

ORDEN CIRCULAR 10/2002 SOBRE SECCIONES DE FIRME Y CAPAS ESTRUCTURALES DE FIRMES

En los proyectos de carreteras de nueva construcción para el dimensionamiento del firme es de aplicación la Instrucción 6.1 y 2-IC de Secciones de firme, aprobada por Orden de 23 de mayo de 1989 del entonces Ministro de Obras Públicas y Urbanismo. La revisión de la citada norma parece aconsejable por una serie de razones, entre las que se pueden resaltar las siguientes:

- ▶ Aunque el tiempo transcurrido desde la aprobación de la norma no ha sido demasiado, la evolución técnica en materia de firmes y pavimentos y de sus materiales constituyentes, así como la experiencia acumulada en la aplicación de aquélla, a través del comportamiento observado en los tramos de carretera construidos desde entonces, hace conveniente la revisión de algunos criterios de dimensionamiento contenidos, implícita o explícitamente, en ella.
- ▶ Se ha producido un importante crecimiento del tráfico de vehículos pesados, especialmente en los tramos de carreteras de alta capacidad localizados en las inmediaciones de las grandes ciudades. Ello ha llevado a incorporar una categoría de tráfico pesado más para el caso de intensidades medias diarias de vehículos pesados (IMDp) en el carril de proyecto iguales o superiores a 4 000.
- ▶ El desarrollo de algunas importantes y significativas técnicas constructivas y de nuevos materiales, de los que se tiene ya una suficiente experiencia, muy especialmente en el proyecto y construcción de las explanadas y de las capas de rodadura.
- ▶ En relación con lo anterior, la necesidad de revisar las soluciones de explanada, para poder tener las mayores garantías en cuanto a uniformidad estructural, durabilidad e insensibilidad al agua; en especial se han considerado prioritarias las soluciones basadas, sobre todo para las explanadas de mayor capacidad de soporte, en la técnica de la estabilización de suelos con conglomerantes hidráulicos.

Por otro lado, por Orden de 6 de febrero de 1976, del entonces Ministro de Obras Públicas, se aprobó el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Las especificaciones relativas a suelos esta-

bilizados con cemento en central y gravacemento no han sido objeto de modificación desde esa fecha.

Las especificaciones sobre zahorra natural y zahorra artificial fueron objeto de revisión y las relativas a hormigón magro vibrado de normalización mediante la inclusión del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de dichas unidades de obra como anejo de la Orden, de 31 de julio de 1986, del entonces Ministro de Obras Públicas y Urbanismo, que aprobó la Instrucción de la Dirección General de Carreteras sobre secciones de firme en autovías (derogada en 1989).

Las especificaciones relativas a suelos estabilizados in situ con cal y con cemento fueron objeto de una revisión mediante la Orden Circular 297/88 T, de 28 de marzo. Dicha Orden Circular recomendaba su aplicación en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de las obras a realizar a partir de ese momento.

El tiempo transcurrido desde la aprobación de las especificaciones vigentes y de las citadas revisiones, así como la evolución tecnológica en la construcción de capas de firmes y pavimentos, y la experiencia acumulada en la aplicación de nuevos materiales y unidades de obra, aconsejan una revisión de los artículos correspondientes a las unidades de obra mencionadas.

De la lectura del Anejo 2 que acompaña a esta Orden Circular se puede apreciar que no son muchos los conceptos y prescripciones nuevos incluidos en las unidades de obra que han sido adaptadas a lo largo de los últimos años. No obstante, se ha pretendido unificar y agrupar criterios que se han venido estableciendo mediante sucesivas notas de servicio o notas técnicas.

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

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

Mientras que la nueva Norma 6.1-IC de Secciones de firme supera los trámites para su aprobación, es urgente disponer de una normativa puesta al día y adaptada a los problemas específicos de las redes de carreteras, y de forma más significativa de las de alta capacidad.

Con objeto de resolver estas carencias hasta tanto se proceda a la aprobación en los términos indicados en los párrafos anteriores de la futura Norma 6.1-IC de Secciones de firme que sustituya a la actualmente vigente, esta Dirección General ha decidido que, para los proyectos de carreteras, se siga lo indicado en el texto del Anejo 1 que acompaña a esta Orden Circular.

Por los mismos motivos anteriores, mientras que los artículos en fase de aprobación del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), incluyendo los del Anejo 2 de esta Orden Circular, superan la tramitación en el ámbito europeo y son aprobados por el Ministro de Fomento, es necesario emplear unas prescripciones puestas al día.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la Dirección General de Carreteras ha dispuesto lo siguiente:

1. Aprobar el documento "Secciones de firme", cuyo texto acompaña como Anejo 1 a esta Orden Circular.
2. Aprobar el documento "Capas estructurales de firmes", cuyo texto acompaña como Anejo 2 a esta Orden Circular, para su utilización en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de los proyectos de las obras de carreteras, que incluye los artículos:
 - ▶ Artículo 510 - Zahorras
 - ▶ Artículo 512 - Suelos estabilizados in situ
 - ▶ Artículo 513 - Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)
 - ▶ Artículo 551 - Hormigón magro vibrado

en sustitución: el artículo 510 de los artículos 500 y 501 aprobados por Orden Ministerial de 31 de julio de 1986; el artículo 512 de los artículos 510 y 511 de la Orden Circular 297/88 T; el artículo 513 de los artículos 512 y 513 aprobados por Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976, y el artículo 551 del artículo 517 del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares relativo a hormigón magro, incluido en el anejo de la Orden Ministerial de 31 de julio de 1986.

3. Definir como ámbito de aplicación de esta Orden Circular y de los dos anejos que la acompañan, los siguientes tipos de proyectos, obras y actuaciones en general:
 - ▶ El Anejo 1 y el Anejo 2, a proyectos de firmes de nueva construcción, de acondicionamiento, o de reconstrucción total de firmes existentes en las carreteras cuya Orden de Estudio se autorice, o el proyecto se encuentre en fase de redacción, con posterioridad a la fecha de entrada en vigor de esta Orden Circular.
 - ▶ El Anejo 2, además, en otros tipos de proyectos y obras -incluso de rehabilitación estructural- cuya Orden de Estudio se autorice con posterioridad a la fecha de entrada en vigor de esta Orden Circular.
 - ▶ En el caso de obras en fase de licitación o adjudicadas, se elevará consulta a la Subdirección General de Construcción o a la de Conservación y Explotación de esta Dirección General, según corresponda, acerca de la conveniencia de proceder a modificar el contrato para adecuarlo a lo previsto en esta Orden Circular.
4. Esta Orden Circular entrará en vigor a partir del día 15 de octubre de dos mil dos.

Madrid, 30 de septiembre de 2002
EL DIRECTOR GENERAL DE
CARRETERAS,

Fdo.: Antonio J. Alonso Burgos

ANEJO 1:
SECCIONES DE FIRME
(Norma 6.1-IC)

ÍNDICE

1	PREÁMBULO	5
2	OBJETO	7
3	ÁMBITO DE APLICACIÓN	9
4	CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO	11
5	EXPLANADA	13
5.1	Formación de la explanada	13
5.2	Materiales para la explanada	16
6	SECCIONES DE FIRME	17
6.1	Catálogo de secciones de firme	17
6.2	Materiales para las secciones de firme	20
7	ARCENES	27
7.1	Categorías de tráfico pesado T00 a T1	28
7.2	Categoría de tráfico pesado T2 y T31	29
7.3	Categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42).....	30
8	JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	31
8.1	Juntas longitudinales.....	31
8.2	Juntas transversales	31
9	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	33
10	DEFINICIONES	35

1 PREÁMBULO

El tiempo transcurrido desde la publicación de la Orden Ministerial de 23 de mayo de 1989 por la que se aprobó la Instrucción 6.1 y 2-IC sobre Secciones de firme, la experiencia recogida sobre su aplicación, la significativa evolución del tráfico y la reciente actualización de las especificaciones técnicas de los materiales para la construcción de explanadas, firmes y pavimentos de carreteras hacen que resulte oportuna su revisión. Por ello esta norma tiene por objeto la modificación de la denominada Instrucción 6.1 y 2-IC de Secciones de firme para adecuarla a las actuales condiciones de tráfico, así como al desarrollo experimentado por las técnicas de construcción vial.

Entre las modificaciones más significativas de esta norma con respecto a la anterior se pueden señalar las siguientes:

- ▶ La consideración de una nueva categoría de tráfico pesado T00 y la división en dos categorías, tanto de la categoría de tráfico pesado T3 como de la T4.
- ▶ El establecimiento de un nuevo cuadro de formación de explanadas, con soluciones de mayor garantía y más homogéneas que las que recoge la normativa hasta ahora vigente, y la apuesta decidida por el empleo de las estabilizaciones de suelos con conglomerantes hidráulicos.
- ▶ Un catálogo de secciones de firme que reduce los tipos de secciones, eliminando materiales y secciones estructurales que han demostrado un comportamiento inadecuado para ciertas combinaciones de categorías de tráfico pesado y de explanada.
- ▶ Además de las consideraciones anteriores, basadas en la experiencia acumulada por la gran longitud de carreteras de nueva construcción realizada en los últimos años, para establecer las distintas secciones de firme y la categoría de explanada se han aplicado procedimientos analíticos para comprobar, ajustar, comparar y armonizar las secciones propuestas.
- ▶ Con las nuevas secciones se ha buscado asegurar que la capacidad estructural sea semejante en todas las integradas en la misma categoría de tráfico pesado y de explanada, así como un aumento de la durabilidad y la vida de servicio respecto a las hasta ahora normalizadas. Como orden de magnitud puede considerarse que la vida de servicio teórica de las nuevas secciones estructurales, evaluada mediante procedimientos analíticos, es del orden del doble de las contenidas en la norma anterior, en las categorías de tráfico pesado altas (T00 a T1) y medias (T2 y T31). Con ello se pretende que la vida útil real de los firmes se aproxime más al período de proyecto establecido teóricamente.

- ▶ La incorporación de nuevos materiales en el diseño de los firmes, entre los que cabe señalar las mezclas bituminosas de alto módulo y las mezclas bituminosas de granulometría discontinua en caliente. Además se establece la obligatoriedad de emplear pavimentos continuos de hormigón armado cuando se opte por firmes rígidos en las categorías de tráfico pesado T00 y T0.
- ▶ En las carreteras con categorías de tráfico pesado T00 a T31, los arcenes estarán pavimentados por motivos de seguridad de la circulación. La capa de rodadura de estos arcenes será ejecutada en toda la anchura de su sección transversal, al objeto de evitar un escalonamiento continuo, como ocurre en algunas de las soluciones contempladas en la norma hasta ahora vigente.
- ▶ Desaparece la disposición tradicional de colocar sobre la explanada una capa de zahorra natural como subbase de los firmes. Esta desaparición está motivada por dos razones: por una parte su escasa aportación estructural al firme, cuando se construyen capas de 20 a 25 cm, tal como recoge la norma anterior y, por otra parte, por cuestiones ambientales, pues actualmente es prácticamente imposible disponer de zonas de préstamo que permitan la obtención de materiales que satisfagan las prescripciones técnicas de las zahorras naturales.

2 OBJETO

El objeto de esta Norma de Secciones de firme es el establecimiento de los criterios básicos que deben ser considerados en el proyecto de los firmes de carreteras de nueva construcción. Para ello se presenta una metodología de proyecto que pretende facilitar y simplificar la labor del ingeniero proyectista, acompañada de unas secciones de firme contrastadas por la experiencia y comprobadas mediante métodos analíticos avalados por la práctica actual.

Las secciones estructurales propuestas están recogidas en un catálogo que ofrece diferentes soluciones, entre las que se deberá seleccionar en cada caso la más adecuada, dependiendo de las tecnologías constructivas y de los materiales disponibles, así como de los aspectos funcionales y estructurales. Además se deberá incorporar un estudio de los costes de construcción y de conservación, junto a la consideración de aspectos relacionados con la protección ambiental, de manera que la solución elegida quede plenamente justificada.

También para facilitar la labor del ingeniero proyectista se incluye un cuadro de soluciones para la formación de la explanada, en el que los aspectos relativos al máximo aprovechamiento de los materiales disponibles en la traza son inexcusables, al objeto de optimizar técnica, económica y ambientalmente la solución proyectada. En relación con esto, se encarece especialmente a los ingenieros proyectistas de firmes para que centren su atención en la selección de las explanadas y de las secciones estructurales más adecuadas entre las posibles, dependiendo de las disponibilidades reales en la traza de suelos para la explanada y de materiales para las capas del firme.

Asimismo, los ingenieros deben también estudiar especialmente en la fase de proyecto los yacimientos y las zonas de extracción de los áridos susceptibles de ser empleados en las capas de rodadura.

3 ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta norma será de aplicación a los proyectos de firmes de carreteras de nueva construcción y de acondicionamiento de las existentes. Salvo justificación en contrario, también se aplicará a la reconstrucción total de firmes; no será aplicable, en cambio, a pavimentos sobre puentes ni en túneles.

Tampoco será aplicable en los proyectos de rehabilitación superficial o estructural de los firmes y pavimentos de las carreteras en servicio, en los que se seguirá lo establecido en la Norma 6.3-IC de Rehabilitación de firmes.

Esta norma sólo será válida en los supuestos considerados en cada apartado. En otro caso deberán justificarse las soluciones adoptadas, manteniendo en lo posible los principios y recomendaciones que se dan para garantizar una razonable equivalencia estructural de las secciones.

Sólo en casos muy justificados, y para las categorías de tráfico pesado T2 y T31 (apartado 4), se podrá aplazar la construcción del pavimento definitivo, siempre y cuando la sección de firme inicialmente construida resulte estructuralmente adecuada y se la dote de una capa de rodadura. Para ello deberá recabarse autorización expresa a la Dirección General de Carreteras.

En los proyectos de carreteras situadas a una altitud superior a 1500 m se comprobará, mediante un estudio especial, que la explanada y el drenaje subterráneo son los adecuados para evitar la formación de lentejones de hielo debajo del firme, ajustándose en lo demás a esta norma.

Junto a las especificaciones que se recogen en esta norma se establecerán las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que en materia ambiental y de seguridad y salud estuviera vigente en cada momento.

4 CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

La estructura del firme, depende, entre otros factores, de la acción del tráfico, fundamentalmente del tráfico pesado, durante el período de proyecto del firme. Por ello, la sección estructural del firme dependerá en primer lugar de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. Dicha intensidad se utilizará para establecer la categoría de tráfico pesado.

Se partirá de los aforos de intensidades, de la proporción de vehículos pesados y de los datos disponibles para la previsión de su evolución. Se tendrá en cuenta especialmente el tráfico inducido y el generado en los meses siguientes a la puesta en servicio, ya que la experiencia pone de manifiesto que puede cambiar la categoría de tráfico pesado inicialmente considerada.

Si no se pudiera disponer de datos concretos sobre asignación por carriles, para la determinación de la categoría de tráfico pesado se admitirá lo siguiente:

- ▶ En calzadas de dos carriles y con doble sentido de circulación, incide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.
- ▶ En calzadas de dos carriles por sentido de circulación, en el carril exterior se considera la categoría de tráfico pesado correspondiente a todos los vehículos pesados que circulan en ese sentido.
- ▶ En calzadas de tres o más carriles por sentido de circulación, se considera que actúa sobre el exterior el 85% de los vehículos pesados que circulan en ese sentido.

Para estimar la evolución del tráfico pesado se podrá adoptar como tasa de crecimiento el valor medio de las obtenidas en los cinco últimos años en la estación de aforo permanente o de control (primaria o secundaria) en el mismo itinerario y más próxima al tramo en estudio.

A los efectos de aplicación de esta norma, se definen ocho categorías de tráfico pesado, según la IMDp que se prevea para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. La tabla 1A presenta las categorías T00 a T2, mientras que las categorías T3 y T4, que se dividen en dos cada una de ellas, aparecen recogidas en la tabla 1B.

TABLA 1A - CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	$\geq 4\ 000$	$< 4\ 000$ $\geq 2\ 000$	$< 2\ 000$ ≥ 800	< 800 ≥ 200

TABLA 1B - CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Salvo justificación en contrario, en las vías de servicio no agrícolas de autopistas, autovías y otras carreteras de calzadas separadas (excepto en las de categorías de tráfico pesado T00 y T0, para las que es preceptivo un estudio específico) se podrán considerar las secciones estructurales propuestas para dos categorías de tráfico pesado menos que la que corresponda a la calzada principal.

