartado 543.3 del PG-3. No obstante, hay que tener en cuenta que cuando se aumentan las dotaciones de polvo de caucho, sobre todo a partir del 12%, es necesario aumentar la dotación de betún, por lo que en cualquier caso, la dotación óptima de ligante se deberá determinar en función del estudio completo de la fórmula de trabajo, sin limitarse a cumplir la dotación mínima establecida en el apartado 543.3 del PG-3.

**5.3 Mezclas tipo AC 8 FR**

Tipo de mezcla	AC	D	Surf	ligante	Característica fono reductora	Dotación de NFU
----------------	----	---	------	---------	-------------------------------	-----------------

Donde:

- **Tipo de mezcla:** estos tipos de mezcla son altamente modificadas con caucho



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

- **TIPO** indicación relativa a que la mezcla bituminosa es de tipo AC 8
- **Ligante** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- **FR** Se indica que es una mezcla especialmente diseñada como fono reductora
- **Dotación de NFU**: proporción mínima en peso del NFU contenido en el ligante total (betún + NFU + en el caso del aditivo betún del aditivo)

Ejemplo:

**Mezcla bituminosa altamente modificada con caucho AC 8 SURF 50/70 FR 15 NFU.**

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), deberá estar comprendida dentro del huso fijado en la tabla 2. El análisis granulométrico se hará según la UNE-EN 933-1.

TABLA 2 - HUSO GRANULOMÉTRICO. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	ABERTURA DE LOS TAMICES (mm)					
	11.2	8	4	2	0.5	0.063
AC 8	100	90-100	41-61	21-34	12-20	2-3

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el espesor de la capa del firme y la dotación mínima de ligante hidrocarbonado de la mezcla bituminosa en caliente, que en cualquier caso deberá cumplir lo indicado en la tabla 3.

TABLA 3- TIPO DE MEZCLA, ESPESOR Y CONTENIDO DE LIGANTE

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (mm)	CONTENIDO MÍNIMO DE LIGANTE (%m/sm)
RODADURA	AC 8 FR	2-4	8,0

En el caso de que la densidad de los áridos sea diferente de dos gramos y sesenta y cinco centésimas de gramo por centímetro cúbico (2,65 g/cm<sup>3</sup>), los contenidos mínimos de ligante de la tabla 8 se deben corregir multiplicando por el factor:

$\alpha = 2,65/pd$ ; donde pd es la densidad de las partículas del árido.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Salvo justificación en contrario, la relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado (expresados ambos respecto a la masa total de árido seco, incluido el polvo mineral) determinada en la fórmula de trabajo, deberá estar comprendida entre doce y dieciséis décimas (1,2 a 1,6).

#### 5.4 Mezclas para capas de rodadura urbana con alta viscosidad en caucho

Tipo de mezcla	TIPO	ligante	Dotación de NFU
----------------	------	---------	-----------------

Donde:

- **Tipo de mezcla:** estos tipos de mezcla son altamente modificadas con caucho
- **TIPO** indicación relativa a que la mezcla bituminosa es de tipo Rodadura urbana
- **Ligante** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- **Dotación de NFU:** proporción mínima en peso del NFU contenido en el ligante total (betún + NFU + en el caso del aditivo betún del aditivo)

Ejemplo:

#### **Mezcla bituminosa altamente modificada con caucho RODADURA URBANA BMAVC 15 NFU.**

La granulometría, tipo de mezcla a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, la dotación mínima de ligante de la mezcla, así como la relación filler ligante son las indicadas en el Pliego de prescripciones técnicas particulares para mezclas bituminosas fabricadas con betún modificado de alta viscosidad con caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (tipo 1, BMAVC-1) empleadas en capas de rodadura urbanas.

#### 5.5 Mezclas tipo SMA (incluida SMA8 FR)

La designación de las mezclas tipo SMA se hará según la nomenclatura establecida en la UNE-EN 13108-5, siguiendo el siguiente esquema:

Tipo de mezcla	SMA	D	Surf/bin/base	LIGANTE	Dotación de NFU
----------------	-----	---	---------------	---------	-----------------



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Donde:

- **Tipo de mezcla:** estos tipos de mezcla son altamente modificadas con caucho
- **SMA:** Indica el tipo de mezcla bituminosa.
- **D:** Es el tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por cien (90% y 100%) del total de árido.
- **Surf/bin:** abreviaturas relativas al tipo de capa de empleo de la mezcla, rodadura o intermedia, respectivamente.
- **Ligante:** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- **FR** Se indica que es una mezcla especialmente diseñada como fono reductora
- **Dotación de NFU:** proporción mínima en peso del NFU contenido en el ligante total (betún + NFU + en el caso del aditivo betún del aditivo)

Ejemplo:

**Mezcla bituminosa altamente modificada con caucho SMA 11 SURF (50/70) 15 NFU**

**Mezcla bituminosa altamente modificada con caucho SMA 8 SURF (50/70) FR 15 NFU**

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), según la unidad de obra o empleo, deberá estar comprendida dentro del huso fijado en la tabla 4. El análisis granulométrico se hará según la UNE-EN 933-1.

TABLA 4 - HUSO GRANULOMÉTRICO. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	ABERTURA DE LOS TAMICES (mm)							
	22	16	11,2	8	4	2	0.5	0.063
SMA 8			100	90-100	30-45	25-35	12-22	7-10
SMA 11		100	90-100	55-80	22-33	20-30	12-20	6-10
SMA 16	100	90-100	55-80	35-55	17-35	15-25	10-18	6-10



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el espesor de la capa del firme y la dotación mínima de ligante hidrocarbonado de la mezcla bituminosa en caliente, que en cualquier caso deberá cumplir lo indicado en la tabla 5.

TABLA 5- TIPO DE MEZCLA, ESPESOR Y CONTENIDO DE LIGANTE

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (mm)	CONTENIDO MÍNIMO DE LIGANTE (%m/sm)
RODADURA	SMA 8	2-4	6,0
	SMA 11	3-5	5,8
	SMA 16	4-8	5,8
INTERMEDIA	SMA 16	5-9	5,6

No obstante, hay que tener en cuenta que cuando se aumentan las dotaciones de polvo de caucho, sobre todo a partir del 12%, es necesario aumentar la dotación de betún, por lo que, en cualquier caso, la dotación óptima de ligante se deberá determinar en función del estudio completo de la fórmula de trabajo, sin limitarse a cumplir la dotación mínima establecida en la tabla 5.

En el caso de que la densidad de los áridos sea diferente de dos gramos y sesenta y cinco centésimas de gramo por centímetro cúbico (2,65 g/cm<sup>3</sup>), los contenidos mínimos de ligante de la tabla 8 se deben corregir multiplicando por el factor:

$\alpha = 2,65/pd$ ; donde pd es la densidad de las partículas del árido.

Salvo justificación en contrario, la relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado (expresados ambos respecto a la masa total de árido seco, incluido el polvo mineral) determinada en la fórmula de trabajo, deberá estar comprendida entre doce y dieciséis décimas (1,2 a 1,6).

## 6 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.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 6.1 Central de fabricación

Lo dispuesto en este apartado se entenderá sin perjuicio de lo establecido en las serie normativas UNE EN 13108 para el mercado CE. No obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá establecer prescripciones adicionales, especialmente en el supuesto de no ser obligatorio o no disponer de marcado CE.

Las mezclas bituminosas en caliente se fabricarán por medio de centrales, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará la producción horaria mínima de la central, en función de las características y necesidades mínimas de consumo de la obra.

El número mínimo de tolvas para áridos en frío será función del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero, en todo caso, no será inferior a tres (3).

En centrales de mezcla continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación deberá ser ponderal, al menos para la arena y para el conjunto de los áridos; y deberá tener en cuenta la humedad de éstos, para corregir la dosificación en función de ella. En los demás tipos de central para la fabricación de mezclas para las categorías de tráfico pesado T00 a T2 también será preceptivo disponer de sistemas ponderales de dosificación en frío.

La central deberá tener sistemas separados de almacenamiento y dosificación del polvo mineral recuperado y de aportación, los cuales deberán ser independientes de los correspondientes al resto de los áridos, y estar protegidos de la humedad.

Las centrales cuyo secador no sea a la vez mezclador deberán estar provistas de un sistema de clasificación de los áridos en caliente -de capacidad acorde con su producción- en un número de fracciones no inferior a tres (3), y de silos para almacenarlos.

Las centrales de mezcla discontinua deberán estar provistas en cualquier circunstancia de dosificadores ponderales independientes: al menos uno (1) para los áridos calientes, cuya precisión sea superior al medio por ciento ( $\pm 0,5\%$ ), y al menos uno (1) para el polvo mineral y uno (1) para el ligante hidrocarbonado, cuya precisión sea superior al tres por mil ( $\pm 0,3\%$ ).

La incorporación del NFU dependerá de si se opta por la vía húmeda, semihúmeda o seca.

- Vía húmeda



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Se seguirán las especificaciones del punto 4.1. del Manual de empleo del caucho de NFU en mezclas bituminosas, CEDEX

- Vía semihúmeda

Se seguirán las especificaciones de temperaturas y tiempos de mezcla en seco, según ficha técnica del fabricante del aditivo de NFU pre-digerido con betún.

- Vía seca

Se deberá disponer de un sistema de dosificación neumático automático para el polvo NFU, que permita la incorporación directa del polvo NFU del silo del caucho al mezclador. Además, deberá establecerse un tiempo adicional de preamasado de los áridos en caliente y el caucho antes de la inyección del betún (en torno a un 10% del tiempo de mezcla en húmedo).

Si la central estuviera dotada de tolvas de almacenamiento de las mezclas fabricadas, sus capacidades deberán garantizar el flujo normal de los elementos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho horas (48 h) siguientes a la fabricación el material acopiado no ha perdido ninguna de sus características, en especial la homogeneidad del conjunto y las propiedades del ligante.

## 6.2 Elementos de transporte

Consistirán en camiones de caja lisa y estanca, perfectamente limpia y que se tratará, para evitar que la mezcla bituminosa se adhiera a ella, con un producto cuya composición y dotación deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

La forma y altura de la caja deberá ser tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos al efecto.

Los camiones deberán siempre estar provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger la mezcla bituminosa en caliente durante su transporte.

## 6.3 Equipo de extendido

Las extendedoras serán autopropulsadas, y estarán dotadas de los dispositivos necesarios para extender la mezcla bituminosa en caliente con la configuración deseada y un mínimo de pre compactación, que deberá ser fijado por el Director de las Obras. La capacidad de sus elementos, así como su potencia, serán adecuadas al trabajo a realizar.

La extendedora deberá estar dotada de un dispositivo automático de nivelación y de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante, y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste, u otras causas.

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T31 o con superficies a extender en calzada superiores a setenta mil metros cuadrados (70.000m<sup>2</sup>), el Director de la obra podrá exigir el disponer, delante de la extendedora, de un equipo de transferencia autopropulsado de tipo silo móvil, que esencialmente garantice la homogeneización granulométrica y además permita la uniformidad térmica y de las características superficiales.

La anchura extendida y compactada será siempre igual o superior a la teórica, y comprenderá las anchuras teóricas de la calzada o arceños más los sobre anchos mínimos fijados en los planos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará las anchuras máxima y mínima de la extensión y la situación de las juntas longitudinales necesarias. Si a la extendedora se pueden acoplar elementos para aumentar su anchura, éstos deberán quedar perfectamente alineados con los de aquélla y conseguir una mezcla continua y uniforme.

#### **6.4 Equipo de compactación**

Para las mezclas tipo hormigón bituminoso se podrán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibrantes, de neumáticos o mixtos. La composición mínima del equipo será un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto, y un (1) compactador de neumáticos y será aprobada por el Director de las Obras a la vista de los resultados del tramo de prueba.

Para el resto de mezclas (drenantes, discontinuas, AC 8 FR, de rodadura urbanas y SMA) se utilizarán preferentemente compactadores de rodillos metálicos que deberán ser autopropulsados, tener inversores de sentido de marcha de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario. Las llantas metálicas de los compactadores no presentarán surcos ni irregularidades en ellas.

Las presiones de contacto, estáticas o dinámicas, de los compactadores serán aprobadas por el Director de las Obras, y deberán ser las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, sin producir roturas del árido, ni arrollamientos de la mezcla a la temperatura de compactación.

En zonas poco accesibles para los compactadores se podrán utilizar planchas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr en dichas zonas una terminación superficial y compacidad semejante al resto de la obra.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 7 Ejecución de las obras

---

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

#### 7.1.1 Principios generales

La fabricación y puesta en obra de la mezcla no se iniciará hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en el laboratorio y verificada en la central de fabricación.

Dicha fórmula fijará como mínimo las siguientes características:

- Identificación y proporción de cada fracción del árido en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente.
- Granulometría de los áridos combinados, incluido el polvo mineral, por los tamices:
  - **Para las mezclas tipo hormigón bituminoso** 45; 32; 22; 16; 8; 4; 2; 0,500; 0,250 y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, que corresponda para cada tipo de mezcla según la tabla 542.8 del PG-3, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 que se expresará con una aproximación del uno por mil (0,1%).
  - **Para las mezclas tipo discontinuas** 22; 16; 11,2; 8; 5,6; 4; 2; 0,500 y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, que corresponda para cada tipo de mezcla según la tabla 543.8 del PG-3, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 que se expresará con una aproximación del uno por mil (0,1%).
  - **Para las mezclas tipo AC 8 FR** 11,2; 8; 4; 2; 0,5 y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 que se expresará con una aproximación del uno por mil (0,1%).
  - **Para las mezclas tipo rodadura urbana con alta viscosidad en caucho** 16; 11,2; 8; 4; 2; 0,500 y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 que se expresará con una aproximación del uno por mil (0,1%).