Donde se justifique que los ejes de los vehículos pesados pueden estar especialmente sobrecargados, deberá considerarse la posibilidad de adoptar una categoría de tráfico pesado inmediatamente superior (en las inferiores a la T00), sobre todo en los valores próximos al límite superior de la categoría correspondiente. Del mismo modo podrá procederse en los casos de tramos en rampa con inclinaciones medias superiores al 5% (o superiores al 3% cuya longitud sea superior a 500 m).

Salvo justificación en contrario, en los carriles que no sean el más solicitado por el tráfico pesado (donde hubiera más de uno por sentido de circulación), la categoría de tráfico pesado que se considerará no podrá ser inferior en más de una a la del carril más solicitado.

5 EXPLANADA

5.1 Formación de la explanada

A los efectos de definir la estructura del firme en cada caso, se establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 “Ensayo de carga con placa”, cuyos valores se recogen en la tabla 2.

TABLA 2 - MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD EN EL SEGUNDO CICLO DE CARGA

CATEGORIA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

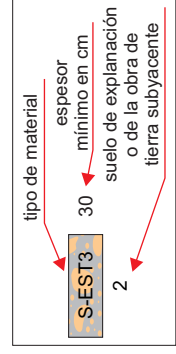
La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la figura 1, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles, según se definen en el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Para la correcta aplicación de la figura 1 se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) Todos los espesores que se indican son los mínimos especificados para cualquier punto de la sección transversal de la explanada.
- b) Los materiales empleados han de cumplir las prescripciones contenidas en los correspondientes artículos del PG-3, además de las complementarias recogidas en la tabla 4 de esta norma.
- c) La figura 1 se estructura según el tipo de suelo de la explanación en el caso de los desmontes, o de la obra de tierra subyacente en el caso de los terraplenes, los pedraplenes o los rellenos todo-uno. Se consideran los siguientes tipos: inadecuados y marginales (IN), tolerables (0), adecuados (1), seleccionados (2), seleccionados con $CBR \geq 20$ en las condiciones de puesta en obra (3) y roca (R). A los efectos de aplicación de esta norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 en el PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3.

TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-JUNO)

		SUELOS INADECUADOS O MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)	ROCA (R)	
CATEGORIA DE EXPLANADA	E1 $F_v \geq 60 \text{ MPa}$						
	E2 $F_v \geq 120 \text{ MPa}$						
	E3 $F_v \geq 300 \text{ MPa}$						



Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)
 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)
 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)
 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)
 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)
 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)
 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)
 Hormigón estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)
 Hormigón estabilizado in situ (Art. 610 del PG-3)

FIGURA 1 - FORMACIÓN DE LA EXPLANADA

- d) Para poder asignar a los suelos de la explanación o de la obra de tierra subyacente una determinada clasificación deberán tener un espesor mínimo de un metro (1 m) del material indicado en la figura 1. En caso contrario, se asignará la clasificación inmediatamente inferior.
- e) Salvo justificación en contrario, será preceptivo proyectar una capa de separación (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) entre los suelos inadecuados o marginales con finos plásticos y las capas de suelo adecuado o seleccionado, para la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2.
- f) Los espesores prescritos en la figura 1 no podrán ser reducidos mediante un eventual empleo de materiales de una calidad superior a la especificada en cada una de las secciones.

A los efectos del control de ejecución de las explanadas y para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, el Proyecto deberá exigir una deflexión patrón máxima (ver anejo 3 de la Norma 6.3-IC Rehabilitación de firmes), de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.

TABLA 3 - DEFLEXIÓN PATRÓN (*)

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
DEFLEXIÓN PATRÓN (10⁻² mm)	≤ 250	≤ 200	≤ 125

(*) Valor probable de la capacidad de soporte de la explanada, dentro del campo de variación debido a los cambios de humedad.

Con carácter general, para la capa superior utilizada en la formación de las explanadas se recomienda al proyectista la consideración preferente de los suelos estabilizados in situ, con cal o con cemento, frente a una eventual aportación de suelos.

La cota de la explanada deberá quedar al menos a sesenta centímetros (60 cm) por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el macizo de apoyo esté formado por suelos seleccionados; a ochenta centímetros (80 cm) donde esté formado por suelos adecuados; a cien centímetros (100 cm) donde sean tolerables, y a ciento veinte centímetros (120 cm) donde sean marginales o inadecuados. A tal fin se adoptarán medidas tales como la elevación de la rasante de la explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc., y se asegurará la evacuación del agua infiltrada a través del firme de la calzada y de los arcenes.

Salvo justificación en contrario, a los efectos de la definición de las secciones de firme se unificarán las explanadas por su categoría, de tal manera que no haya tramos diferenciados en el proyecto de menos de quinientos metros (500 m).

5.2 Materiales para la explanada

En la tabla 4 se relacionan los materiales utilizables en la explanada, para los que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá incluir las prescripciones complementarias que se indican en dicha tabla. Las explanadas con materiales diferentes de los considerados (residuos, subproductos, etc.) serán clasificadas, cuando sea posible, por analogía y, en otro caso, mediante un estudio específico.

TABLA 4 - MATERIALES PARA EXPLANADAS

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	SUELO INADECUADO O MARGINAL	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	SUELO TOLERABLE	330	- CBR \geq 3 (*). - En capas para formación de explanada: - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO ₃) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	SUELO ADECUADO	330	- CBR \geq 5 (*).
2	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR \geq 10 (*).
3	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR \geq 20
S-EST1 S-EST2 S-EST3	SUELO ESTABILIZADO IN SITU CON CEMENTO O CON CAL	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
HM-20	HORMIGÓN DE RELLENO	610	- Espesor mínimo: 15 cm.

(*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales a utilizar en las diferentes capas que conforman las explanaciones y obras de tierra, de acuerdo con la figura 1. Para la capa de coronación de explanadas, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener el CBR \geq 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 dispondrá de un CBR \geq 12.

En desmontes en roca se evitará la retención del agua en la explanada mediante un sistema de drenaje adecuado y el relleno con hormigón tipo HM-20 (Art. 610 del PG-3) de las depresiones que puedan retener el agua.

6 SECCIONES DE FIRME

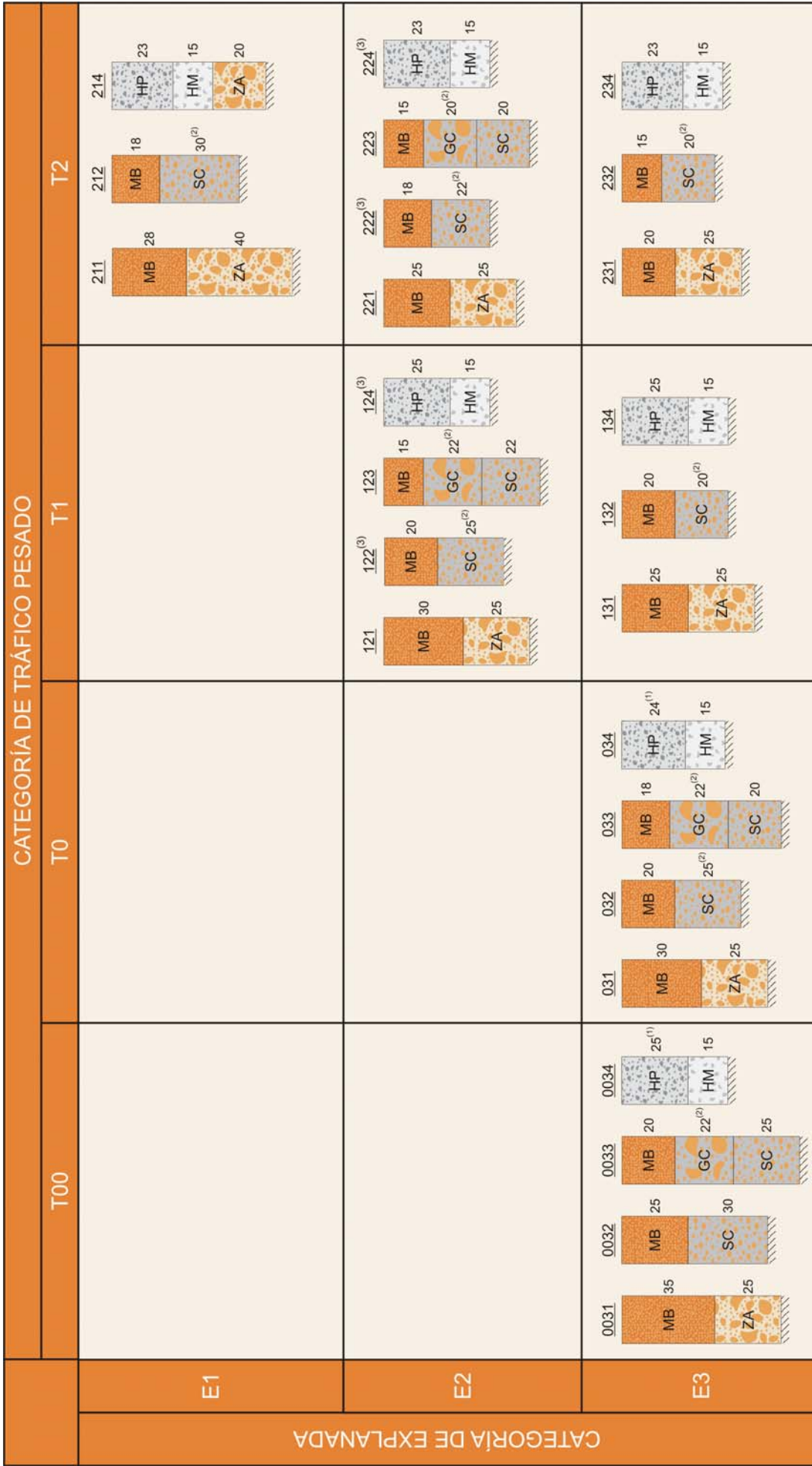
6.1 Catálogo de secciones de firme

En esta norma se ha optado, para el dimensionamiento de las secciones de firme, por el procedimiento más generalizado entre las Administraciones de Carreteras. Se basa, fundamentalmente, en las relaciones, en cada tipo de sección estructural, entre las intensidades de tráfico pesado y los niveles de deterioro admisibles al final del período de proyecto. Sin embargo, en la preparación de las figuras 2.1 y 2.2 se ha recurrido también a comprobaciones analíticas.

Las figuras 2.1 y 2.2 recogen las secciones de firme según la categoría de tráfico pesado previsto y la categoría de explanada. Entre las posibles soluciones se seleccionará en cada caso concreto la más adecuada técnica y económicamente. Todos los espesores de capa señalados se considerarán mínimos en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

Cada sección se designa por un número de tres o cuatro cifras:

- ▶ la primera (si son tres cifras) o las dos primeras (si son cuatro cifras) indican la categoría de tráfico pesado, desde T00 a T42.
- ▶ la penúltima indica la categoría de explanada, desde E1 a E3.
- ▶ la última indica el tipo de firme:
 - 1: Mezclas bituminosas sobre capa granular.
 - 2: Mezclas bituminosas sobre suelocemento.
 - 3: Mezclas bituminosas sobre gravacemento construida sobre suelocemento.
 - 4: Pavimento de hormigón.

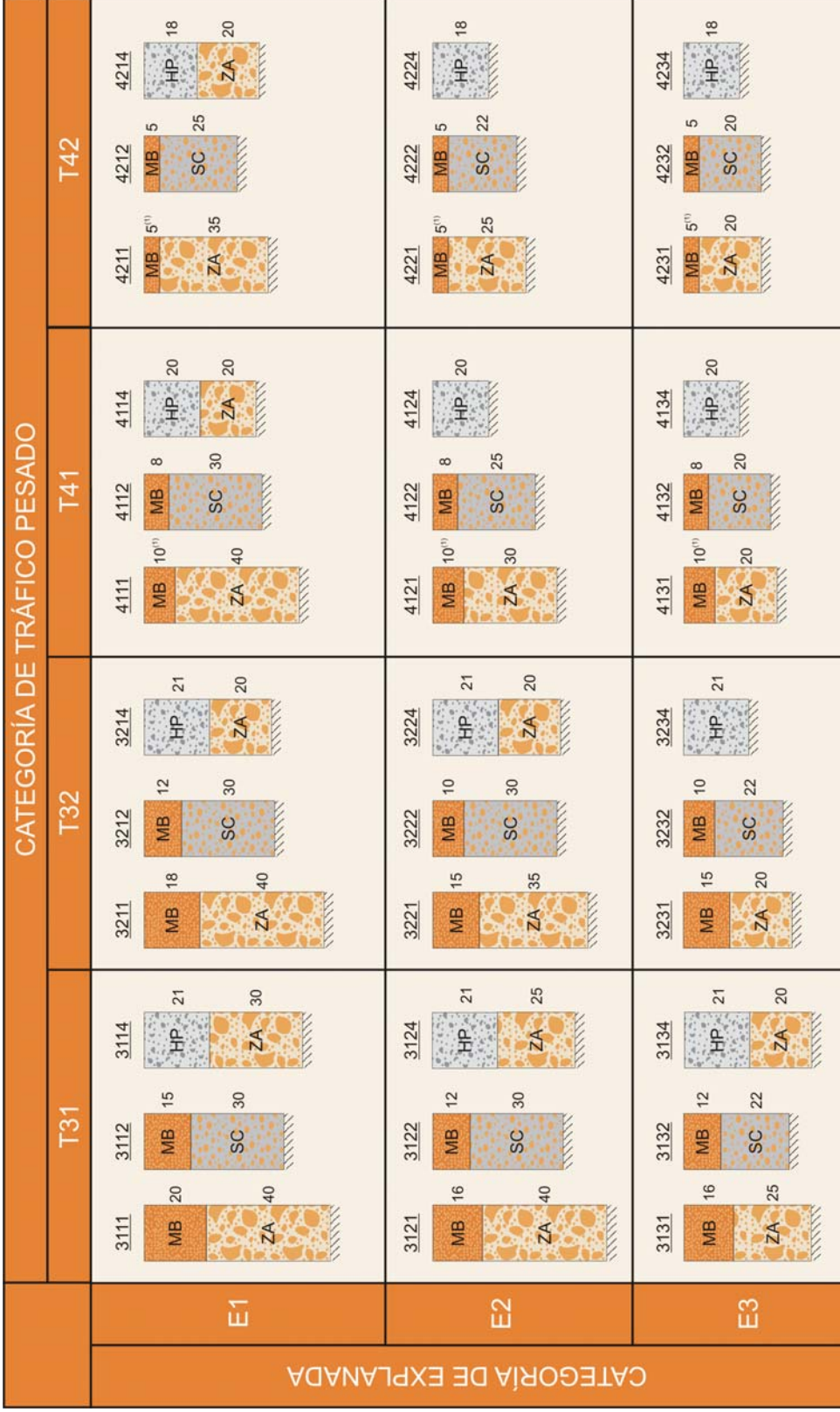


Esesores mínimos en cm



(1) Para las categorías de tráfico pesado T00 y T0 se emplearán únicamente pavimentos continuos de hormigón armado con los esesores indicados.
 (2) Capas tratadas con cemento que deberán prefisurarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).
 (3) Para poder proyectar esta solución será preceptivo que la capa superior de la explanada E2 esté estabilizada con cemento.

FIGURA 2.1 – CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2, EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE EXPLANADA



(1) Las mezclas bituminosas podrán ser proyectadas con mezclas bituminosas en caliente muy flexibles, gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial (riego con gravilla o lechada bituminosa) o mezclas bituminosas abiertas en frío selladas con un tratamiento superficial (riego con gravilla o lechada bituminosa).