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

- **Para las mezclas tipo SMA 22; 16; 11,2; 8; 4; 2; 0,500 y 0,063 mm** de la UNE-EN 933-2, que corresponda para cada tipo de mezcla según la tabla 7 de estas Recomendaciones, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 que se expresará con una aproximación del uno por mil (0,1%).
- Dosificación, en su caso, de polvo mineral de aportación, expresada en porcentaje del árido total con aproximación del uno por mil (0,1%)
- Dosificación, en su caso, del polvo mineral aportado por el preparado de NFU en el caso de la fabricación de la mezcla por vía semihúmeda.
- Identificación y dosificación de ligante hidrocarbonado referida a la masa total de la mezcla. Cumpliendo con los requisitos de estas Recomendaciones.
- Tipo y dotación del NFU, referido a la masa del ligante. Cumpliendo con los requisitos de estas Recomendaciones
- En su caso, dotación de aditivos
- Densidad mínima a alcanzar.
- Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos en seco y para la mezcla de los áridos con el ligante.
- Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de áridos y ligante. En ningún caso se introducirá en el mezclador árido a una temperatura superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15 °C).
- La temperatura de mezclado se fijará dentro del rango correspondiente a una viscosidad del betún de doscientos cincuenta a cuatrocientos cincuenta centistokes (250-450 cSt) y dentro del rango recomendado por el fabricante, en el caso de betunes modificados con polímeros o de betunes con caucho de neumáticos fuera de uso.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte y a la salida de la extendedora, que en ningún caso será inferior a ciento treinta y cinco grados Celsius (145 °C).
- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación.
- Las prescripciones necesarias sobre la forma de incorporación y tiempo de mezclado del aditivo estabilizante para asegurar la completa dispersión del aditivo en la mezcla y en el caso de aditivos sólidos o pulverulentos establecer el tiempo de amasada en seco con los áridos antes de incorporar el ligante, así



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

como señalar, en cualquier caso, como se introducen en el mezclador junto con el ligante. Indicar también los tiempos estimados de amasada.

- La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será superior a ciento ochenta grados Celsius (180 °C), salvo en centrales de tambor secador-mezclador, en las que no excederá de los ciento sesenta y cinco grados Celsius (165 °C). En todos los casos, la temperatura mínima de la mezcla al salir del mezclador será aprobada por el Director de las Obras de forma que la temperatura de la mezcla en la descarga de los camiones sea superior al mínimo fijado. Caso de tener que superar esta temperatura por la elevada viscosidad del ligante y de la mezcla, se justificará en función del diagrama viscosidad/temperatura del ligante, facilitado por el fabricante del mismo.

La dosificación de ligante hidrocarbonado en la fórmula de trabajo se fijará teniendo en cuenta los materiales disponibles, la experiencia obtenida en casos análogos y siguiendo los criterios establecidos en los apartados 6.1.2 a 6.1.5.

En el caso de categorías de tráfico pesado T00 a T2, el Pliego de Prescripciones Técnicas, o en su defecto el Director de las Obras podrá exigir un estudio de sensibilidad de las propiedades de la mezcla a variaciones de granulometría y dosificación de ligante hidrocarbonado que no excedan de las admitidas en el apartado 11.3.1.

La fórmula de trabajo de la mezcla bituminosa en caliente, para las mezclas a emplear en capas de rodadura, deberá asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente a la macrotextura superficial y a la resistencia al deslizamiento, según lo indicado en el apartado 9.4.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el Director de las Obras podrá exigir la corrección de la fórmula de trabajo, que se justificará mediante ensayos. Se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes o si, durante la producción, se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en el apartado 11.3.1.

### 7.1.2 Contenido de huecos

#### 7.1.2.1 Consideraciones previas

Para las mezclas altamente modificadas con caucho, se debe considerar la determinación de la densidad máxima de la mezcla (UNE EN 12697-5) por el procedimiento C (procedimiento matemático).



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

7.1.2.2 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.5.1.2

7.1.2.3 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.5.1.2

7.1.2.4 *Mezclas tipo AC 8 FR*

El contenido de huecos en mezcla, determinado según el método de ensayo de la UNE-EN 12697-8 indicado en el anexo B de la UNE-EN 13108-20, cumplirá los valores fijados en la tabla 6. Para la realización del ensayo se emplearán probetas compactadas según la UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara.

TABLA 6- CONTENIDO DE HUECOS EN MEZCLA

TIPO DE MEZCLA	% DE HUECOS
AC 8 FR	3,0 – 4,5

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir el contenido de huecos en áridos y el contenido de huecos rellenos, según el método de ensayo de la UNE-EN 12697-8 indicado en el anexo B de la UNE-EN 13108-20, siempre que por las características de los mismos o por su granulometría combinada, se prevean anomalías en la fórmula de trabajo. En tal caso, el contenido de huecos en áridos deberá ser mayor o igual al veinte por ciento ( $\geq 20\%$ ) y el contenido de huecos rellenos menor o igual al ochenta y tres por ciento ( $\leq 83\%$ ).

7.1.2.5 *Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 5.1 del Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.

7.1.2.6 *Mezclas bituminosas tipo SMA*

El contenido de huecos en mezcla, determinado según el método de ensayo de la UNE-EN 12697-8 indicado en el anexo B de la UNE-EN 13108-20, cumplirá los



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

valores fijados en la tabla 7. Para la realización del ensayo se emplearán probetas compactadas según la UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara.

TABLA 7- CONTENIDO DE HUECOS EN MEZCLA

TIPO DE MEZCLA	% DE HUECOS
SMA 8	3-6
SMA 8 FR	>8
SMA 11	3-6
SMA 16	4-7

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir el contenido de huecos en áridos y el contenido de huecos rellenos, según el método de ensayo de la UNE-EN 12697-8 indicado en el anexo B de la UNE-EN 13108-20, siempre que por las características de los mismos o por su granulometría combinada, se prevean anomalías en la fórmula de trabajo. En tal caso, el contenido de huecos en áridos deberá ser mayor o igual al diecisiete por ciento ( $\geq 17\%$ ) y el contenido de huecos rellenos menor o igual al ochenta y tres por ciento ( $\leq 83\%$ ).

### 7.1.3 Resistencia a la deformación permanente

La resistencia a las deformaciones plásticas se determinará según la UNE-EN 12697-22, empleando el dispositivo pequeño, el procedimiento B en aire, a una temperatura de sesenta grados Celsius ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y con una duración de diez mil (10.000) ciclos. Las probetas se prepararán mediante compactador de placa, con el dispositivo de rodillo de acero, según la UNE-EN 12697-33, con una densidad superior al noventa y ocho por ciento (98%) de la obtenida en probetas cilíndricas preparadas según la UNE-EN 12697-30 aplicando cincuenta (50) golpes por cara.

La pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos de carga (mm para  $10^3$  ciclos de carga) será:

#### 7.1.3.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.5.1.3



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

7.1.3.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.5.1.3

7.1.3.3 *Mezclas tipo AC 8 FR*

La pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos de carga (mm para  $10^3$  ciclos de carga) será inferior a lo indicado en la tabla número 8:

TABLA 8 -PENDIENTE MEDIA DE DEFORMACIÓN EN PISTA EN EL INTERVALO DE 5000 A 10000 CICLOS. (mm para  $10^3$  ciclos de carga)

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2	T3, T4 y arcenes
RODADURA	CÁLIDA Y MEDIA	0,07		
	TEMPLADA	0,07	0,10	

7.1.3.4 *Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 5.1 del Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.

7.1.3.5 *Mezclas bituminosas tipo SMA*

La pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos de carga (mm para  $10^3$  ciclos de carga) será inferior a lo indicado en la tabla 9:

TABLA 9 -PENDIENTE MEDIA DE DEFORMACIÓN EN PISTA EN EL INTERVALO DE 5000 A 10000 CICLOS. (mm para  $10^3$  ciclos de carga)

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2	T3, T4 y arcenes
RODADURA	CÁLIDA Y MEDIA	0,07		
	TEMPLADA	0,07	0,10	



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

INTERMEDIA	CÁLIDA Y MEDIA	0,10
	TEMPLADA	

#### 7.1.4 Sensibilidad al agua

##### 7.1.4.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.5.1.4

##### 7.1.4.2 Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.5.1.4

##### 7.1.4.3 Mezclas tipo AC 8 FR

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Para ello, la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión realizado a quince grados Celsius (15º C), según la UNE-EN 12697-12, tendrá un valor mínimo del noventa por ciento (85%). Las probetas se compactarán según la UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara.

Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante hidrocarbonado mediante activantes directamente incorporados al ligante. En todo caso, la dotación mínima de ligante hidrocarbonado no será inferior a lo indicado en la tabla 3.

##### 7.1.4.4 Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 5.1 del Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.

##### 7.1.4.5 Mezclas bituminosas tipo SMA

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Para ello, la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión realizado a quince grados Celsius (15º C), según la UNE-EN 12697-12, tendrá un valor mínimo del noventa por ciento (90%). Las probetas se compactarán según la UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante hidrocarbonado mediante activantes directamente incorporados al ligante. En todo caso, la dotación mínima de ligante hidrocarbonado no será inferior a lo indicado en la tabla 5.

#### 7.1.5 *Escurrimiento del ligante*

##### 7.1.5.1 *Mezclas bituminosas tipo SMA*

Para las mezclas SMA deberá comprobarse que el escurrimiento del ligante determinado mediante el método de Schelleberg, recogido en la UNE-EN 12697-18, es inferior al tres por mil (0,3%).

## 7.2 Preparación de la superficie existente

Se comprobará la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la mezcla bituminosa en caliente. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto el Director de las Obras, indicará las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable antes de proceder a la extensión de la mezcla y, en su caso, a reparar zonas con algún tipo de deterioro.

La superficie existente, deberá cumplir lo indicado en las tablas 542.15 ó 542.16 del PG-3; si está constituida por un pavimento heterogéneo se deberán, además, eliminar mediante fresado los excesos de ligante y sellar las zonas demasiado permeables, según las instrucciones del Director de las Obras.

Sobre la superficie de asiento se ejecutará un riego de adherencia, según el artículo 531 del PG-3 y las instrucciones adicionales que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, teniendo especial cuidado de que dicho riego no se degrade antes de la extensión de la mezcla.

Se comprobará especialmente que, transcurrido el plazo de rotura del ligante de los tratamientos aplicados, no quedan restos de agua en la superficie; asimismo, si ha transcurrido mucho tiempo desde su aplicación, se comprobará que su capacidad de unión con la mezcla bituminosa no ha disminuido en forma perjudicial; en caso contrario, el Director de las Obras podrá ordenar la ejecución de un riego de adherencia adicional.

## 7.3 Aprovisionamiento de áridos

Los áridos se producirán o suministrarán en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas en frío.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Cada fracción será suficientemente homogénea y se podrá acopiar y manejar sin peligro de segregación. El número mínimo de fracciones será de tres (3).

Cada fracción del árido se acopiará separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán sus quince centímetros (15 cm) inferiores, a no ser que se pavimente aquél. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en la producción o en el suministro de los áridos, se acopiarán por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de un árido.

En el caso de obras pequeñas, con volumen total de áridos inferior a cinco mil metros cúbicos (5.000 m<sup>3</sup>), antes de empezar la fabricación deberá haberse acopiado la totalidad de los áridos.

En otro caso, el volumen mínimo a exigir será el treinta por ciento (30%) o el correspondiente a un (1) mes de producción máxima del equipo de fabricación.

## **7.4 Fabricación de la mezcla**

Lo dispuesto en este apartado se entenderá sin perjuicio de lo establecido en la serie normativa norma UNE EN 13108 para el mercado CE. No obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá establecer prescripciones adicionales, especialmente en el supuesto de no ser obligatorio o no disponer de marcado CE.

### *7.4.1 Incorporación de los áridos*

La carga de cada una de las tolvas de áridos en frío se realizará de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el cincuenta y el cien por cien (50 a 100%) de su capacidad, sin rebosar.

A la descarga del mezclador todos los tamaños del árido deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla, y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 7.4.2 Incorporación del NFU

##### 7.4.2.1 Vía húmeda

La fabricación del betún de alta viscosidad modificado con caucho se realizará in situ, disponiendo de una unidad de mezcla betún-caucho en la planta de fabricación de mezclas asfálticas que como mínimo estará provista de los siguientes dispositivos.

- Sistema de alimentación de caucho, que permitirá su dosificación con una tolerancia de  $\pm 1\%$  sobre el peso del betún caucho producido.
- Mezclador de alta velocidad para la fabricación
- Tanque de almacenamiento-regulación del betún caucho fabricado, provisto de:
  - un sistema calefactor que permita el control de la temperatura del betún caucho y un termómetro en lugar fácilmente accesible
  - un removedor que evite sedimentaciones o la flotación del caucho y los eventuales aditivos
  - un sistema de medida de la viscosidad, para detectar los cambios que se produzcan en el ligante durante su almacenamiento en el tanque
  - un sistema de toma de muestras, fácilmente accesible

Todos los tanques de la instalación estarán provistos de bocas de ventilación que impidan que el tanque trabaje a presión. Así mismo estarán calorifugados y dispondrán de su propio sistema de calefacción y termómetros fácilmente accesibles.

##### 7.4.2.2 Vía semi húmeda

El aditivo (polvo de NFU pre digerido con betún) se incorpora con los áridos. Se mezcla en seco 10 segundos. A continuación, se incorpora el betún y se mezcla un mínimo de 35 segundos.

##### 7.4.2.3 Vía seca

El polvo de NFU se incorpora con los áridos y el filler. Se mezcla en seco un mínimo de 5 segundos, en función del porcentaje de polvo NFU aportado. A continuación, se incorpora el betún y se mezcla un mínimo de 35 segundos.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### 7.4.3 Temperaturas de fabricación

La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada en la fórmula de trabajo, (aconsejándose que esté comprendida entre 170 y 175º C.)

### 7.5 Transporte de la mezcla

La mezcla bituminosa en caliente se transportará en camiones desde la central de fabricación a la extendedora. Para evitar su enfriamiento superficial, deberá protegerse durante el transporte mediante lonas u otros cobertores adecuados. En el momento de descargarla en la extendedora o en el grupo de transferencia, su temperatura no podrá ser inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

### 7.6 Extensión de la mezcla

A menos que el Director de las Obras justifique otra directriz, la extensión comenzará por el borde inferior, y se realizará por franjas longitudinales. La anchura de estas franjas se fijará de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la máxima continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la producción de la central.

En obras sin mantenimiento de la circulación, para las categorías de tráfico pesado T00 a T2 o con superficies a extender en calzada superiores a setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>), se realizará la extensión de cualquier capa bituminosa a ancho completo, trabajando si fuera necesario con dos (2) o más extendedoras ligeramente desfasadas, evitando juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se extenderá la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

La extendedora se regulará de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los planos del Proyecto, con las tolerancias establecidas en el apartado 9.2.

La extensión se realizará con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendedora a la producción de la central de fabricación de modo que aquella no se detenga.

En caso de detención, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

fórmula de trabajo para el inicio de la compactación; de lo contrario, se ejecutará una junta transversal.

Donde no resulte posible, a juicio del Director de las Obras, el empleo de máquinas extendedoras, la mezcla bituminosa en caliente podrá realizarse por otros procedimientos aprobados por aquél. Para ello se descargará fuera de la zona en que se vaya a extender, y se distribuirá en una capa uniforme y de un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los Planos del Proyecto, con las tolerancias establecidas en el apartado 9.2.