Nota 1: Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán prefisurarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

Nota 2: En la categoría de tráfico pesado T42 con tráficos de intensidad reducida (menor que 100 vehículos/carril/día) podrá disponerse un riego con gravilla bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

FIGURA 2.2 – CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42), EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE EXPLANADA

Esta norma admite, si se justifica adecuadamente, la posibilidad de un dimensionamiento con soluciones distintas de las descritas en las figuras 2.1 y 2.2, pudiendo ser interesante técnica o económicamente tenerlo en cuenta especialmente en las categorías de tráfico pesado más bajas: T32 y T4 (T41 y T42). Por esta razón se ha desarrollado la tabla 5, en la que se incluyen coeficientes de equivalencia, respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales, para los casos en los que sea necesario recurrir a la equivalencia estructural entre diferentes materiales. Excepcionalmente, se podrá recurrir al dimensionamiento analítico, siempre que se disponga de las correspondientes leyes de fatiga, cuya idoneidad para el caso en estudio debe ser detalladamente justificada.

Como aspecto muy importante en cualquier circunstancia, en dicha tabla se recogen también limitaciones constructivas, que deben ser tenidas en cuenta tanto en el proyecto como en la construcción.

6.2 Materiales para las secciones de firme

En las figuras 2.1 y 2.2 se relacionan los posibles materiales a utilizar en las secciones de firme, para los que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá tener en cuenta las especificaciones complementarias que se expresan en esta norma.

TABLA 5 - CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE FIRME

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE (D, S y G)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	- Ver apartados 6.2.1.1 y 6.2.1.2.
MEZCLAS BITUMINOSAS DISCONTINUAS EN CALIENTE (F y M)	1	-	- Ver apartados 6.2.1.1 y 6.2.1.2.
MEZCLAS BITUMINOSAS DRENANTES (PA)	1	-	- Ver apartados 6.2.1.1 y 6.2.1.2.
MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS EN FRÍO (AF)	1 (*)	-	- Sólo se podrán emplear para T4 (T41 y T42). En capa de rodadura se recomienda sellar con un tratamiento superficial.
MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO (MAM)	1,25	$\epsilon_r = 6,617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	- Ver apartados 6.2.1.1 y 6.2.1.3.
PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO	-	-	- Ver apartado 6.2.3.
MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO	-	Gravacemento $\frac{\sigma_r}{R_f} = 1 - 0,065 \cdot \log N$	- Espesor mínimo: 20 cm. - Espesor máximo: - 25 cm para gravacemento. - 30 cm para suelocemento. - Ver apartado 6.2.2.
		Suelocemento $\frac{\sigma_r}{R_f} = 1 - 0,080 \cdot \log N$	
GRAVAEMULSIÓN	0,75	Ley específica	- Espesor de capa: - Para T00 a T1: No admisible. - Para T2 a T4: 6 a 12 cm.
GRAVAESCORIA	Material equivalente a la gravacemento, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		- Espesor mínimo: 15 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
ZAHORRA ARTIFICIAL	0,25	$\epsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28}$	- Espesor mínimo: 20 cm (15 cm en arcenes) - Espesor máximo: 30 cm.
MACADAM	Material equivalente a la zahorra artificial, que se aplicará en algún tipo de soluciones, especialmente bajo riegos con gravilla.		- Espesor mínimo: 20 cm (15 cm en arcenes) - Espesor máximo: 30 cm.
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	-	-	- Para T41 y T42, según Catálogo de secciones de firme.

N: número de ejes equivalentes de 128 kN (13 t).

ϵ : deformación unitaria. (ϵ_r = radial de tracción y ϵ_z = vertical de compresión).

σ_r : tensión radial de tracción en MPa.

R_f : resistencia a flexotracción del material en MPa.

(*) Coeficiente aplicable exclusivamente en la categoría de tráfico pesado T42.

6.2.1 Mezclas bituminosas en caliente

Para la elección del tipo de ligante bituminoso, así como para la relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta la zona térmica estival definida en la figura 3.

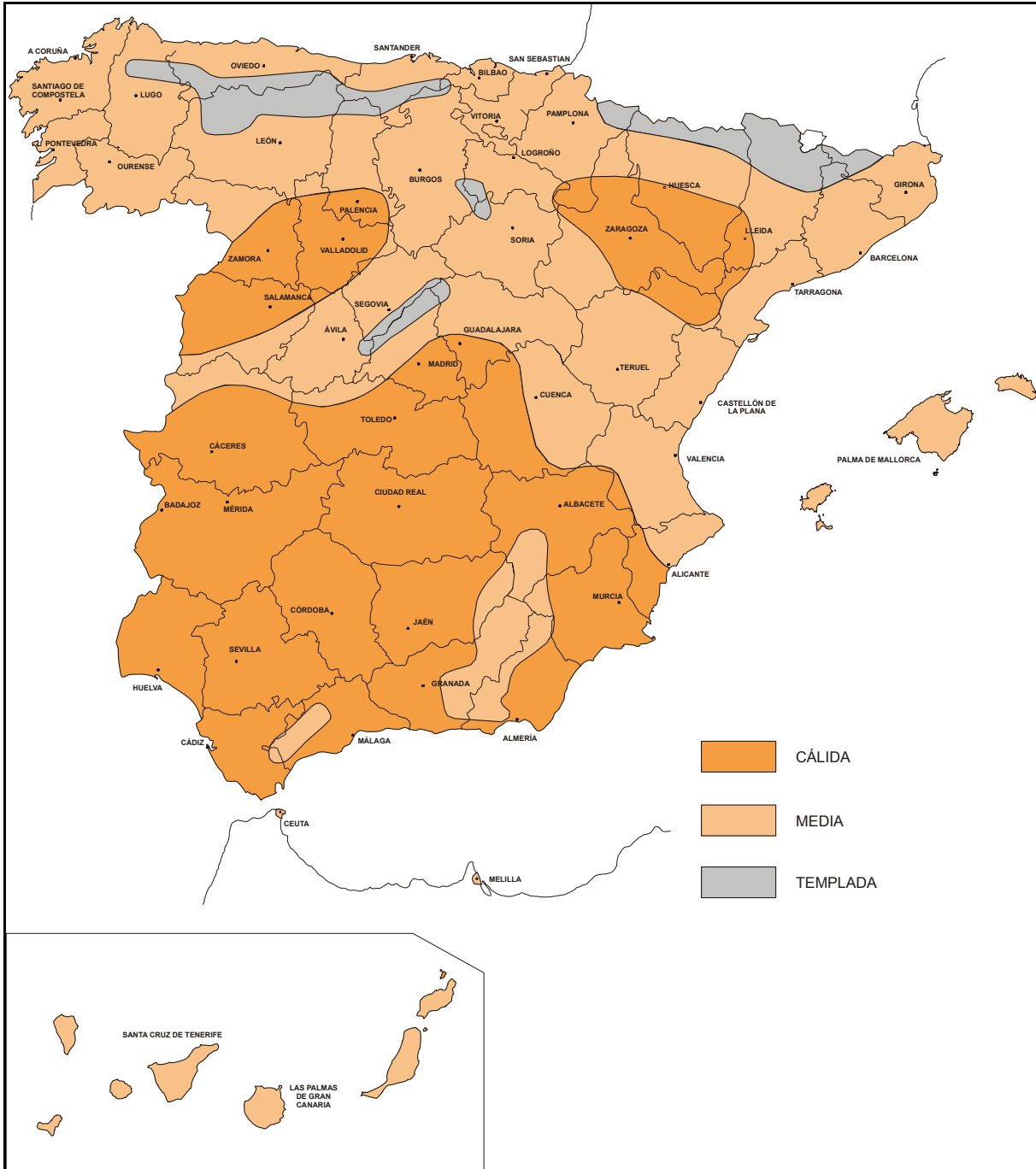


FIGURA 3 – ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES

6.2.1.1 Espesor de las capas de mezcla bituminosa

Los espesores de una capa vendrán determinados por los valores dados en la tabla 6. En las secciones en las que haya más de una capa de mezcla bituminosa el espesor de la capa inferior será mayor o igual al espesor de las superiores.

TABLA 6 - ESPESOR DE CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
RODADURA	PA	4		
	M	3	2-3	
	F		2-3	
	D y S		6-5	5
INTERMEDIA	D y S	5-9 ^(**)		
BASE	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

(*) Ver definiciones en tabla 5 o artículos 542 y 543 del PG-3.

(**) salvo en arcones.

6.2.1.2 Capas de rodadura de mezcla bituminosa

La capa de rodadura estará constituida por una mezcla bituminosa drenante (PA), definida en el artículo 542 del PG-3, por una mezcla bituminosa discontinua en caliente de tipo M o F, definida en el artículo 543 del PG-3, o por una mezcla bituminosa en caliente de tipo denso (D) o semidenso (S), definida en el artículo 542 del PG-3.

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T1 se emplearán las mezclas bituminosas discontinuas en caliente tipo M o bien las drenantes, según las condiciones de intensidad de circulación y pluviométricas.

Las mezclas drenantes sólo podrán aplicarse en carreteras sin problemas de nieve o de formación de hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente ($IMD \geq 5\ 000$ vehículos/día) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza. No se utilizarán sobre tableros de estructuras que no estén debidamente impermeabilizados y en todo caso deberán preverse sistemas específicos de captación y de eliminación del agua infiltrada a través de la superficie del pavimento.

La figura 4 recoge las zonas pluviométricas lluviosa y seca.

A los efectos de aplicación de esta norma, y salvo justificación en contrario, no deberán proyectarse pavimentos con mezcla drenante en altitudes superiores a los 1 200 m, ni cuando el tramo a proyectar esté comprendido en la zona pluviométrica seca.

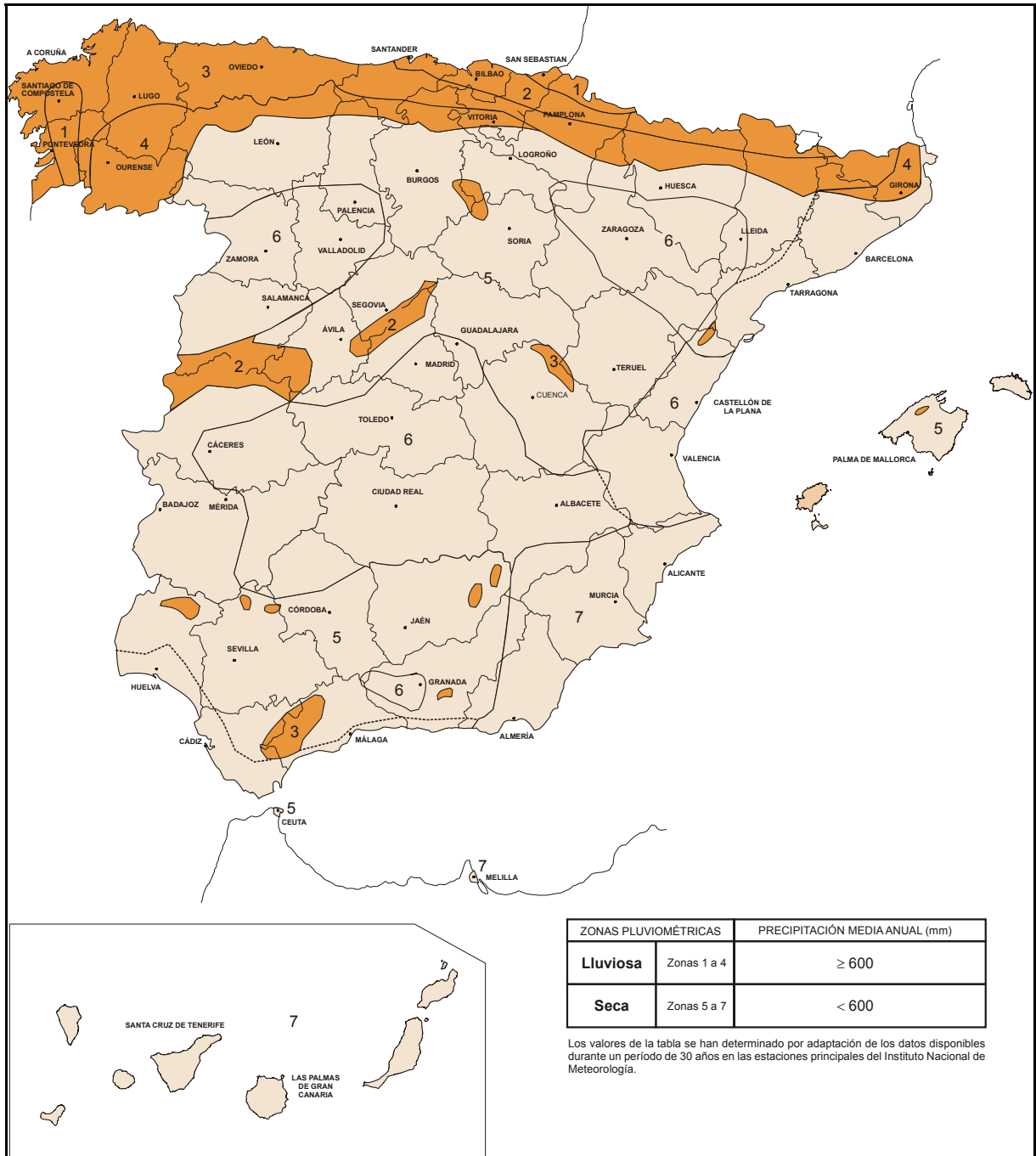


FIGURA 4 – ZONAS PLUVIOMÉTRICAS

En las zona pluviométrica seca podrá excepcionalmente utilizarse mezcla drenante en tramos de pequeña pendiente longitudinal (inferior a 1,5%) en los que además el régimen de precipitación sea corto, pero intenso, durante un número significativo de días al año; la longitud pavimentada con mezcla drenante no deberá ser inferior a 500 m.

Con el fin de mejorar la seguridad y la comodidad en tiempo de lluvia, en firmes con pavimento bituminoso podrán utilizarse mezclas drenantes, previa justificación, teniendo en cuenta los criterios establecidos anteriormente, y siempre que las características climáticas, de trazado y de tráfico lo aconsejen, especialmente en autopistas y autovías urbanas y periurbanas con intensidad de tráfico superior a diez mil vehículos al día ($IMD > 10\ 000$ vehículos/día).

6.2.1.3 Mezclas de alto módulo

En las secciones con espesor de mezcla bituminosa en caliente igual o superior a 25 cm y con explanadas de categoría E3 y E2, se podrá justificar una reducción del espesor total de aquéllas del 20% como máximo, mediante el empleo de mezclas bituminosas de alto módulo (MAM) de las especificadas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). En síntesis, únicamente se podrá justificar la mencionada reducción de espesores en las secciones denominadas 0031, 0032, 031, 121, 131 y 221.

La reducción del espesor total de las capas de mezcla bituminosa en caliente se hará teniendo en cuenta que la capa de mezcla de alto módulo se dispondrá en capas de base, manteniendo los espesores de la capa de rodadura e intermedia y realizando la sustitución de la mezcla en el total de las capas inferiores. Además se cumplirán las prescripciones contenidas en el apartado 6.2.1.1 de esta norma.

6.2.1.4 Riego de imprimación

Sobre la capa granular que vaya a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial, deberá efectuarse, previamente, un riego de imprimación, definido en el artículo 530 del PG-3.

6.2.1.5 Riego de adherencia

Sobre las capas de materiales tratados con cemento y las capas de mezcla bituminosa que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa deberá efectuarse, previamente, un riego de adherencia, definido en el artículo 531 del PG-3. La correcta ejecución de este riego es fundamental para el buen comportamiento del firme.

6.2.1.6 Riego de curado

Sobre las capas tratadas con un conglomerante hidráulico se proyectará un riego de curado, definido en el artículo 532 del PG-3.

6.2.2 Suelocemento

Manteniendo los espesores especificados en las figuras 2.1 y 2.2, el suelocemento podrá ser sustituido por una gravacemento si las disponibilidades del material así lo justificaran. En este caso podrá utilizarse el huso GC25 en calzada, y no serán exigibles las prescripciones relativas al porcentaje de caras de fractura.

6.2.3 Pavimento de hormigón vibrado

La nomenclatura adoptada para los hormigones empleados en los pavimentos de hormigón corresponde a Hormigón de Pavimento (HP), seguida del valor de la resistencia característica a flexotracción a los 28 días expresada en megapascales (MPa). Estos hormigones deberán cumplir las especificaciones fijadas en el artículo 550 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

Para firmes de carreteras con categorías de tráfico pesado T00 a T2 se utilizará hormigón tipo HP-4,5. Para las categorías T1 y T2 podrá emplearse el HP-4,0 mayorando en 2 cm los espesores dados por el Catálogo de secciones de firme (figura 2.1).

Para firmes de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 y T2 el pavimento será de hormigón en masa, con juntas provistas de pasadores. Si se justificase su conveniencia por razones técnicas o económicas, para firmes de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 podrá también emplearse pavimento continuo de hormigón armado, permitiendo una reducción de hasta 4 cm en los espesores dados en el Catálogo de secciones de firme (figura 2.1).

Para los firmes de carretera con categoría de tráfico pesado T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42) o eventualmente en arcenes, el pavimento será de hormigón en masa, con juntas sin pasadores. Para estas categorías de tráfico pesado se utilizará hormigón tipo HP-4,0, aunque también podrá utilizarse el HP-3,5 mayorando en 2 cm los espesores dados por el Catálogo de secciones de firme (figura 2.2).

La cuantía geométrica del pavimento de hormigón armado continuo será del 0,7% para HP-4,5 y del 0,6% para el HP-4,0. Asimismo en este tipo de pavimentos se dispondrán anclajes al terreno en las secciones extremas, así como en las secciones especiales que lo requieran.

7 ARCENES

Salvo justificación en contrario, el firme de los arcenes de anchura no superior a 1,25 m será, por razones constructivas, prolongación del firme de la calzada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén.

En arcenes de anchura superior a 1,25 m, su firme dependerá de la categoría de tráfico pesado prevista para la calzada y de la sección adoptada en ésta; se evitará en lo posible la aparición de nuevas unidades de obra. Salvo justificación en contrario, se adoptará una de las soluciones que se indican en los apartados siguientes, que están previstas para unas solicitaciones del tráfico pesado acordes con las funciones propias de los arcenes.

En el caso de que se prevean solicitaciones especialmente intensas, será posible justificar secciones de mayor capacidad estructural, previa autorización de la Dirección General de Carreteras. En este supuesto se podrá llegar a disponer el mismo firme que en la calzada, aprovechando las ventajas constructivas y permitiendo además utilizar los arcenes como carriles adicionales en caso necesario. Esta posible solución se valorará especialmente en autopistas y autovías urbanas y periurbanas con intensidad de tráfico superior a veinticinco mil vehículos al día ($IMD > 25\,000$ vehículos/día).

Para fijar los espesores de las capas del firme del arcén se tendrá en cuenta la distribución de capas del firme de la calzada, a fin de coordinar su construcción. Si a medio plazo fuera previsible ensanchar la calzada a costa del arcén, se procurará adoptar una solución con capas y espesores adaptados a dicha previsión. El espesor de cualquier capa se atenderá, en todo caso, a las limitaciones contenidas en las tablas 5 y 6.

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T31 y en las vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías es preceptivo, por exigencias de seguridad de la circulación vial, que los arcenes dispongan de una capa de rodadura completa transversalmente y con la misma rasante que la calzada, de manera que no haya un escalón entre ambas superficies.

En el caso de que la calzada dispusiera de una capa o elemento inferior drenante o de separación, éstos se prolongarán bajo el arcén hasta conectar con un sistema de drenaje adecuado.

7.1 Categorías de tráfico pesado T00 a T1

7.1.1 Calzadas con pavimento de hormigón vibrado

Salvo justificación en contrario, en las categorías de tráfico pesado T00 y T0 el pavimento del arcén será de hormigón vibrado en masa, de idénticas características que el utilizado en la calzada. El pavimento del arcén irá atado al pavimento de la calzada mediante barras de unión de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud, situadas a la mitad del espesor, perpendiculares a la junta longitudinal y espaciadas 1 m. Salvo justificación en contrario, la textura superficial del arcén será transversal.

El pavimento de los arcenes de hormigón vibrado en masa tendrá un espesor mínimo de 15 cm, salvo en sus 50 cm interiores en los que su espesor deberá coincidir, en todo caso, con el correspondiente al de la calzada. Hasta alcanzar la explanada se dispondrá una zahorra artificial drenante (artículo 510 del PG-3) o un suelocemento (artículo 513 del PG-3).

Para la categoría de tráfico pesado T1 los arcenes podrán pavimentarse con hormigón vibrado en masa o con mezcla bituminosa. Si se pavimenta con hormigón vibrado en masa se podrá utilizar una solución igual a la indicada en los párrafos anteriores para las categorías de tráfico pesado T00 y T0. Alternativamente, se podrá pavimentar el arcén con hormigón magro vibrado (artículo 551 del PG-3) de espesor uniforme, igual al del pavimento de la calzada, y atado a éste mediante barras de unión; hasta alcanzar la explanada se dispondrá una zahorra artificial drenante o un suelocemento.

Si para la categoría de tráfico pesado T1 se dispone un pavimento de mezcla bituminosa en caliente, ésta será de 15 cm de espesor total, construida en dos capas; bajo ella, y hasta alcanzar la explanada, se dispondrá una zahorra artificial drenante. Alternativamente, la mezcla bituminosa en caliente podrá tener 10 cm de espesor total, disponiendo bajo ella, hasta alcanzar la explanada, un suelocemento (que deberá prefisurarse con espaciamientos comprendidos entre 3 y 4 m).

La junta entre el pavimento de la calzada y el del arcén deberá sellarse siempre.

7.1.2 Calzadas con pavimento de mezcla bituminosa en caliente

En todos los casos las capas de rodadura e intermedia del arcén serán prolongación de las dispuestas en la calzada y, por tanto, de idéntica naturaleza. Su espesor no bajará en ningún caso de 15 cm sobre zahorras artificiales y de 10 cm sobre capas tratadas con cemento.

Debajo del pavimento del arcén se podrá optar por disponer:

- Suelocemento, procurando enrasar con la cara inferior de las mezclas bituminosas de la calzada y en todo caso con el espesor mínimo indicado en la tabla 5. Esta solución con suelocemento, que preceptivamente será prefisurado con espaciamientos comprendidos entre 3 y 4 m, será preferente cuando se emplee este tipo de material o gravacemento en la calzada. El resto del espesor, hasta alcanzar la explanada, se completará con zahorra artificial.
- Zahorra artificial drenante, procurando enrasar con la cara inferior de las mezclas bituminosas de la calzada y en todo caso con las limitaciones sobre espesores especificadas en la tabla 5. El resto del espesor, hasta alcanzar la explanada, se completará con zahorra artificial.

Si se justifica por razones constructivas, y en el caso de que no se emplee en el firme de la calzada, en la categoría de tráfico pesado T1 el suelocemento podrá sustituirse por un suelo adecuado estabilizado in situ con cemento del tipo S-EST3 (artículo 512 del PG-3), con una resistencia a compresión simple a 7 días no inferior a 2,5 MPa.

7.2 Categorías de tráfico pesado T2 y T31

7.2.1 Calzadas con pavimento de hormigón vibrado

Se dispondrá un arcén formado por una capa de rodadura de mezcla bituminosa en caliente muy flexible de 5 cm de espesor; el resto, hasta llegar a la explanada, se completará con zahorra artificial drenante. Alternativamente, se podrá disponer bajo la mezcla bituminosa en caliente una capa de suelocemento prefisurado, con un espesor dentro de los límites indicados en la tabla 5; el resto, hasta llegar a la explanada, se completará con zahorra artificial drenante.

La junta entre el pavimento de la calzada y el del arcén deberá sellarse siempre que el tramo esté incluido en las zonas 1 a 4 de la figura 4.

7.2.2 Calzadas con pavimento de mezcla bituminosa en caliente

El pavimento del arcén constará de una capa de mezcla bituminosa con el mismo espesor que la capa de rodadura del firme de la calzada, salvo si ésta fuera drenante o discontinua en caliente, en cuyo caso el pavimento del arcén se constituirá con las mismas capas de rodadura e intermedia que el firme de la calzada, de forma que vayan enrasadas las capas intermedias.

Debajo del pavimento del arcén se dispondrá zahorra artificial hasta alcanzar la explanada; en todo caso las tongadas cumplirán las limitaciones de espesores contenidas en la tabla 5. Alternativamente, se podrá disponer bajo el pavimento una capa de suelocemento prefisurado, con un espesor dentro de los límites indicados en la tabla 5; el resto, hasta llegar a la explanada, se completará con zahorra artificial.

7.3 Categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42)

El arcén, enrasado siempre con la calzada, podrá no estar pavimentado, o tener un pavimento constituido por un riego con gravilla. El firme del arcén estará constituido por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; y el resto, hasta la explanada, podrá ser de zahorra artificial o de suelo seleccionado. Si no se pavimentase se proyectarán arcenes con zahorras cuyos finos tengan un índice de plasticidad (IP) entre 6 y 10.

En vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías el arcén tendrá un pavimento constituido por un tratamiento superficial, el cual podrá no disponerse en los demás casos. La capa de base estará constituida por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; el resto, hasta llegar a la explanada, será de zahorra, o de suelo seleccionado con un CBR ≥ 20 .

8 JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

8.1 Juntas longitudinales

Se dispondrán juntas longitudinales en los pavimentos de hormigón vibrado, y podrán ser de alabeo o de hormigonado.

En las zonas en las que la anchura de hormigonado sea superior a 5 m se proyectarán juntas longitudinales de alabeo, dividiendo el pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre los carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura del tráfico, con una marca vial o con un pasador. Se ejecutarán por aserrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio del espesor de la losa.

Donde el hormigonado se realice por franjas se proyectarán juntas longitudinales de hormigonado, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura del tráfico o con una marca vial.

En todos los casos se proyectarán perpendicularmente a la junta longitudinal, barras corrugadas de unión de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m. Se dispondrán a la mitad del espesor de la losa y simétricas respecto de la junta.

En el proyecto de las juntas longitudinales, tanto de alabeo como de hormigonado, se tendrá en cuenta su sellado por alguno de los siguientes procedimientos:

- Practicando un cajeado en el que se introducirá un cordón elastomérico, sobre el que se colocará un producto específico de sellado.
- Mediante un perfil elastomérico, introducido a presión.

8.2 Juntas transversales

Las juntas transversales que se proyecten en los pavimentos de hormigón vibrado podrán ser de contracción, de hormigonado o de dilatación.

Las juntas transversales de contracción se realizarán por aserrado, con una anchura de corte no superior a 4 mm, y profundidad no inferior al cuarto del espesor de la losa.

Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2 las juntas transversales de contracción se proyectarán provistas de pasadores (a la mitad del espesor de la

losa, perpendiculares y simétricos respecto a la junta) de acero liso de 25 mm de diámetro, 50 cm de longitud y separación variable, de 30 cm bajo las rodadas del carril de proyecto y de 60 cm en otras zonas. Estas juntas se dispondrán perpendiculares al eje de la calzada e irán separadas entre sí una longitud comprendida entre 4 y 5 m.

Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42), se podrán proyectar juntas transversales de contracción sin pasadores a una distancia no superior a 4 m, la cual se reducirá hasta los 3,5 m en las zonas donde las oscilaciones diarias de la temperatura ambiente sean superiores a 20 °C. Estas juntas transversales de contracción sin pasadores, salvo justificación en contrario, se proyectarán sesgadas, con una inclinación respecto al eje de la calzada de 6:1, de forma que las ruedas de la izquierda de cada eje las atraviesen antes que las de la derecha.

Las juntas transversales de hormigonado, que se harán coincidir con el emplazamiento de una junta de contracción, irán siempre provistas de pasadores, siendo por ello perpendiculares al eje de la calzada. En pavimentos de hormigón armado continuo el diseño de estas juntas se realizará en la fase de proyecto.

Se proyectarán juntas transversales de dilatación ante estructuras o donde pudiera estar especialmente impedido el movimiento de las losas del pavimento. En estos casos en la fase de proyecto se estudiará el diseño específico de dichas juntas.

En las curvas con radio inferior a 200 m será preciso la realización de un estudio especial sobre la disposición de juntas transversales de contracción o de dilatación, con el fin de limitar las posibles tensiones que pudieran producirse por el efecto de las temperaturas. A falta de dicho estudio, en la mayoría de los casos podrá ser suficiente con la disposición de juntas de dilatación al comienzo y al final de la curva, manteniendo la longitud de las losas adoptada para el conjunto de la obra.

Respecto al sellado de las juntas transversales, tanto de contracción como de hormigonado, según la zona pluviométrica (figura 4), se proyectará lo siguiente:

- Zonas pluviométricas lluviosas (zonas 1 a 4): Se proyectarán selladas como las juntas longitudinales.
- Zonas pluviométricas poco lluviosas (zonas 5 a 7): La junta podrá dejarse sin sellar.

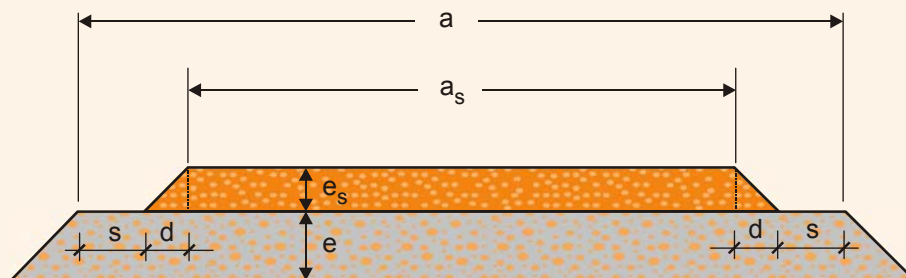
9 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La anchura de la capa superior del pavimento de la calzada rebasará a la teórica al menos en 20 cm por cada borde. No obstante, en pavimentos de hormigón vibrado en los que el pavimento del arcén sea también de hormigón vibrado, podrá coincidir con la anchura teórica de la calzada.

Cada capa del firme tendrá una anchura (a) en su cara superior, igual a la de la capa inmediatamente superior (a_s) más la suma de los sobreamchos d y s indicados en la tabla 7. El sobreamcho podrá aumentarse si existe necesidad de disponer de un apoyo para la extensión de la capa superior.

TABLA 7 - VALORES DE LOS SOBREAMCHOS

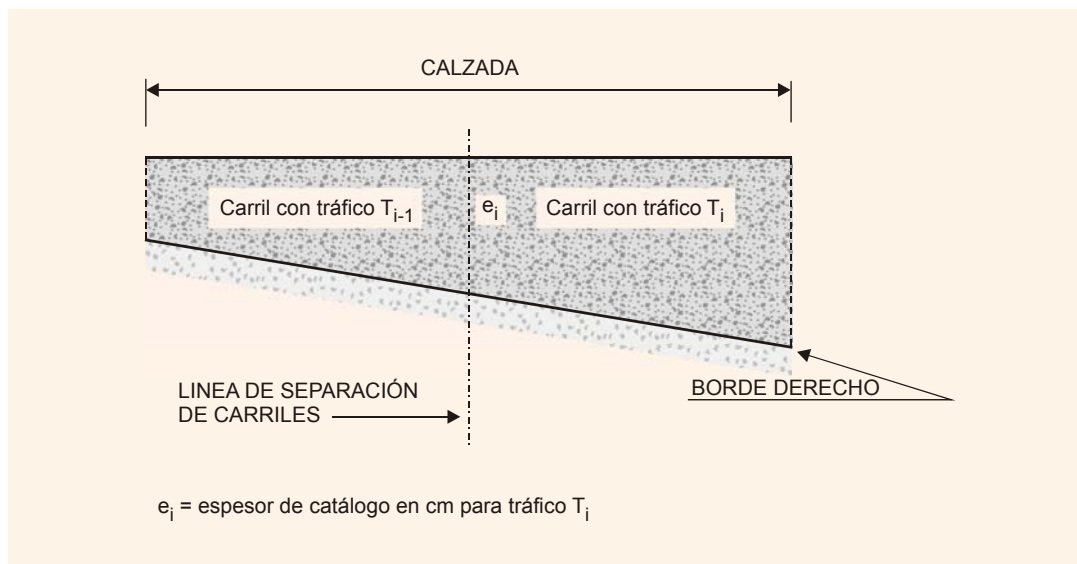
SOBREAMCHO	MATERIAL	VALOR (cm)
POR DERRAMES (d)	PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO	0
	HORMIGÓN MAGRO VIBRADO	0
	OTROS MATERIALES	e_s
POR CRITERIOS CONSTRUCTIVOS (s)	MEZCLAS BITUMINOSAS	5
	MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO	6 a 10
	HORMIGÓN MAGRO VIBRADO	20
	CAPAS GRANULARES	10 a 15



$$a = a_s + 2d + 2s$$

En las categorías de tráfico pesado T00 y T0, se podrán considerar dimensionamientos distintos entre carriles de una misma calzada, donde haya dos o más carriles para un sentido de circulación, con las siguientes prescripciones:

- ▶ La máxima diferencia de categoría de tráfico pesado entre carriles será de una.
- ▶ La categoría de explanada será la misma.
- ▶ La numeración de las secciones deberá terminar en la misma cifra.
- ▶ La variación de espesor se proyectará de acuerdo a los siguientes criterios:
 - La variación de espesor se efectuará en una sola de las capas.
 - No se modificará el número total de capas.
 - Se cumplirán las limitaciones de espesor contenidas en esta norma.
 - En caso de existir capas, distintas a la que produzca la variación de espesor, con diferente espesor en las secciones posibles de la figura 2.1, se adoptará como espesor de capa el mayor de ellas.
 - Las variaciones de espesor serán transversalmente lineales, debiendo mantenerse los espesores mínimos correspondientes al Catálogo de secciones de firme (figura 2.1) en el borde interno de cada carril.