## 7.7 Compactación de la mezcla

### 7.7.1 *Para todos los tipos de mezcla*

Además de lo indicado para cada tipo de mezcla en los siguientes apartados, con carácter general y para todas ellas:

- El sistema de precompactación de la extendidora se dispondrá en su máximo nivel de compactación.
- La compactación solicitada debería conseguirse cuando la temperatura de la mezcla aún no haya disminuido de los 130 °C.
- La compactación de la mezcla deberá continuarse hasta que la temperatura de la mezcla disminuya de los 60 °C.

### 7.7.2 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.5.7.

### 7.7.3 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.5.7

### 7.7.4 *Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.

### 7.7.5 *Mezclas bituminosas tipo SMA y mezclas tipo AC 8 FR*

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras en función de los resultados del tramo de prueba, aunque el número de pasadas del compactador sin vibración, será siempre superior a seis (6) La compactación se



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

deberá hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo y sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida, y se continuará mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la mínima prescrita en la fórmula de trabajo y la mezcla se halle en condiciones de ser compactada, hasta que se cumpla el plan aprobado.

Con el fin de mantener la densidad de la tongada hasta que el aumento de la viscosidad del ligante contrarreste una eventual tendencia del caucho a recuperar su forma, se continuará obligatoriamente el proceso de compactación hasta que la temperatura de la mezcla baje de la mínima establecida en la fórmula de trabajo, aunque se hubiera alcanzado previamente la densidad especificada en el apartado 9.1.

La compactación se realizará longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla bituminosa se realizara 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.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora; los cambios de dirección se realizarán sobre mezcla ya apisonada, y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

## **7.8 Juntas transversales y longitudinales**

Siempre que sean inevitables, se procurará que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) las transversales, y quince centímetros (15 cm) las longitudinales.

Al extender franjas longitudinales contiguas, cuando la temperatura de la extendida en primer lugar no sea superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, el borde de esta franja se cortará verticalmente, dejando al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor. A continuación, se calentará la junta y se extenderá la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales en capas de rodadura se compactarán transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para el rodillo y se distanciarán en más de cinco metros (5m) las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 8 Tramo de prueba

---

### 8.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.6.

### 8.2 Otras mezclas para capas de rodadura

Se refiere aquí a las mezclas bituminosas tipo discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo AC 8 FR, mezclas tipo SMA y mezclas con alta viscosidad en caucho. Para todas ellas será de aplicación lo indicado en el apartado 543.6.

## 9 Especificaciones de la unidad terminada

---

### 9.1 Densidad

#### 9.1.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.7.1.

#### 9.1.2 Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.7.1

#### 9.1.3 Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho

Será de aplicación lo indicado en el apartado 7.1 del Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.

#### 9.1.4 Mezclas bituminosas tipo SMA y mezclas tipo AC 8 FR

La densidad no deberá ser inferior al 97% de la densidad de referencia, obtenida según lo indicado en 11.3.2.1.

### 9.2 Rasante, espesor y anchura

La superficie acabada no deberá diferir de la teórica en más de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura, ni de quince milímetros (15 mm) en las demás capas. El



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

espesor de una capa no deberá ser inferior al cien por cien (100%) del previsto para ella en la sección-tipo de los Planos de Proyecto.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la teórica deducida de la sección-tipo de los Planos de Proyecto.

Regularidad superficial

### 9.2.1 Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.7.3.

### 9.2.2 Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas, mezclas tipo SMA, mezclas tipo AC 8 FR y mezclas con alta viscosidad en caucho.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, y obtenido de acuerdo con lo indicado en 11.4 deberá cumplir lo fijado en la tabla 10 ó 11.

TABLA 10 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)  
PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	TIPO DE VÍA	
	CALZADAS DE AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS	RESTO DE VÍAS
50	< 1,5	< 1,5
80	< 1,8	< 2,0
100	< 2,0	< 2,5

TABLA 11 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)  
PARA FIRMES REHABILITADOS ESTRUCTURALMENTE

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	TIPO DE VÍA			
	CALZADAS DE AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS		RESTO DE VÍAS	
	ESPESOR DE RECRECIMIENTO			
	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10

Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
 Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

50	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 2,0
80	< 1,8	< 2,0	< 2,0	< 2,5
100	< 2,0	< 2,5	< 2,5	< 3,0

### 9.3 Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento

9.3.1 *Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 542.7.4.

9.3.2 *Mezclas bituminosas discontinuas para capas de rodadura delgadas.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 543.7.4.

9.3.3 *Mezclas tipo AC 8 FR*

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones.

Únicamente a efectos de recepción de capas de rodadura, la macrotextura superficial, según la UNE-EN 13036-1, y la resistencia al deslizamiento, según la NLT-336, deberán cumplir los límites establecidos en la tabla 12.

**TABLA 12 – MACROTEXTURA SUPERFICIAL Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA CAPAS DE RODADURA**

CARACTERÍSTICAS	EXIGENCIA
MACROTEXTURA (*) Valor mínimo (mm)	0,5
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (**) CRT mínimo (%)	60

(\*) Medida antes de la puesta en servicio de la capa.

(\*\*) Medida una vez transcurridos dos meses de la puesta en servicio de la capa.

9.3.4 *Mezclas para capa de rodadura urbanas con alta viscosidad en caucho.*

Será de aplicación lo indicado en el apartado 7.3 del Pliego para mezclas de rodadura urbanas con BMAVC-1.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

### 9.3.5 Mezclas bituminosas tipo SMA

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones.

Únicamente a efectos de recepción de capas de rodadura, la macrotextura superficial, según la UNE-EN 13036-1, y la resistencia al deslizamiento, según la NLT-336, deberán cumplir los límites establecidos en la tabla 13.

TABLA 13 – MACROTEXTURA SUPERFICIAL Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA CAPAS DE RODADURA

CARACTERÍSTICAS	EXIGENCIA
MACROTEXTURA (*) Valor mínimo (mm)	0,9
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (**) CRT mínimo (%)	60

(\*) Medida antes de la puesta en servicio de la capa.

(\*\*) Medida una vez transcurridos dos meses de la puesta en servicio de la capa.

## 10 Limitaciones de la ejecución

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), salvo si el espesor de la capa a extender fuera inferior a cinco centímetros (5 cm), en cuyo caso el límite será de ocho grados Celsius (8 °C). Con viento intenso, después de heladas, y especialmente sobre tableros de puentes y estructuras, el Director de las Obras podrá aumentar estos límites, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

Se podrá abrir a la circulación la capa ejecutada, tan pronto como alcance una temperatura de sesenta grados Celsius (60° C), evitando las paradas y cambios de dirección sobre la mezcla recién extendida hasta que ésta alcance la temperatura ambiente.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 11 Control de calidad

---

### 11.1 Control de procedencia de los materiales

En el caso de productos que deban tener el marcado CE según la Directiva 89/106/CEE, para el control de procedencia de los materiales, se llevará a cabo la verificación documental de que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE cumplen las especificaciones establecidas en el PG-3. No obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras, podrá disponer la realización de comprobaciones o ensayos adicionales sobre los materiales que considere oportunos, al objeto de asegurar las propiedades y la calidad establecidas en este artículo.

En el caso de productos que no dispongan de marcado CE, se deberían llevar a cabo obligatoriamente los ensayos para el control de procedencia que se indican en los apartados siguientes.