10 DEFINICIONES

ARCÉN: Franja longitudinal contigua a la calzada, dotada de firme, pero no destinada al uso de vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

AUSCULTACIÓN DE UN FIRME: Reconocimiento de las características estructurales o superficiales de un firme mediante equipos específicos de medida.

CALZADA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de uno o varios carriles.

CAPA DE BASE: Capa del firme situada debajo del pavimento cuya misión es eminentemente estructural.

CAPA DE RODADURA: Capa superior o única de un pavimento de mezcla bituminosa.

CAPA INTERMEDIA: Capa de un pavimento de mezcla bituminosa situada debajo de la capa de rodadura.

CARRIL DE PROYECTO: Carril por el que en una calzada circula el mayor número de vehículos pesados.

CARRIL: Franja longitudinal en que puede estar dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con anchura suficiente para la circulación de una fila de automóviles que no sean motocicletas.

CATEGORÍAS DE EXPLANADA: Tipos de explanada que se establecen, en función de su capacidad resistente, a los efectos de dimensionamiento de la sección del firme.

CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO: Intervalos que se establecen, a los efectos del dimensionamiento de la sección estructural del firme, para la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp).

COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA: Cociente entre los espesores de dos capas de diferente naturaleza que se supone que aportan una capacidad estructural semejante.

DEFLEXIÓN PATRÓN: Recuperación elástica de la superficie de un firme, al tomarse su medida mediante la viga Benkelman, siguiendo el método de recuperación y en las condiciones indicadas en la norma NLT-356.

ESTABILIZACIÓN IN SITU: Mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento y, eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, que tiene por objeto mejorar determinadas propiedades de aquél.

EXPLANADA: Superficie sobre la que se apoya el firme, no perteneciente a su estructura.

FIRME: Estructura formada por una o varias capas construidas con materiales seleccionados, colocada sobre la explanada para permitir la circulación en condiciones de seguridad y comodidad.

FIRME FLEXIBLE: Firme constituido por capas granulares no tratadas y por un pavimento bituminoso de espesor inferior a 15 cm (puede ser un tratamiento superficial).

FIRME RÍGIDO: Firme constituido por un pavimento de hormigón.

FIRME SEMIFLEXIBLE: Firme constituido por capas de mezcla bituminosa, de espesor total igual o superior a 15 cm, sobre capas granulares no tratadas.

FIRME SEMIRRÍGIDO: Firme constituido por un pavimento bituminoso de cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, con espesor conjunto de éstas igual o superior a 20 cm.

GRAVACIMIENTO: Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y excepcionalmente adiciones, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carreteras.

HORMIGÓN MAGRO VIBRADO: Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base bajo pavimentos de hormigón, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

HORMIGÓN VIBRADO: Mezcla homogénea de áridos, agua y conglomerante, que se pone en obra con maquinaria específica y se utiliza en pavimentos de firmes rígidos.

JUNTA: Discontinuidad prevista, por razones estructurales o constructivas, entre dos zonas contiguas de una capa de firme.

LECHADA BITUMINOSA: Mezcla fabricada a temperatura ambiente con una emulsión bituminosa, áridos, agua y, eventualmente adiciones, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y puede aplicarse en una o varias capas.

LEY DE FATIGA: Expresión matemática que permite estimar el número de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su agotamiento, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE: Combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA EN FRÍO: Combinación de una emulsión bituminosa, áridos y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de

árido queden recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación no implica calentar el ligante y los áridos, y su puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

PAVIMENTO: Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO: Pavimento constituido por losas de hormigón en masa, separadas por juntas, o por una losa continua de hormigón armado; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal, que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación, y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

RIEGO CON GRAVILLA: Aplicación de una o varias capas de un ligante hidrocarbonado sobre una superficie, complementadas por una o varias extensiones de árido.

RIEGO DE ADHERENCIA: Aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla bituminosa.

RIEGO DE CURADO: Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impedir la pérdida prematura de humedad.

RIEGO DE IMPRIMACIÓN: Aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa o de un tratamiento bituminoso.

SECCIÓN A MEDIA LADERA: Sección en la que la explanada corta al terreno natural.

SECCIÓN EN DESMONTE: Sección que corresponde a una explanada situada bajo el terreno natural.

SECCIÓN SOBRE RELLENO: Sección que corresponde a una explanada situada sobre el terreno natural.

SUELOCEMENTO: Mezcla homogénea de materiales granulares (zahorra, suelo granular o productos inertes de desecho), cemento, agua y eventualmente adiciones, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

TERRENO NATURAL: Terreno existente bajo la capa vegetal.

VEHICULO PESADO: Se incluyen en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

VÍA DE SERVICIO: Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ésta solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos. Puede ser con sentido único o doble sentido de circulación.

VIDA ÚTIL: Período de tiempo en el que el firme (o la capa del firme considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.

ZAHORRA: Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.

**ANEJO 2:
CAPAS ESTRUCTURALES
DE FIRMES
(artículos del Pliego de Prescripciones
Técnicas Generales para Obras de Carreteras y
Puentes (PG-3))**

ARTÍCULO 510 – ZAHORRAS

ARTÍCULO 512 – SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU

**ARTÍCULO 513 – MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO (SUELOCEMENTO
Y GRAVACEMENTO)**

ARTÍCULO 551 – HORMIGÓN MAGRO VIBRADO

510 ZAHORRAS

510.1 DEFINICIÓN

Se define como zahorra el material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.

La ejecución de las capas de firme con zahorra incluye las siguientes operaciones:

- ▶ Estudio del material y obtención de la fórmula de trabajo.
- ▶ Preparación de la superficie que vaya a recibir la zahorra.
- ▶ Preparación del material, si procede, y transporte al lugar de empleo.
- ▶ Extensión, humectación, si procede, y compactación de la zahorra.

510.2 MATERIALES

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

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

510.2.1 Características generales

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.

Para las categorías de tráfico pesado T2 a T4 se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias. Para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá fijar especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear materiales cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los materiales para las capas de zahorra no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El árido siderúrgico de acería deberá presentar una expansividad inferior al cinco por ciento (5%), según la UNE-EN 1744-1. La duración del ensayo será de veinticuatro horas (24 h) cuando el contenido de óxido de magnesio, según UNE-EN 196-2, sea menor o igual al cinco por ciento (5%) y de ciento sesenta y ocho horas (168 h) en los demás casos.

El árido siderúrgico procedente de horno alto no presentará desintegración por el silicato bicálcico ni por el hierro, según la UNE-EN 1744-1.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material granular. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades se empleará la NLT-326.

510.2.2 Composición química

El contenido ponderal de compuestos de azufre totales (expresados en SO_3), determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al cinco por mil (0,5%) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento (1%) en los demás casos.

510.2.3 Limpieza

Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, marga, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa.

En el caso de las zahorras artificiales el coeficiente de limpieza, según el anexo C de la UNE 146130, deberá ser inferior a dos (2).

El equivalente de arena (EA), según la UNE-EN 933-8, del material de la zahorra artificial deberá cumplir lo indicado en la tabla 510.1. De no cumplirse esta condición, su índice de azul de metileno (AM), según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a uno (1), y simultáneamente, el equivalente de arena no deberá ser inferior en más de cinco unidades a los valores indicados en la tabla 510.1.

TABLA 510.1 -EQUIVALENTE DE ARENA DE LA ZAHORRA ARTIFICIAL

T00 a T1	T2 a T4 y arcenes de T00 a T2	Arcenes de T3 y T4
EA > 40	EA > 35	EA > 30

En el caso de la zahorra natural, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá disminuir en cinco (5) unidades cada uno de los valores exigidos en la tabla 510.1.

510.2.4 Plasticidad

El material será “no plástico”, según la UNE 103104, para las zahorras artificiales en cualquier caso; así como para las zahorras naturales en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T3; en carreteras con categoría de tráfico pesado T4 el límite líquido de las zahorras naturales, según la UNE 103103, será inferior a veinticinco (25) y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, será inferior a seis (6).

En el caso de arcenes no pavimentados, de las categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá admitir, tanto para las zahorras artificiales como para las naturales que el índice de plasticidad según la UNE 103104, sea inferior a diez (10), y que el límite líquido, según la UNE 103103, sea inferior a treinta (30).

510.2.5 Resistencia a la fragmentación

El coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, de los áridos para la zahorra artificial no deberá ser superior a los valores indicados en la tabla 510.2.

TABLA 510.2 - VALOR MÁXIMO DEL COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES PARA LOS ÁRIDOS DE LA ZAHORRA ARTIFICIAL

CATEGORÍA TRÁFICO PESADO	
T00 a T2	T3, T4 y arcenes
30	35

Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco

megapascales (35 MPa), así como para áridos siderúrgicos, el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla 510.2, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD20, especificado en la tabla 510.3.1.

En el caso de los áridos para la zavorra natural, el valor del coeficiente de Los Ángeles será superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla 510.2, cuando se trate de áridos naturales. Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones y para áridos siderúrgicos a emplear como zavorras naturales el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior hasta en diez (10) unidades a los valores que se exigen en la tabla 510.2.

510.2.6 Forma

En el caso de las zavorras artificiales, el índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a treinta y cinco (35).

510.2.7 Angulosidad

El porcentaje mínimo de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5, para las zavorras artificiales será del cien por ciento (100%) para firmes de calzada de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 y T0, del setenta y cinco por ciento (75%) para firmes de calzada de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 y T2 y arcenes de T00 y T0, y del cincuenta por ciento (50%) para los demás casos.

510.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL

La granulometría del material, según la UNE-EN 933-1, deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos fijados en la tabla 510.3.1 para las zavorras artificiales y en la tabla 510.3.2 para las zavorras naturales.

TABLA 510.3.1 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS ZAVORRAS ARTIFICIALES.
CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE ZAVORRA ARTIFICIAL(*)	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
	40	25	20	8	4	2	0,500	0,250	0,063
ZA25	100	75-100	65-90	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA20	-	100	75-100	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD20	-	100	65-100	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

TABLA 510.3.2 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS ZAHORRAS NATURALES.
CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE ZAHORRA NATURAL(*)	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	8	4	2	0,500	0,250	0,063
ZN40	100	80-95	60-90	54-84	35-63	22-46	15-35	7-23	4-18	0-9
ZN25	-	100	75-95	65-90	40-68	27-51	20-40	7-26	4-20	0-11
ZN20	-	-	100	80-100	45-75	32-61	25-50	10-32	5-24	0-11

(*) La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

En todos los casos, el cernido por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2 será menor que los dos tercios (2/3) del cernido por el tamiz 0,250 mm de la UNE-EN 933-2.

510.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

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

510.4.1 Central de fabricación de la zahorra artificial

La fabricación de la zahorra artificial para su empleo en firmes de calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T3 se realizará en centrales de mezcla. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo y la producción horaria mínima de la central.

En cualquier caso, la instalación deberá permitir dosificar por separado las distintas fracciones de árido y el agua en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo. El número mínimo de fracciones para las zahorras artificiales será de dos (2).

Las tolvas para los áridos deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero que evite que un exceso de contenido afecte al funcionamiento del sistema de clasificación. Se dispondrán con una separación suficiente para evitar contaminaciones entre ellas. Estas tolvas deberán, asimismo, estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

Los sistemas de dosificación de los materiales podrán ser volumétricos; no obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá establecer que sean ponderales, para la fabricación de zahorras artificiales que se vayan a emplear en calzadas de nueva construcción de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1 y cuando la obra tenga una superficie de pavimentación superior a setenta mil metros cuadrados (70 000 m²).

Si se utilizan centrales de fabricación con dosificadores ponderales, éstos deberán ser independientes; al menos uno (1) para cada una de las fracciones del árido. La precisión del dosificador será superior al dos por ciento ($\pm 2\%$).

El agua añadida se controlará mediante un caudalímetro, cuya precisión sea superior al dos por ciento ($\pm 2\%$), y un totalizador con indicador en la cabina de mando de la central.

Los equipos de mezcla deberán ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

510.4.2 Elementos de transporte

La zahorra se transportará al lugar de empleo en camiones de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia. Deberán disponer de lonas o cobertores adecuados para protegerla durante su transporte. Por seguridad de la circulación vial será inexcusable el empleo de cobertores para el transporte por carreteras en servicio.

510.4.3 Equipo de extensión

En calzadas de nueva construcción de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1, y cuando la obra tenga una superficie superior a los setenta mil metros cuadrados (70 000 m²), para la puesta en obra de las zahorras artificiales se utilizarán extendedoras automotrices, que estarán dotadas de los dispositivos necesarios para extender el material con la configuración deseada y proporcionarle un mínimo de compactación, así como de sistemas automáticos de nivelación.

En el resto de los casos el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar y aprobar los equipos de extensión de las zahorras.

En el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde los camiones, ésta deberá realizarse a través de

dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto homogéneo y uniforme del material delante del equipo de extensión.

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.

Las anchuras mínima y máxima de extensión se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, por el Director de las Obras. Si al equipo de extensión pudieran acoplarse piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar alineadas con las existentes en la extendedora.

510.4.4 Equipo de compactación

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y tener inversores del sentido de la marcha de acción suave.

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

El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y será capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t), con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas.

Si se utilizasen compactadores de neumáticos, éstos deberán ser capaces de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

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

El Director de las Obras aprobará el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus elementos, que serán los necesarios para conseguir una compactación adecuada y homogénea de la zahorra en todo su espesor, sin producir roturas del material granular ni arrollamientos.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación convencionales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.

510.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

510.5.1 Estudio del material y obtención de la fórmula de trabajo

La producción del material no se iniciará hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, establecida a partir de los resultados del control de procedencia del material (apartado 510.9.1).

Dicha fórmula señalará:

- ▶ En su caso, la identificación y proporción (en seco) de cada fracción en la alimentación.
- ▶ La granulometría de la zahorra por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico.
- ▶ La humedad de compactación.
- ▶ La densidad mínima a alcanzar.

Si la marcha de las obras lo aconseja el Director de las Obras podrá exigir la modificación de la fórmula de trabajo. En todo caso se estudiará y aprobará una nueva si varía la procedencia de los componentes, o si, durante la producción, se rebasaran las tolerancias granulométricas establecidas en la tabla 510.4.

TABLA 510.4 - TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO EN ZAHORRA ARTIFICIAL.

CARACTERÍSTICA		UNIDAD	CATEGORÍA TRÁFICO PESADO	
			T00 a T1	T2 a T4 y arcenes
Cernido por los tamices UNE-EN 933-2	> 4 mm	% sobre la masa total	± 6	± 8
	≤ 4 mm		± 4	± 6
	0,063 mm		± 1,5	± 2
Humedad de compactación		% respecto de la óptima	± 1	- 1,5 / + 1

510.5.2 Preparación de la superficie que va a recibir la zahorra

Una capa de zahorra no se extenderá hasta que se haya comprobado que la superficie sobre la que haya de asentarse tenga las condiciones de calidad y forma previstas, con las tolerancias establecidas.

Se comprobarán la regularidad y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la zahorra. 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 y, en su caso, a reparar las zonas deficientes.

510.5.3 Preparación del material

Cuando las zahorras se fabriquen en central la adición del agua de compactación se realizará también en central, salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares permita expresamente la humectación in situ.

En los demás casos, antes de extender una tongada se procederá, si fuera necesario, a su homogeneización y humectación. Se podrán utilizar para ello la humectación previa en central u otros procedimientos sancionados por la práctica que garanticen, a juicio del Director de las Obras, las características previstas del material previamente aceptado, así como su uniformidad.

510.5.4 Extensión de la zahorra

Una vez aceptada la superficie de asiento se procederá a la extensión de la zahorra, en tongadas de espesor no superior a treinta centímetros (30 cm), tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones.

Todas las operaciones de aportación de agua deberán tener lugar antes de iniciar la compactación. Después, la única admisible será la destinada a lograr, en superficie, la humedad necesaria para la ejecución de la tongada siguiente.

510.5.5 Compactación de la zahorra

Conseguida la humedad más conveniente, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 510.5.1, se procederá a la compactación de la tongada, que se continuará hasta alcanzar la densidad especificada en el apartado 510.7.1. La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras en función de los resultados del tramo de prueba.

La compactación se realizará de manera continua y sistemática. Si la extensión de la zahorra se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

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

510.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse la puesta en obra de la zahorra será preceptiva la realización de un tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la forma de actuación de los equipos de extensión y de compactación, y especialmente el plan de compactación. El tramo de prueba se realizará sobre una capa de apoyo similar en capacidad de soporte y espesor al resto de la obra.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizará la correspondencia, en su caso, entre los métodos de control de la humedad y densidad in situ, establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será en ningún caso inferior a cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

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

- ▶ Si es aceptable o no la fórmula de trabajo.
 - En el primer caso se podrá iniciar la ejecución de la zahorra.
 - En el segundo, deberá proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, modificación en los sistemas de puesta en obra, corrección de la humedad de compactación, etc.).

- ▶ Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista:
 - En el primer caso, definirá su forma específica de actuación.
 - En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar equipos suplementarios.

No se podrá proceder a la producción sin que el Director de las Obras haya autorizado el inicio en las condiciones aceptadas después del tramo de prueba.

510.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

510.7.1 Densidad

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, la compactación de la zahorra artificial deberá alcanzar una densidad no inferior a la que corresponda al cien por cien (100%) de la máxima de referencia, obtenida en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501.

En el caso de la zahorra natural o cuando la zahorra artificial se vaya a emplear en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 o en arcenes, se podrá admitir una densidad no inferior al noventa y ocho por ciento (98%) de la máxima de referencia obtenida en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501.

510.7.2 Capacidad de soporte

El valor del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (E_{v2}), según la NLT-357, será superior al menor valor de los siguientes:

- ▶ Los especificados en la tabla 510.5, establecida según las categorías de tráfico pesado.

TABLA 510.5 - VALOR MÍNIMO DEL MÓDULO E_{v2} (MPa)

TIPO DE ZAHORRA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00 a T1	T2	T3	T4 y arcenes
ARTIFICIAL	180	150	100	80
NATURAL			80	60

- ▶ El valor exigido a la superficie sobre la que se apoya la capa de zahorra multiplicado por uno coma tres (1,3), cuando se trate de zahorras sobre coronación de explanadas.

Además de lo anterior, el valor de la relación de módulos E_{v2}/E_{v1} será inferior a dos unidades y dos décimas (2,2).

510.7.3 Rasante, espesor y anchura

Dispuestos los sistemas de comprobación aprobados por el Director de las Obras, la rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto ni quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm) en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, ni en más de veinte milímetros (20 mm) en el resto de los casos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras podrán modificar los límites anteriores.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la establecida en los Planos de secciones tipo. Asimismo el espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo; en caso contrario se procederá según el apartado 510.10.3

510.7.4 Regularidad superficial

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, deberá cumplir en zahorras artificiales lo fijado en la tabla 510.6, en función del espesor total (e) de las capas que se vayan a extender sobre ella.

TABLA 510.6 - INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPESOR TOTAL DE LAS CAPAS SUPERIORES (cm)		
	$e \geq 20$	$10 < e < 20$	$e \leq 10$
50	< 3,0	< 2,5	< 2,5
80	< 4,0	< 3,5	< 3,5
100	< 5,0	< 4,5	< 4,0

Se comprobará que no existen zonas que retengan agua sobre la superficie, las cuales, si existieran, deberán corregirse por el Contratista a su cargo.

510.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Las zahorras se podrán poner en obra siempre que las condiciones meteorológicas no hubieran producido alteraciones en la humedad del material, tales que se superasen las tolerancias especificadas en el apartado 510.5.1.

Sobre las capas recién ejecutadas se procurará evitar la acción de todo tipo de tráfico. Si esto no fuera posible, sobre las zahorras artificiales se dispondrá un riego de imprimación con una protección mediante la extensión de una capa de árido de cobertura, según lo indicado en el artículo 530 de este Pliego. Dicha protección se

barrerá antes de ejecutar otra unidad de obra sobre las zahorras. En cualquier circunstancia, se procurará una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la traza. El Contratista será responsable de los daños originados, debiendo proceder a su reparación con arreglo a las instrucciones del Director de las Obras.

510.9 CONTROL DE CALIDAD

510.9.1 Control de procedencia del material

Si con el material utilizado se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad homologado, según lo indicado en el apartado 510.12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia del material no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

Antes de iniciar la producción, se reconocerá cada acopio, préstamo o procedencia, determinando su aptitud, según el resultado de los ensayos. El reconocimiento se realizará de la forma más representativa posible para cada tipo de material: mediante la toma de muestras en acopios, o a la salida de la cinta en las instalaciones de fabricación, o mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

Para cualquier volumen de producción previsto, se ensayará un mínimo de cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada diez mil metros cúbicos ($10\,000\text{ m}^3$) o fracción, de exceso sobre cincuenta mil metros cúbicos ($50\,000\text{ m}^3$).

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- ▶ Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1.
- ▶ Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- ▶ Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- ▶ Equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.
- ▶ Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3 (sólo para zahorras artificiales).
- ▶ Partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5 (sólo para zahorras artificiales).
- ▶ Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.

El Director de las Obras comprobará además:

- ▶ La retirada de la eventual montera en la extracción de la zahorra.

- ▶ La exclusión de vetas no utilizables.

510.9.2 Control de ejecución

510.9.2.1 Fabricación

Se examinará la descarga al acopio o en el tajo, desechando los materiales que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo aceptado en la fórmula de trabajo. Se acopiarán aparte aquéllos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lajas, plasticidad, etc.

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

En el caso de las zavorras artificiales preparadas en central se llevará a cabo la toma de muestras a la salida del mezclador. En los demás casos se podrá llevar a cabo la toma de muestras en los acopios.

Para el control de fabricación se realizarán los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos (1 000 m³) de material producido, o cada día si se fabricase menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

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

Por cada cinco mil metros cúbicos (5 000 m³) de material producido, o una (1) vez a la semana si se fabricase menos material:

- ▶ Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- ▶ Proctor modificado, según la UNE 103501.
- ▶ Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3 (sólo para zavorras artificiales).
- ▶ Partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5 (sólo para zavorras artificiales).
- ▶ Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.

Por cada veinte mil metros cúbicos (20 000 m³) de material producido, o una (1) vez al mes si se fabricase menos material:

- ▶ Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.

El Director de las Obras podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad (1/2) si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada (apartado 510.9.3) se hubieran aprobado diez (10) lotes consecutivos.

510.9.2.2 Puesta en obra

Antes de verter la zahorra, se comprobará su aspecto en cada elemento de transporte y se rechazarán todos los materiales segregados.

Se comprobarán frecuentemente:

- ▶ El espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- ▶ La humedad de la zahorra en el momento de la compactación, mediante un procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- ▶ La composición y forma de actuación del equipo de puesta en obra y compactación, verificando:
 - Que el número y tipo de compactadores es el aprobado.
 - El lastre y la masa total de los compactadores.
 - La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
 - La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
 - El número de pasadas de cada compactador.

510.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes a una (1) sola tongada de zahorra:

- ▶ Una longitud de quinientos metros (500 m) de calzada.
- ▶ Una superficie de tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada.
- ▶ La fracción construida diariamente.

La realización de los ensayos in situ y la toma de muestras se hará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal

como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada hectómetro (1/hm).

Si durante la construcción se observaran defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente calibrados en la realización del tramo de prueba. En los mismos puntos donde se realice el control de la densidad se determinará el espesor de la capa de zahorra.

Se realizará un (1) ensayo de carga con placa, según la NLT-357, sobre cada lote. Se llevará a cabo una determinación de humedad natural en el mismo lugar en que se realice el ensayo de carga con placa.

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

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, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 510.7.4.

510.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DEL LOTE

510.10.1 Densidad

La densidad media obtenida no será inferior a la especificada en el apartado 510.7.1; no más de dos (2) individuos de la muestra podrán arrojar resultados de hasta dos (2) puntos porcentuales por debajo de la densidad especificada. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir la densidad especificada.

Los ensayos de determinación de humedad tendrán carácter indicativo y no constituirán, por sí solos, base de aceptación o rechazo.

510.10.2 Capacidad de soporte

El módulo de compresibilidad E_{v2} y la relación de módulos E_{v2}/E_{v1} , obtenidos en el ensayo de carga con placa, no deberán ser inferiores a los especificados en el apartado

510.7.2. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir los módulos especificados.

510.10.3 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al previsto en los Planos de secciones tipo; no más de dos (2) individuos de la muestra podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido en la capa fuera inferior al especificado se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si el espesor medio obtenido en la capa fuera inferior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm), se añadirá el material necesario de las mismas características y se volverá a compactar y refinar la capa por cuenta del Contratista.
- ▶ Si el espesor medio obtenido en la capa fuera superior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado y no existieran problemas de encharcamiento, se podrá admitir siempre que se compense la merma de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior por cuenta del Contratista.

510.10.4 Rasante

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas en el apartado 510.7.3, ni existirán zonas que retengan agua.

Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración.

Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, éste se corregirá por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

510.10.5 Regularidad superficial

En el caso de la zorra artificial, si los resultados de la regularidad superficial de la capa terminada exceden los límites establecidos, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm) y se volverá a compactar y refinar por cuenta del Contratista.
- ▶ Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

510.11 MEDICIÓN Y ABONO

La zavorra se abonará por metros cúbicos (m³) medidos sobre los planos de Proyecto. No serán de abono las creces laterales, ni las consecuentes de la aplicación de la compensación de una merma de espesores en las capas subyacentes.

510.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

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

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

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

NORMAS REFERENCIADAS

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-357	Ensayo de carga con placa.
UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.

- UNE 103501 Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
- UNE 146130 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.
- UNE-EN 196-2 Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Determinación del MgO.
- UNE-EN 933-1 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
- UNE-EN 933-2 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
- UNE-EN 933-3 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
- UNE-EN 933-5 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 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 1097-5 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 5: Determinación del contenido en agua por secado en estufa.
- UNE-EN 1744-1 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.

512 SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU

512.1 DEFINICIÓN

Se define como suelo estabilizado in situ la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

La ejecución de un suelo estabilizado in situ incluye las siguientes operaciones:

- ▶ Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- ▶ Preparación de la superficie existente.
- ▶ Disgregación del suelo.
- ▶ Humectación o desecación del suelo.
- ▶ Distribución de la cal o del cemento.
- ▶ Ejecución de la mezcla.
- ▶ Compactación.
- ▶ Terminación de la superficie.
- ▶ Curado y protección superficial.

Según sus características finales se establecen tres tipos de suelos estabilizados in situ, denominados respectivamente S-EST1, S-EST2 y S-EST3. Los dos primeros se pueden conseguir con cal o con cemento, mientras que el tercer tipo se tiene que realizar necesariamente con cemento.

512.2 MATERIALES

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

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

512.2.1 Cal

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la clase de cal según el tipo de suelo que se vaya a estabilizar. Esta cumplirá las prescripciones del artículo 200 de este Pliego y las adicionales que establezca, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

512.2.2 Cemento

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el tipo y la clase resistente del cemento. Éste cumplirá las prescripciones del artículo 202 de este Pliego y las adicionales que establezca, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Salvo justificación en contrario, la clase resistente del cemento será la 22,5 o la 32,5 para los cementos especiales tipo ESP-VI-1 y la 32,5N para los cementos comunes. No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica.

Si el contenido de sulfatos solubles (SO_3) en el suelo que se vaya a estabilizar, determinado según la UNE 103201, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos y aislar adecuadamente estas capas de las obras de paso de hormigón.

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

512.2.3 Suelo

512.2.3.1 Características generales

Los materiales que se vayan a estabilizar in situ con cal o con cemento serán suelos de la traza u otros materiales locales que no contengan en ningún caso materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado, en el caso de que se emplee cemento).

Los materiales que se vayan a estabilizar con cemento no presentarán reactividad potencial con los álcalis de éste. En materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de SiO_2 y de la reducción de la alcalinidad R, según la UNE 146507-1, el material será considerado potencialmente reactivo si:

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

512.2.3.2 Granulometría

Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal cumplirán, lo indicado en la tabla 512.1.1.

TABLA 512.1.1 – GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)	
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)	
	80	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	≥ 15

Por su parte, los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cemento cumplirán, bien en su estado natural o bien tras un tratamiento previo con cal, lo indicado en la tabla 512.1.2.

TABLA 512.1.2 – GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)		
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)		
	80	2	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	> 20	< 50
S-EST3			< 35

512.2.3.3 Composición química

Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal o con cemento cumplirán lo indicado en la tabla 512.2.

TABLA 512.2 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
MATERIA ORGÁNICA (MO) (% en masa)	UNE 103204	< 2	< 1	
SULFATOS SOLUBLES (SO ₃) (% en masa)	UNE 103201	< 1		

512.2.3.4 Plasticidad

Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal cumplirán lo indicado en la tabla 512.3.1.

TABLA 512.3.1 – PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP) (UNE 103104)
S-EST1	≥ 12
S-EST2	≥ 12 y ≤ 40

Si el índice de plasticidad fuera superior a cuarenta (40), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá ordenar que la mezcla del suelo con la cal se realice en dos (2) etapas.

Por su parte, los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cemento cumplirán lo indicado en la tabla 512.3.2.

TABLA 512.3.2 – PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	UNE 103103	-	≤ 40	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	UNE 103104	≤ 15		

Cuando interese utilizar suelos con un índice de plasticidad superior al indicado, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las obras, podrá ordenar un tratamiento previo con cal, con una dotación mínima del uno por ciento (1%) en masa del suelo seco, de manera que el índice de plasticidad satisfaga las exigencias de la tabla 512.3.2.

512.2.4 Agua

El agua cumplirá las prescripciones del artículo 280 de este Pliego.

512.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares definirá el tipo y la composición del suelo estabilizado, cuyo contenido de cal o de cemento, capacidad de soporte y densidad deberán cumplir lo indicado en la tabla 512.4.

TABLA 512.4 – ESPECIFICACIONES DEL SUELO ESTABILIZADO IN SITU

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
CONTENIDO DE CAL O DE CEMENTO	% en masa del suelo seco		≥ 2	≥ 3	
ÍNDICE CBR, a 7 días (*)	-	UNE 103502	≥ 6	≥ 12	
COMPRESIÓN SIMPLE, a 7 días (*)	MPa	NLT-305	-	-	≥ 1,5
DENSIDAD (Proctor modificado)	% de la densidad máxima	UNE 103501	≥ 95(**)	≥ 97	≥ 98

(*) Para la realización de estos ensayos, las probetas se compactarán, según la NLT-310, con la densidad especificada en la fórmula de trabajo.

(**) Para la capa de coronación de la categoría de explanada E1 definida en la Norma 6.1- IC de Secciones de firme, este valor será del noventa y siete por ciento (97%).