#### *11.1.1 Control de procedencia del ligante hidrocarbonado*

El ligante hidrocarbonado deberá cumplir las especificaciones establecidas en el apartado 211.2 o 212.2 de los artículos 211 ó 212 del PG-3, según el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear.

En el caso de la incorporación del NFU por vía húmeda, se controlará el ligante (betún más NFU) que se incorpora al mezclador por un procedimiento análogo al indicado en el apartado 212.2 del artículo 212 del PG-3, en cuanto a la documentación que debe acompañar al betún y su contenido.

#### *11.1.2 Control de procedencia del NFU tratado. Aditivos*

En el caso de la incorporación del NFU por vía semihúmeda (aditivos NFU pre digeridos con betún) se controlará la recepción del aditivo de acuerdo con lo indicado en la ficha técnica del fabricante.

#### *11.1.3 Control de procedencia del polvo de NFU para vía seca.*

En el caso de la incorporación de polvo de NFU por vía seca se comprobará en la recepción la granulometría, de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.2.3 de este documento.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

#### *11.1.4 Control de procedencia de los áridos*

Si los áridos a emplear disponen del marcado CE, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia de los áridos no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de lo que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares ni de las facultades que corresponden el Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el párrafo anterior, de cada procedencia de árido, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada fracción de ellas se determinará:

- El coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.
- El coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso para capas de rodadura, según la UNE 1097-8.
- La densidad relativa y absorción del árido grueso y del árido fino, según la UNE-EN 1097-6.
- La granulometría de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.
- El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según el anexo A de la UNE-EN 933-9.
- La proporción de caras de fractura de las partículas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.
- La proporción de impurezas del árido grueso, según el anexo C de la UNE 146130.
- El índice de lajas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.

#### *11.1.5 Control de procedencia del polvo mineral de aportación*

Si el polvo mineral, a emplear, dispone de marcado CE, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia de los áridos no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de lo que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares ni de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el párrafo anterior, de cada procedencia de polvo mineral de aportación, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y con ellas se determinará la densidad aparente, según el anexo A de la UNE-EN 1097-3, y la granulometría, según la UNE-EN 933-10.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 11.2 Control de calidad de los materiales

### 11.2.1 Control de calidad de los ligantes hidrocarbonados

El ligante hidrocarbonado deberá cumplir las especificaciones establecidas en el apartado 211.2 o 212.2 de los artículos 211 ó 212 del PG-3, según el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear.

En el caso de optarse por la vía húmeda el control de calidad del ligante (betún más NFU) que se incorpora al mezclador, se seguirá un procedimiento análogo al establecido en el apartado 215.5 del artículo 215 del PG-3.

### 11.2.2 Control de calidad de los áridos

Se examinará la descarga al acopio o alimentación de tolvas en frío, desechando los áridos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo. Se acopiarán aparte aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lascas, plasticidad, etc. y se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus separadores y los accesos a los mismos.

Con cada fracción de árido que se produzca o reciba, se realizarán los siguientes ensayos:

#### **Con la misma frecuencia de ensayo que la indicada en la tabla 14**

- Análisis granulométrico de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.
- Según lo que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto el Director de las Obras, equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según el anexo A de la UNE-EN 933-9.

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

- Índice de lascas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.
- Proporción de caras de fractura de las partículas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.
- Proporción de impurezas del árido grueso, según el anexo C de la UNE 146130.

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

- Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

- Coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso para capas de rodadura, según la UNE EN 1097-8.
- Densidad relativa y absorción del árido grueso y del árido fino, según la UNE-EN 1097-6.

Para los áridos que tengan marcado CE, la comprobación de estas cuatro últimas propiedades de los áridos podrá llevarse a cabo mediante la verificación documental de los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE. No obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras podrá disponer la realización de comprobaciones o ensayos adicionales sobre estas propiedades si lo considera oportuno.

#### *11.2.3 Control de calidad del aditivo (polvo de NFU pre digerido con betún)*

En el caso del aditivo (NFU pre digerido con betún), sobre cada partida que se reciba se realizarán los siguientes ensayos:

- Densidad aparente, según la UNE-EN 1097-6.
- Análisis granulométrico, según la UNE-EN 933-10.

#### *11.2.4 Control de calidad del polvo NFU para vía seca.*

TABLA 1. Se comprobará sobre cada partida que se reciba se realizarán los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico, según la UNE-EN 933-10.

#### *11.2.5 Control de calidad del polvo mineral*

En el caso de polvo mineral de aportación, sobre cada partida que se reciba se realizarán los siguientes ensayos:

- Densidad aparente, según el anexo A de la UNE-EN 1097-3.
- Análisis granulométrico del polvo mineral, según la UNE-EN 933-10.

Para el polvo mineral que no sea de aportación se realizarán los siguientes ensayos:

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

- Densidad aparente, según el anexo A de la UNE-EN 1097-3.

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

- Análisis granulométrico del polvo mineral, según la UNE-EN 933-10.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 11.3 Control de ejecución

### 11.3.1 Fabricación

En el caso de que el producto disponga de marcado CE según la Directiva 89/106/CEE, se llevará a cabo la verificación documental de que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE cumplen las especificaciones establecidas en el PG-3. No obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras, podrá disponer la realización de comprobaciones o ensayos adicionales sobre los materiales que considere oportunos, al objeto de asegurar las propiedades y la calidad establecidas en este artículo.

Se tomará diariamente un mínimo de dos (2) muestras, según la UNE-EN 932-1, una por la mañana y otra por la tarde, de la mezcla de áridos en frío antes de su entrada en el secador, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del árido combinado, según la UNE-EN 933-1.
- Equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según el anexo A de la UNE-EN 933-9, del árido combinado.

En centrales de mezcla continua se calibrará diariamente el flujo de la cinta suministradora de áridos, deteniéndola cargada de áridos y recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida.

Se tomará diariamente al menos una (1) muestra de la mezcla de áridos en caliente, y se determinará su granulometría, según la UNE-EN 933-1, que cumplirá las tolerancias indicadas en este apartado. Al menos semanalmente, se verificará la precisión de las básculas de dosificación, y el correcto funcionamiento de los indicadores de temperatura de los áridos y del ligante hidrocarbonado.

Si la mezcla bituminosa dispone de marcado CE, los criterios establecidos en los párrafos precedentes para realizar el control de fabricación no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de lo que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares ni de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

Para todas las mezclas, se tomarán muestras a la descarga del mezclador, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

### **A la salida del mezclador o silo de almacenamiento, sobre cada elemento de transporte:**

- Control del aspecto de la mezcla, y medición de su temperatura. Se rechazarán todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

con espuma y aquéllas cuya envuelta no fuera homogénea; en centrales cuyo tambor no sea a la vez mezclador, también las mezclas que presenten indicios de humedad; y en las demás centrales, las mezclas cuya humedad sea superior al uno por ciento (1%) en masa, del total. En estos casos de presencia de humedad excesiva, se retirarán los áridos de los correspondientes silos en caliente.

- Se tomarán muestras de la mezcla fabricada y se determinará sobre ellas la dosificación de ligante, según UNE-EN 12697-1 y la granulometría de los áridos extraídos, según la UNE-EN 12697-2, con la frecuencia de ensayo indicada en la tabla 14, correspondiente al nivel de control X definido en el anexo A de la norma UNE-EN 13108-21 y al nivel de conformidad (NCF) determinado por el método del valor medio de cuatro (4) resultados definido en ese mismo anexo.