El suelo estabilizado no presentará asiento en el ensayo de colapso realizado según la NLT-254, ni hinchamiento en el ensayo de expansión según la UNE 103601. Si el suelo que se vaya a estabilizar presentara hinchamiento o colapso en los ensayos mencionados, se comprobará que éste desaparece en el suelo estabilizado en ensayos realizados a las veinticuatro horas (24 h) de su mezcla con el conglomerante. Si a esta edad siguiera presentando hinchamiento o colapso se repetirán los ensayos a los tres días (3 d) o a los siete días (7 d).

Los suelos estabilizados no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciables bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar los suelos o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes del suelo que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en las proximidades, se aplicará la NLT-326.

El suelo estabilizado in situ con cemento deberá tener un plazo de trabajabilidad, de acuerdo con la norma UNE 41240, tal que permita completar la compactación de una franja antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, no pudiendo ser inferior al indicado en la tabla 512.5.

**TABLA 512.5 – PLAZO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD (t_{pm})
DEL SUELO ESTABILIZADO IN SITU CON CEMENTO**

TIPO DE OBRA	t_{pm} (minutos) (UNE 41240)
ANCHURA COMPLETA	120
POR FRANJAS	180

512.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

No se podrá utilizar en la ejecución de los suelos estabilizados in situ con cal o con cemento ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras, después de la ejecución del tramo de prueba.

Para la ejecución de los suelos estabilizados in situ se deberán emplear equipos mecánicos. Éstos podrán ser equipos independientes que realicen por separado las operaciones de disgregación, distribución de la cal o del cemento, humectación, mezcla y compactación, o bien equipos que realicen dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

Salvo justificación en contrario, para las carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1 o cuando la superficie a tratar sea superior a los setenta mil metros cuadrados (70 000 m²), será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de disgregación, de dosificación y distribución de la cal o del cemento y del agua, y de mezcla.

La mezcla in situ del suelo con cal o con cemento se realizará mediante equipos autopropulsados que permitan una suficiente disgregación de aquél hasta la profundidad establecida en los Planos, si dicha disgregación no hubiera sido previamente obtenida por escarificación, y una mezcla uniforme de ambos materiales en una sola pasada. Dicho equipo deberá contar con una unidad específica para realizar estas operaciones de forma secuencial, disponiendo además de los sistemas de control y de regulación de la profundidad de mezcla y de un sistema de inyección del agua o de la lechada.

En zonas tales que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de paso o de drenaje, a muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se emplearán los medios adecuados a cada caso, de forma que las características obtenidas no difieran de las exigidas en las demás zonas.

Salvo justificación en contrario, el cemento o la cal se dosificarán como lechada. Se podrá dosificar en polvo en obras pequeñas (menos de 70 000 m²) o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo, siempre que lo autorice expresamente el Director de las Obras; en este caso, y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental y de seguridad y salud, se emplearán equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que podrán consistir en camiones-silo o en tanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del cemento o de la cal sobre el suelo a estabilizar se realizase desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga estará protegido con faldones cuya parte inferior no deberá distar más de diez centímetros (10 cm) de la superficie.

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

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario. La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo de un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y de un (1) compactador de neumáticos.

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

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

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

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

512.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

La estabilización de suelos in situ con cal o con cemento no se podrá iniciar en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio y comprobación en el tramo de prueba, la cual deberá señalar, como mínimo:

- ▶ La dosificación mínima de conglomerante (indicando de la cal su clase de acuerdo con el artículo 200 de este Pliego y del cemento su tipo y clase resistente de acuerdo con el artículo 202 de este Pliego) referida a la masa total de suelo seco y, en su caso, por metro cuadrado (m²) de superficie, la cual no deberá ser inferior a la mínima fijada en la tabla 512.4.
- ▶ El contenido de humedad, según la UNE 103300, del suelo inmediatamente antes de su mezcla con la cal o con el cemento, y el de la mezcla en el momento de su compactación.
- ▶ La compactación a obtener, mediante el valor mínimo de la densidad que deberá cumplir lo fijado en la tabla 512.4.
- ▶ El índice CBR a siete días (7 d) o la resistencia a compresión simple a la misma edad, según el tipo de suelo estabilizado, cuyos valores deberán cumplir lo fijado en la tabla 512.4.
- ▶ El plazo de trabajabilidad en el caso de las estabilizaciones con cemento, cuyo valor deberá cumplir lo indicado en la tabla 512.5.

Si la marcha de los trabajos lo aconsejase, el Director de las Obras podrá modificar la fórmula de trabajo, a la vista de los resultados obtenidos de los ensayos, pero respetando la dosificación mínima de cal o de cemento, el valor mínimo del índice CBR

o de la resistencia a compresión simple, ambos a siete días (7 d), y las demás especificaciones fijadas en este artículo para la unidad terminada. En todo caso, se estudiará y aprobará otra fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características del suelo a estabilizar, o de alguno de los componentes de la estabilización, o si varían las condiciones ambientales.

La tolerancia admisible, respecto a la fórmula de trabajo, del contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación, será de dos puntos ($\pm 2 \%$) respecto a la humedad óptima definida en el ensayo Proctor modificado.

En el caso de suelos inadecuados o marginales susceptibles de hinchamiento o colapso, la humedad de mezcla y compactación más conveniente deberá ser objeto de estudio especial para determinar la humedad de compactación.

512.5.2 Preparación de la superficie existente

Si se añade suelo de aportación para corregir las características del existente, se deberán mezclar ambos en todo el espesor de la capa que se vaya a estabilizar, antes de iniciar la distribución de la cal o del cemento.

Si el suelo que se va a estabilizar fuera en su totalidad de aportación, se deberá comprobar, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en los Planos, con las tolerancias establecidas en este Pliego. Si en dicha superficie existieran irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corregirán de acuerdo con las prescripciones de la unidad de obra correspondiente de este Pliego.

512.5.3 Disgregación del suelo

Cuando se establezca el suelo existente en la traza, éste deberá disgregarse en toda la anchura de la capa que se vaya a estabilizar, y hasta la profundidad necesaria para alcanzar, una vez compactada, el espesor de estabilización señalado en los Planos.

El suelo que se vaya a estabilizar deberá disgregarse hasta conseguir una eficacia mínima del cien por cien (100%), referida al tamiz 25 mm de la UNE-EN 933-2, y del ochenta por ciento (80%) en estabilizaciones para obtener SEST-3 y SEST-2 y del sesenta por ciento (60%) en estabilizaciones SEST-1, referida al tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2. La eficacia de disgregación se definirá por la relación entre el cernido en obra del material húmedo y el cernido en laboratorio de ese mismo material desecado y desmenuzado, por el tamiz al que se refiere.

El suelo disgregado no deberá presentar en ninguna circunstancia elementos ni grumos de tamaño superior a los ochenta milímetros (80 mm). La disgregación se podrá hacer en una sola etapa, pero en algunos tipos de suelos podrá haber dificultades para alcanzar el grado de disgregación necesario, por exceso o por defecto de humedad, o por un índice de plasticidad elevado. En el primer caso se corregirá el grado de humedad del suelo, según el apartado 512.5.4.

En los casos de estabilización con cal de suelos con índice de plasticidad elevado, en los que no se consiga la eficacia de disgregación requerida, podrá ser necesario realizar la disgregación, distribución y mezcla de la cal en dos etapas, de manera que la cal añadida en la primera etapa contribuya a hacer el suelo mas friable y a conseguir el grado de finura deseado en la mezcla final. Salvo justificación en contrario, en esa primera etapa bastará con que la totalidad de los grumos tengan un tamaño inferior a cincuenta milímetros (50 mm) y podrá ser conveniente elevar la humedad del suelo entre dos y diez (2 a 10) puntos porcentuales por encima de la óptima de compactación.

Tras la mezcla inicial con cal el material tratado se compactará ligeramente para evitar variaciones de humedad y reducir la carbonatación de la cal y se dejará curar de veinticuatro a cuarenta y ocho horas (24 a 48 h). Este plazo de curado podrá ser aumentado hasta siete días (7 d), a criterio del Director de las Obras, si el índice de plasticidad del suelo, según la UNE 103104, fuera superior a cuarenta (40). Transcurrido el plazo de este curado inicial se procederá a la realización de la segunda etapa, en la que se llevarán a cabo todas las operaciones de disgregación, corrección de humedad, distribución de cal, mezcla, compactación, terminación y curado final, de manera similar a como se prescriben para las estabilizaciones convencionales realizadas en una sola etapa.

512.5.4 Humectación o desecación del suelo

La humedad del suelo deberá ser tal que permita que, con el equipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con la cal o con el cemento sea total y uniforme.

En el caso de ser necesaria la incorporación de agua a la mezcla para alcanzar el valor de humedad fijado por la fórmula de trabajo, deberán tenerse en cuenta las posibles evaporaciones o precipitaciones que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos. Dicha incorporación deberá realizarse, preferentemente, por el propio equipo de mezcla.

El Director de las Obras podrá autorizar el empleo de un tanque regador independiente; en este caso, el agua deberá agregarse uniformemente disponiéndose los equipos necesarios para asegurar la citada uniformidad e incluso realizando un

desmenuzamiento previo del suelo si fuera necesario. Deberá evitarse que el agua escurra por las roderas dejadas por el tanque regador, o se acumule en ellas. Asimismo, no se permitirán paradas del equipo mientras esté regando, con el fin de evitar la formación de zonas con exceso de humedad.

Previa aceptación del Director de las Obras, los suelos cohesivos se humedecerán, en su caso, el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que la humedad sea uniforme.

En los casos en que la humedad natural del material sea excesiva, se tomarán las medidas adecuadas para conseguir el grado de disgregación y la compactación previstos, pudiéndose proceder a su desecación por oreo o a la adición y mezcla de materiales secos; o se podrá realizar, previa autorización del Director de las Obras, una etapa previa de disgregación y mezcla con cal para la corrección del exceso de humedad del suelo, tanto si finalmente se va a estabilizar con cal como si se va a estabilizar con cemento.

512.5.5 Distribución de la cal o del cemento

La cal o el cemento se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, en forma de lechada y directamente en el mezclador.

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

El Director de las Obras podrá autorizar la distribución de la cal o del cemento en seco en obras pequeñas (menos de 70 000 m²) o cuando sea conveniente por el exceso de humedad natural del suelo.

En el caso de que la dosificación se realice en seco, deberán coordinarse adecuadamente los avances del equipo de dosificación de conglomerante y del de mezcla, no permitiéndose que haya entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m). La extensión se detendrá cuando la velocidad del viento fuera excesiva, a juicio del Director de las Obras, cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas, o especialmente sensibles. No podrá procederse a la distribución de la cal o del cemento en seco mientras queden concentraciones superficiales de humedad.

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

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

512.5.6 Ejecución de la mezcla

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante deberá procederse a su mezcla con el suelo. Se deberá obtener una dispersión homogénea, lo que se reconocerá por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos. Todo el conglomerante se deberá mezclar con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.

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

El material estabilizado con cemento no podrá permanecer más de media hora (1/2 h) sin que se proceda al inicio de la compactación.

512.5.7 Compactación

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla deberá estar disgregada en todo su espesor y su grado de humedad será el correspondiente al de la óptima del ensayo Proctor modificado, con las tolerancias admitidas en el apartado 512.5.1.

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras de acuerdo con los resultados del tramo de prueba. Se compactará en una sola tongada y se continuará hasta alcanzar la densidad especificada en el apartado 512.7.1.

En el caso de las estabilizaciones con cemento, el proceso completo desde la mezcla del cemento con el agua hasta la terminación de la superficie deberá realizarse dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla.

La compactación se realizará de manera continua y uniforme. Si el proceso completo de ejecución, incluida la mezcla, se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior. Deberá disponerse en los bordes una contención lateral adecuada. Si la mezcla se realiza con dos máquinas en paralelo con un ligero desfase, se compactarán las dos franjas a la vez.

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

Durante la compactación, la superficie del suelo estabilizado in situ se conformará mediante su refinado con motoniveladora, eliminando irregularidades, huellas o discontinuidades, para lo cual el Director de las Obras podrá aprobar la realización de una ligera escarificación de la superficie y su posterior recompactación previa adición del agua necesaria, que en el caso de estabilizar con cemento deberá tener en cuenta el plazo de trabajabilidad.

512.5.8 Terminación de la superficie

Una vez terminada la compactación no se permitirá su recrecimiento. Sin embargo, para el suelo estabilizado con cal, y para el suelo estabilizado con cemento siempre que esté dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, se podrá hacer un refinado con motoniveladora hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos de proyecto, con las tolerancias establecidas en este artículo. A continuación se procederá a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas de púas no metálicas, y a la recompactación posterior del área corregida.

Los materiales procedentes del refinado deberán ser retirados a vertedero según lo dispuesto en la legislación vigente sobre medio ambiente.

512.5.9 Ejecución de juntas

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

Entre las sucesivas pasadas del equipo de estabilización deberá producirse un solape transversal con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones. Este solape vendrá impuesto por las anchuras de las

máquinas y de la franja a tratar y generalmente estará comprendido entre quince y veinticinco centímetros (15 a 25 cm). La máquina dosificadora-mezcladora deberá tener cerrados los difusores de cal o de cemento y de agua correspondientes a la franja de solape para evitar la producción de suelo estabilizado con dotaciones distintas de la especificada.

En estabilizaciones con cemento, se dispondrán juntas transversales de trabajo donde el proceso constructivo se interrumpiera más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Las juntas transversales de trabajo se efectuarán disgregando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación de la cal o del cemento en la zona no tratada.

512.5.10 Curado y protección superficial

Una vez finalizada la compactación, y siempre dentro de la misma jornada de trabajo, se aplicará un riego de curado, según se especifica en el artículo 532 de este Pliego. Hasta la aplicación del riego de curado deberá mantenerse la superficie constantemente húmeda, para lo cual deberá regarse con la debida frecuencia, pero teniendo cuidado para que no se produzcan encharcamientos.

Cuando la capa de suelo estabilizado no constituya la coronación de la explanada, podrá prescindirse del riego de curado siempre que se mantenga la superficie húmeda durante un periodo mínimo de tres a siete días (3 a 7 d) a partir de su terminación, y previa autorización del Director de las Obras.

Si se prevé la posibilidad de heladas dentro de un plazo de siete días (7 d) a partir de la terminación, el suelo estabilizado deberá protegerse contra aquéllas, siguiendo las instrucciones del Director de las Obras.

En los suelos estabilizados con cemento que constituyan capas de coronación para la formación de explanadas de categoría E1, E2 y E3, de las definidas en la Norma 6.1 - IC de Secciones de firme, mientras no se hayan finalizado la compactación, la terminación de la superficie y el curado final del suelo estabilizado in situ con cemento, se prohibirá todo tipo de circulación que no sea imprescindible para dichas operaciones. Una vez ejecutado el riego de curado, no podrán circular sobre él vehículos ligeros en los tres (3) primeros días, ni vehículos pesados en los siete primeros días (7 d), salvo con autorización expresa del Director de las Obras y estableciendo previamente una protección del riego de curado, mediante la extensión de una capa de árido de cobertura, según lo indicado en el artículo 532 de este Pliego. Dicha protección, que deberá garantizar la integridad del riego de curado durante un periodo mínimo de siete días (7 d), se barrerá antes de ejecutar otra unidad de obra sobre el suelo estabilizado.

Se procurará una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la traza.

En el caso de las estabilizaciones con cal y si se hubieran empleado para la compactación rodillos cuyo peso individual fuera superior a veinticinco toneladas (25 t), el Director de las Obras podrá autorizar la puesta en obra de la siguiente capa de firme inmediatamente después de la terminación de la superficie, prescindiendo del curado final.

En el caso de estabilizaciones con cemento, el Director de las Obras fijará en función de los tipos, ritmos y programa de trabajo, el plazo para la extensión de la capa superior, que deberá ser el mayor posible, siempre que se impida la circulación del tráfico de obra sobre la capa estabilizada. En ningún caso el plazo de extensión de las capas superiores será inferior a siete días (7 d).

512.6 TRAMO DE PRUEBA

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

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras fijará la longitud del tramo de prueba, que no podrá ser inferior a cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

Además, al comienzo de cada tramo homogéneo:

- ▶ Se comprobará la profundidad de la estabilización.
- ▶ Se ajustará la velocidad de avance del equipo para obtener la profundidad de estabilización, la disgregación requerida y una mezcla uniforme y homogénea.
- ▶ Se comprobará y ajustará la fórmula de trabajo obtenida para ese tramo.