TABLA 14- FRECUENCIA MÍNIMA DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS EXTRAIDOS Y CONTENIDO DE LIGANTE  
(toneladas/ensayo)

NIVEL DE FRECUENCIA	NCF A	NCF B	NCF C
X	600	300	150

Las tolerancias admisibles, en más o en menos, respecto a la granulometría de la fórmula de trabajo serán las siguientes, referidas a la masa total de áridos (incluido el polvo mineral):

- Tamices superiores al 2 mm de la norma UNE-EN 933-2:  $\pm 4\%$
- Tamiz 2 mm de la norma UNE-EN 933-2:  $\pm 3\%$
- Tamices comprendidos entre el 2 mm y el 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2:  $\pm 2\%$
- Tamiz 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2:  $\pm 1\%$

La tolerancia admisible, en más o en menos, respecto de la dotación de ligante hidrocarbonado de la fórmula de trabajo será del tres por mil ( $\pm 0,3\%$ ) en masa del total de mezcla bituminosa (incluido el polvo mineral), sin bajar de los mínimos especificados en 5.

En el caso de mezclas que dispongan de marcado CE, se llevará a cabo la comprobación documental de que los valores declarados en los documentos que



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

acompañan al marcado CE cumplen las especificaciones establecidas en estas Recomendaciones y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto. No obstante, el Director de las Obras podrá disponer la realización de las comprobaciones o de los ensayos adicionales que considere oportunos. En ese supuesto, deberá seguirse lo indicado en los párrafos siguientes.

En el caso de mezclas que no dispongan de marcado CE, para las categorías de tráfico pesado T00 a T31 se deberán llevar a cabo obligatoriamente los ensayos adicionales de las características de la mezcla que se indican a continuación, con las mismas probetas y condiciones de ensayo que las establecidas en 7.1 y con la frecuencia de ensayo que se indica en la tabla 15.

- Resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de pista de laboratorio, según UNE-EN 12697-22.
- Escurrimiento del ligante, según UNE-EN 12797-18.
- Contenido de huecos según la norma UNE-EN 12697-8
- Sensibilidad al agua según la norma UNE-EN 12697-12

TABLA 15- FRECUENCIA MINIMA DE ENSAYO PARA ENSAYOS ADICIONALES DE CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

NIVEL DE CONFORMIDAD	FRECUENCIA DE ENSAYO
NCF A	Cada 8000 t
NCF B	Cada 4000 t
NCF C	Cada 2000 t

Cuando se cambien el suministro o la procedencia, o cuando el Director de las Obras lo considere oportuno para asegurar alguna característica relacionada con la adhesividad y cohesión de la mezcla, se determinará la resistencia conservada a tracción indirecta tras inmersión según la norma UNE-EN 12697-12.

### 11.3.2 Puesta en obra

#### 11.3.2.1 Extensión

Antes de verter la mezcla del elemento de transporte en la tolva de la extendedora o en el equipo de transferencia, se comprobará su aspecto y se medirá su temperatura, así como la temperatura ambiente para tener en cuenta las limitaciones que se fijan en el apartado 10 de estas Recomendaciones.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Al menos una (1) vez al día, y al menos una (1) vez por lote, se tomarán muestras y se prepararán probetas según la norma UNE-EN 12697-30 aplicando 50 golpes por cara. Sobre esas probetas se determinará el contenido de huecos, según la norma UNE-EN 12697-8, y la densidad aparente, según la norma UNE-EN 12697-6 con el método de ensayo indicado en el anexo B de la norma UNE-EN 13108-20.

Se considerará como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del apartado 11.4.

Para cada uno de los lotes, se determinará la densidad de referencia para la compactación, definida por el valor medio de los últimos cuatro (4) valores de densidad aparente obtenidos en las probetas mencionadas anteriormente.

A juicio del Director de las Obras se podrán llevar a cabo sobre algunas de estas muestras, ensayos de comprobación de la dosificación de ligante, según la norma UNE-EN 12697-1, y de la granulometría de los áridos extraídos, según la norma UNE-EN 12697-2.

Se comprobará, con la frecuencia que establezca el Director de las Obras, el espesor extendido, mediante un punzón graduado.

#### 11.3.2.2 *Compactación*

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

- Que el número y tipo de compactadores son los aprobados.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación, limpieza y protección.
- El lastre y peso total de los compactadores.
- El número de pasadas de cada compactador.

Al terminar la compactación, se medirá la temperatura en la superficie de la capa.

### **11.4 Control de recepción de la unidad terminada**

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

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



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Se extraerán testigos en puntos aleatoriamente situados, en número no inferior a cinco (5), y se determinarán su densidad y espesor.

Se controlará 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, calculando un solo valor del IRI para cada hectómetro del perfil auscultado, que se asignará a dicho hectómetro, y así sucesivamente hasta completar el tramo medido que deberá cumplir lo especificado en el apartado 9.3. La comprobación de la regularidad superficial de toda la longitud de la obra, en capas de rodadura, tendrá lugar además antes de la recepción definitiva de las obras.

En capas de rodadura, se realizarán los ensayos siguientes, que deberán cumplir lo establecido en el apartado 9.4 de estas Recomendaciones.

- Medida de la macrotextura superficial, según la UNE-EN 13036-1, antes de la puesta en servicio de la capa, en cinco (5) puntos del lote aleatoriamente elegidos de forma que haya al menos uno por hectómetro (1/hm).
- Determinación de la resistencia al deslizamiento, según la NLT-336, una vez transcurridos dos (2) meses de la puesta en servicio de la capa, en toda la longitud del lote.

## 12 Criterios de aceptación o rechazo

---

### 12.1 Densidad

La densidad media obtenida en el lote, según lo indicado en el apartado 11.4, no deberá ser inferior a la especificada en el apartado 9.1 y además, no más de dos (2) muestras podrán presentar resultados individuales inferiores al noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad de referencia.

Si la densidad media de mezcla obtenida es inferior a la especificada en el apartado 9.1, se procederá de la siguiente manera:

- Si la densidad media de mezcla obtenida es inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de la especificada, se levantará la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado mediante fresado y se repondrá por cuenta del Contratista.
- Si la densidad media de mezcla obtenida no es inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de la especificada, se aplicará una penalización económica del



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

diez por ciento (10%) a la capa de mezcla bituminosa correspondiente al lote controlado.

## 12.2 Espesor

El espesor medio por lote no deberá ser en ningún caso inferior al previsto en los planos del proyecto, y, además, no más de dos (2) muestras podrán presentar resultados individuales inferiores al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor especificado. Si el espesor medio obtenido en una capa fuera inferior al especificado en el apartado 9.2, se procederá de la siguiente manera:

Si el espesor medio obtenido en la capa de rodadura fuera inferior al especificado en el apartado 9.2, se rechazará la capa debiendo el Contratista por su cuenta levantar la capa mediante fresado y reponerla.

## 12.3 Regularidad superficial

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 9.3, se demolerá el lote, se retirará y se extenderá una nueva capa por cuenta del Contratista.

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada en tramos uniformes y continuos, con longitudes superiores a dos kilómetros (2 km), mejoran los límites establecidos en el apartado 9.3, y cumplen los valores de la tabla 16a ó 16b, según corresponda, se podrá incrementar el abono de mezcla bituminosa según lo indicado en el apartado 13.

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 9.3, se demolerá el lote, se retirará y se extenderá una nueva capa por cuenta del Contratista.

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada en tramos uniformes y continuos, con longitudes superiores a dos kilómetros (2 km), mejoran los límites establecidos en el apartado 9.3, y cumplen los valores de la tabla 16a ó 16b, según corresponda, se podrá incrementar el abono de mezcla bituminosa según lo indicado en el apartado 13.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

TABLA 16a-ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)(dm/hm) PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN, CON POSIBILIDAD DE ABONO ADICIONAL

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	TIPO DE VÍA	
	CALZADAS DE AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS	RESTO DE VÍAS
50	< 1,0	< 1,0
80	< 1,2	< 1,5
100	< 1,5	< 2,0

TABLA 16b - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm) PARA FIRMES REHABILITADOS ESTRUCTURALMENTE

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	TIPO DE VÍA		
	CALZADAS DE AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS		RESTO DE VÍAS
	ESPESOR DE RECRECIDO		
	>10	≤ 10	
50	< 1,0	< 1,0	< 1,0
80	< 1,2	< 1,5	< 1,5
100	< 1,5	< 1,8	< 2,0

## 12.4 Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento

En capas de rodadura, el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial no deberá resultar inferior al valor previsto en el apartado 9.4. No más de un (1) individuo de la muestra ensayada podrá presentar un resultado individual inferior a dicho valor en más del veinticinco por ciento (25%) del mismo.

Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta inferior al valor previsto en el apartado 9.4, se procederá de la siguiente manera:



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

- Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta superior al noventa por ciento (90%) del valor previsto, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).
- Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta inferior al noventa por ciento (90%) del valor previsto, se extenderá una nueva capa de rodadura por cuenta del Contratista.

En capas de rodadura, el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento no deberá ser en ningún caso inferior al valor previsto. No más de un cinco por ciento (5%) de la longitud total medida de cada lote podrá presentar un resultado individual inferior a dicho valor en más de cinco unidades (5).

Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta inferior al valor previsto, se procederá de la siguiente manera:

- Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta superior al noventa y cinco por ciento (95%) del valor previsto, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).
- Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta inferior al noventa y cinco por ciento (95%) del valor previsto, se extenderá una nueva capa de rodadura por cuenta del Contratista.

## 13 Medición y abono

---

Únicamente cuando la capa de asiento no fuera construida bajo el mismo Contrato, se podrá abonar la comprobación y, en su caso, reparación de la superficie existente, por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) realmente ejecutados.

En el resto de los casos, la preparación de la superficie existente no es objeto de abono ni se incluirá en esta unidad de obra. El riego de adherencia se abonará según lo prescrito en el artículo 531, riegos de adherencia, del PG-3.

La fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente se abonará por toneladas (t), según su tipo, medidas multiplicando las anchuras señaladas para cada capa en los Planos, por los espesores medios y densidades medias deducidas de los ensayos de control de cada lote. En dicho abono se considerará incluido el de los áridos, incluido el procedente de reciclado de mezclas bituminosas, si los hubiere, y el del polvo mineral. No serán de abono las creces laterales, ni los aumentos de espesor por corrección de mermas en capas subyacentes.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

Para áridos con peso específico superior a tres gramos por centímetro cúbico, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá establecer, también, el abono por unidad de superficie, con la fijación de unos umbrales de dotaciones o espesores, de acuerdo con lo indicado en este artículo.

Si el árido grueso empleado, además de cumplir todas y cada una de las prescripciones especificadas en el apartado 4.3.2 de este artículo, tuviera un valor del coeficiente de pulimento acelerado, según UNE-EN 1097-8, superior en cuatro (4) puntos al mínimo especificado en estas Recomendaciones para la categoría de tráfico que corresponda, se abonará una unidad de obra definida como metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de incremento de calidad de áridos en capa de rodadura y cuyo importe será el diez por ciento (10%) del abono de unidad de superficie de mezcla bituminosa, siendo condición para ello que esta unidad de obra esté incluida en el Presupuesto del Proyecto.

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada mejoran los valores especificados en estas Recomendaciones, según los criterios del apartado 12.3 se abonará una unidad de obra definida como metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de incremento de regularidad superficial en capa de rodadura y cuyo importe será el cinco por ciento del abono de unidad de superficie de mezcla bituminosa, siendo condición para ello que esta unidad de obra esté incluida en el Presupuesto del Proyecto.

El ligante hidrocarbonado empleado en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente se abonará por toneladas (t), obtenidas multiplicando la medición abonable de fabricación y puesta en obra, por la dotación media de ligante deducida de los ensayos de control de cada lote. En ningún caso será de abono el empleo de activantes o aditivos, así como tampoco el ligante residual del material reciclado de mezclas bituminosas, si lo hubiere.

El polvo mineral de aportación y las adiciones a la mezcla bituminosa, sólo se abonarán si lo prevé explícitamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y el Cuadro de Precios del Proyecto. Su abono se hará por toneladas (t), obtenidas multiplicando la medición abonable de fabricación y puesta en obra de cada lote, por la dotación media en la mezcla resultante.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## 14 Especificaciones técnicas y distintivos de calidad

---

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

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

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



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

## **NORMAS REFERIDAS EN ESTAS RECOMENDACIONES**

---

NLT-326 Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras (Método del tanque).

NLT-330 Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.

NLT-336 Determinación de la resistencia al deslizamiento con el equipo de medida del rozamiento transversal.

UNE 146130 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.

UNE-EN 932-1 Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.

UNE-EN 933-1 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.

UNE-EN 933-2 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal

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 933-5 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.

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 933-10 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 10: Evaluación de finos. Granulometría de los filleres (tamizado en corriente de aire)

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 1097-3 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 3: Determinación de la densidad aparente y la porosidad.



Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

UNE-EN 1097-6 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.

UNE-EN 1097-8 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

UNE-EN 1744-3 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 3: Preparación de eluatos por lixiviación de áridos.

UNE-EN 12591 Betunes y ligantes bituminosos. Especificaciones de betunes para pavimentación.

UNE-EN 12697-1 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.

UNE-EN 12697-2 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas.

UNE-EN 12697-6 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 6: Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas por el método hidrostático.

UNE-EN 12697-8 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 8: Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas.

UNE-EN 12697-12 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa.

UNE-EN 12697-18 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 18: Ensayo de escurrimiento de ligante.

UNE-EN 12697-22 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura.

UNE-EN 12697-30 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 30: Preparación de la muestra mediante compactador de impactos.

UNE-EN 12697-33 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placa.

UNE-EN 13108-5 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas tipo SMA

UNE-EN 13108-20 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayos de tipo.



---

**Departamento de Arquitectura e Infraestructuras**  
**Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras**

UNE-EN 13108-21 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 21:  
Control de producción de fábrica.

UNE-EN 13036-1 Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos  
de ensayo. Parte 1: Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del  
pavimento mediante el método volumétrico.



---

Departamento de Arquitectura e Infraestructuras  
Servicio de Proyectos y Obras de Infraestructuras

**ANEJO. ARTÍCULOS 542 Y 543 DEL PG-3 Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS CON BETÚN MODIFICADO DE ALTA VISCOSIDAD CON CAUCHO PROCEDENTE DE LA TRITURACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (TIPO 1, BMAVC-1), EMPLEADAS EN CAPAS DE RODADURA URBANAS**

---