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

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

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

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

512.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

512.7.1 Resistencia y densidad

La capacidad de soporte o la resistencia y la densidad del suelo estabilizado in situ con cal o con cemento deberán cumplir lo especificado en la tabla 512.4, según el tipo de suelo y la categoría de explanada que se pretenda conseguir.

512.7.2 Terminación, rasante, anchura y espesor

La superficie de la capa estabilizada terminada deberá presentar un aspecto uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.

La rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella, en más de treinta milímetros (30 mm) en estabilizaciones in situ de fondos de desmonte y formación de núcleos de terraplén. En los supuestos de estabilizaciones in situ para conseguir categorías de explanadas E1 a E3 de las definidas en la Norma 6.1-IC de Secciones de firmes, la rasante no podrá quedar por debajo de la teórica en más de veinte milímetros (20 mm).

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

El espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo; en caso contrario se procederá según el apartado 512.10.3

512.7.3 Regularidad superficial

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, de estabilizaciones in situ de capas para la formación de explanadas E3 de las categorías de tráfico pesado T00 y T0 deberá cumplir lo fijado en la tabla 512.7.

TABLA 512.7 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

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

512.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la ejecución de la estabilización in situ:

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

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

cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral y de transporte y almacenamiento de materiales, estuviese vigente y respetando las limitaciones indicadas en el apartado 512.5.5.

512.9 CONTROL DE CALIDAD

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

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

512.9.1 Control de procedencia de los materiales

512.9.1.1 Cal

Se seguirán las prescripciones del artículo 200 de este Pliego.

512.9.1.2 Cemento

Se seguirán las prescripciones del artículo 202 de este Pliego.

512.9.1.3 Suelo

Antes de iniciar la estabilización, se identificará cada tipo de suelo, determinando su aptitud. El reconocimiento se realizará de la forma más representativa posible, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

De cada tipo de suelo, y sea cual fuere la cantidad que se va a estabilizar, se tomarán como mínimo cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada cinco mil metros cúbicos (5 000 m³), o fracción, de exceso sobre veinte mil metros cúbicos (20 000 m³) de suelo.

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- ▶ Granulometría por tamizado, según la UNE 103101.
- ▶ Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

- ▶ Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.
- ▶ Contenido de sulfatos solubles (expresados en SO_3), según la UNE 103201.

El Director de las Obras podrá ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, así como la realización de ensayos adicionales. El Director de las Obras comprobará, además, la retirada de la eventual montera del suelo y la exclusión de vetas no utilizables.

En el caso de que el suelo sea clasificado como tolerable según los criterios del artículo 330 de este Pliego, se realizarán también los ensayos:

- ▶ Ensayo de colapso, según la NLT-254.
- ▶ Ensayo de hinchamiento, según la UNE 103601.

512.9.2 Control de ejecución

Se desecharán los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo admisible.

Se tomará diariamente un mínimo de dos (2) muestras del suelo antes de mezclarlo con la cal o con el cemento, una por la mañana y otra por la tarde, sobre las que se determinará su humedad natural, según la UNE 103300.

Se comprobará la eficacia de disgregación pasando la disgregadora sin mezclar con el conglomerante del orden de veinte metros (20 m) una vez al día. Se considerará que se mantienen los resultados de eficacia de disgregación mientras no cambie el tipo de suelo o el contenido de humedad de forma significativa y se mantenga la velocidad de avance y la velocidad del rotor del equipo de disgregación. La frecuencia de ensayo podría ser disminuida por el Director de las Obras si se observa que la eficacia de disgregación es correcta y no cambia de unos días a otros.

Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se controlará el funcionamiento de las boquillas de inyección de la lechada de cal o de cemento. Asimismo, se controlará diariamente el consumo efectivo de cal o de cemento con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido. En el caso de distribución en seco, se comprobará la dotación de cal o de cemento utilizada mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares colocados sobre la superficie.

Por cada lote de los definidos en 512.9.3, se tomarán cinco (5) muestras aleatorias del suelo recién mezclado con la cal o con el cemento sobre las que se determinará el índice CBR a siete días (7 d), según la UNE 103502, para los suelos S-EST1 y S-EST2 o la resistencia a compresión simple, según la NLT-305, para los suelos S-EST3. En

ambos casos, las probetas se confeccionarán según el procedimiento descrito en la NLT-310, con la densidad exigida en obra.

Por cada diez mil metros cúbicos (10 000 m³) de suelo estabilizado in situ con cal o con cemento o una (1) vez a la semana, si se estabilizara una cantidad menor, se realizará un ensayo Proctor modificado de la mezcla, según la UNE 103501.

En el caso de que el suelo original hubiera presentado hinchamiento o colapso en los ensayos mencionados en el apartado 512.9.1.3, por cada cuarenta y cinco mil metros cúbicos (45 000 m³) de suelo estabilizado in situ con cal o con cemento o una (1) vez al mes, si se estabilizara una cantidad menor, se realizará un (1) ensayo de colapso, según la NLT-254 y un (1) ensayo de hinchamiento según la UNE 103601. Estos ensayos se realizarán a la edad que fije el Director de las Obras a la vista de los resultados de los ensayos descritos en el apartado 512.3.

El Director de las Obras podrá reducir la frecuencia de ensayos a la mitad (1/2) si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada (apartado 512.9.3) se hubieran aprobado diez (10) lotes consecutivos.

Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote de los definidos en 512.9.3. En el caso de que se empleen sondas nucleares u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente contrastados y calibrados en la realización del tramo de prueba, con los ensayos de determinación de humedad natural, según la UNE 103300, y de densidad in situ, según la UNE 103503. Sin perjuicio de lo anterior será preceptivo que la calibración y contraste de estos equipos con los ensayos UNE 103300 y UNE 103503 se realice periódicamente durante la ejecución de las obras, en plazos no inferiores a quince días (15 d), ni superiores a treinta días (30 d).

En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas se proseguirá el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos, lo que sólo sería posible en el caso de las estabilizaciones con cemento si se estuviera dentro del plazo de trabajabilidad.

Durante la ejecución de las obras se comprobará con la frecuencia necesaria, a juicio del Director de las Obras:

- ▶ La temperatura y la humedad relativa del aire mediante un termohigrógrafo registrador.
- ▶ El espesor estabilizado, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras.

- ▶ La humedad del suelo mediante un procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- ▶ La composición y forma de actuación del equipo utilizado en la ejecución de la estabilización, verificando:
 - Que el número y el tipo de los equipos sean los aprobados.
 - En su caso, el funcionamiento de los dispositivos de disgregación, humectación, limpieza y protección.
 - El lastre y el peso total de los compactadores.
 - La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
 - La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
 - El número de pasadas de cada equipo, especialmente de los compactadores.

Se realizará como mínimo un (1) control diario de la dotación de emulsión bituminosa empleada para el riego de curado o protección y, en su caso, del árido de cobertura, de acuerdo con lo especificado en el artículo 532 de este Pliego.

512.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

Si durante la construcción apareciesen defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

Se considerará como lote de recepción, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los cuatro (4) criterios siguientes a una (1) sola capa de suelo estabilizado in situ con cal o con cemento:

- ▶ Quinientos metros (500 m) de calzada.
- ▶ Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada.
- ▶ La fracción construida diariamente.
- ▶ La fracción construida con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de ejecución.

Se asignarán a cada lote de recepción las probetas fabricadas durante el control de ejecución que le correspondan. En los puntos donde se realice el control de la compactación, se determinará el espesor de la capa de suelo estabilizado in situ con cal o con cemento.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles

transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa.

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en la tabla 512.7.

512.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DEL LOTE

512.10.1 Densidad

Por cada lote, la densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en la tabla 512.4 y no más de dos (2) muestras podrán presentar resultados individuales inferiores en dos (2) puntos porcentuales a la densidad especificada.

Los ensayos de determinación de la humedad tendrán carácter indicativo y no constituirán, por sí solos, base para la aceptación o el rechazo.

En el caso de que la densidad media obtenida fuera inferior al valor especificado en la tabla 512.4, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si la densidad media fuera inferior en tres puntos porcentuales (3%) a la densidad especificada para cada tipo de material en la tabla 512.4, se levantará la capa de suelo estabilizado correspondiente al lote controlado y se repondrá, con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista.
- ▶ Si la densidad media obtenida no fuera inferior en tres puntos porcentuales (3%) a la especificada, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de suelo estabilizado correspondiente al lote controlado.

512.10.2 Resistencia

Para cada lote, la media de los índices CBR o de la resistencia a compresión simple, según el tipo de suelo estabilizado, no deberá ser inferior al valor especificado en la tabla 512.4, y ningún resultado individual podrá ser inferior a dicho valor en más de un veinte por ciento (20 %).

En el caso de que la media de los índices CBR o de la resistencia fuera inferior al valor especificado, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si el resultado obtenido fuera inferior al noventa por ciento (90%) del valor de referencia especificado, se levantará la capa de suelo estabilizado

correspondiente al lote controlado y se repondrá, con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista.

- ▶ Si el resultado obtenido no fuera inferior al noventa por ciento (90%) del valor de referencia especificado, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%) a la capa de suelo estabilizado correspondiente al lote controlado.

512.10.3 Espesor

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

En el caso de que el espesor medio obtenido sea inferior al especificado, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si el espesor medio obtenido fuera inferior al ochenta por ciento (80 %) del especificado, se levantará la capa de suelo estabilizado correspondiente al lote controlado y se repondrá, con un material aceptado por el Director de las Obras, por cuenta del Contratista.
- ▶ Si el espesor medio obtenido fuera superior al ochenta por ciento (80 %) del especificado, se podrá admitir siempre que se compense la merma de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior por cuenta del contratista.

No se permitirá en ningún caso el recrecimiento en capa delgada.

512.10.4 Rasante

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas en el apartado 512.7.2, ni existirán zonas que retengan agua. Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario, sin incremento de coste para la Administración. Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, este se corregirá por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

512.10.5 Regularidad superficial

Los resultados de la medida de la regularidad superficial de la capa acabada no excederán de los límites establecidos en el apartado 512.7.3. Si no ocurriese así, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se corregirán los defectos mediante refino y recompactación por cuenta del Contratista. En el caso de las estabilizaciones con cemento, el refino y la recompactación sólo podrá hacerse si se está dentro del plazo de trabajabilidad. Si se hubiera rebasado dicho plazo, se demolerá y reconstruirá totalmente la zona afectada, de acuerdo con las instrucciones del Director de las Obras.
- ▶ Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

512.11 MEDICIÓN Y ABONO

Tanto la cal como el cemento empleados en la estabilización in situ de suelos se abonará por toneladas (t) realmente empleadas, obtenidas multiplicando la medición obtenida de suelo estabilizado por la dosificación media deducida del control de dosificación de cada lote.

La ejecución del suelo estabilizado in situ con cal o con cemento se abonará por metros cúbicos (m³) de material estabilizado, los cuales se obtendrán como producto de la superficie realmente estabilizada, medida sobre el terreno, por el espesor medio de estabilización deducido de los ensayos de control. No serán de abono las creces laterales.

La aplicación del ligante bituminoso para el riego de curado, así como el eventual árido de protección superficial, incluida su extensión y apisonado, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

512.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

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

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo,

se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

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

NORMAS REFERENCIADAS

NLT-254	Ensayo de colapso en suelos.
NLT-305	Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
NLT-310	Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados.
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.
UNE 41240	Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. Métodos de ensayo. Determinación del plazo de trabajabilidad.
UNE 103101	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103201	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos de un suelo.
UNE 103204	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103300	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103502	Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice CBR de un suelo.
UNE 103503	Determinación "in situ" de la densidad de un suelo por el método de la arena.
UNE 103601	Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro.
UNE 146507-1	Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.

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

513 MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO (SUELOCIMIENTO Y GRAVACIMIENTO)

513.1 DEFINICIÓN

Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- ▶ Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- ▶ Fabricación de la mezcla en central.
- ▶ Preparación de la superficie existente.
- ▶ Transporte y extensión de la mezcla.
- ▶ Prefisuración (cuando sea necesario).
- ▶ Compactación y terminación.
- ▶ Curado y protección superficial.

En este artículo se definen dos tipos de material tratado con cemento denominados, respectivamente, suelocimiento (SC40 y SC20) y gravacemento (GC25 y GC20).

513.2 MATERIALES

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

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

513.2.1 Cemento

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras fijará el tipo y la clase resistente del cemento. Éste cumplirá las prescripciones del artículo 202 de este Pliego y las adicionales que establezca, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Salvo justificación en contrario, la clase resistente del cemento será la 32,5N (32,5 para cementos especiales). El Director de las obras podrá autorizar en épocas frías el empleo de un cemento de clase resistente 42,5N (42,5 para cementos especiales). No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en fábrica.

Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO_3) en los materiales granulares que se vayan a utilizar, determinado según la UNE 103201, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos y aislar adecuadamente estas capas del firme de las obras de paso de hormigón.

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

513.2.2 Materiales granulares

513.2.2.1 Características generales

El material granular que se vaya a utilizar en el suelocemento será una zahorra, natural u obtenida por trituración, o un suelo granular. También se podrán utilizar subproductos o productos inertes de desecho, en cuyo caso sus características y las condiciones para su utilización deberán venir fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El material granular estará exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

En la gravacemento se utilizará un árido natural procedente de la trituración de piedra de cantera o de gravera. También se podrán utilizar productos inertes de desecho o subproductos, en cuyo caso, sus características y las condiciones para su utilización deberán venir fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El árido se suministrará, al menos, en dos (2) fracciones granulométricas diferenciadas.

El material granular del suelocemento o el árido de la gravacemento no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes del material granular o del árido que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la NLT-326.

513.2.2.2 Composición química

No se utilizarán los materiales que presenten una proporción de materia orgánica, según la UNE 103204, superior al uno por ciento (1%).

El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (SO_3), referidos al material granular en seco, determinados según la UNE-EN 1744-1, no será superior al uno por ciento (1%) ni a ocho décimas expresadas en términos porcentuales (0,8%).

El material granular o el árido no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento. Con materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de SiO_2 y de la reducción de la alcalinidad R, según la UNE 146507-1, serán considerados potencialmente reactivos si:

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

513.2.2.3 Plasticidad

El límite líquido del material granular del suelocemento, según la UNE 103103, deberá ser inferior a treinta (30), y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, deberá ser inferior a quince (15).

El árido fino para capas de gravacemento, en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, será no plástico. En los restantes casos se cumplirán las condiciones siguientes:

- ▶ Límite líquido inferior a veinticinco ($LL < 25$), según la UNE 103103.
- ▶ Índice de plasticidad inferior a seis ($IP < 6$), según la UNE 103104.

513.2.2.4 Características específicas del árido para gravacemento

513.2.2.4.1 Árido grueso

Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

La proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5, deberá cumplir lo fijado en la tabla 513.1.

TABLA 513.1 PROPORCIÓN MÍNIMA (% en masa) DE PARTÍCULAS TRITURADAS DEL ÁRIDO GRUESO

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 a T1	T2	T3 y T4
CALZADA	75	50	30
ARCENES	50	30	

El máximo índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, será fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sin que en ningún caso sea superior al indicado en la tabla 513.2.

TABLA 513.2 - VALOR MÁXIMO DEL ÍNDICE DE LAJAS DEL ÁRIDO GRUESO

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00 a T2	T3 y T4
CALZADA	30	35
ARCENES	40	

El máximo valor del coeficiente de Los Ángeles de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2, deberá establecerse en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sin que en ningún caso sea superior al indicado en la tabla 513.3.

TABLA 513.3 - VALOR MÁXIMO DEL COEFICIENTE LOS ÁNGELES DEL ÁRIDO GRUESO

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00 a T2	T3 y T4
CALZADA	30	35
ARCENES	40	

En las categorías de tráfico pesado T1 y T2 con materiales reciclados procedentes de capas de mezclas bituminosas, pavimentos de hormigón, materiales tratados con cemento o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco megapascales (35 MPa), el valor del coeficiente de desgaste los Ángeles podrá ser inferior a treinta y cinco (35).

La proporción de terrones de arcilla no excederá del dos y medio por mil (0,25%) en masa, según la UNE 7133.

513.2.2.4.2 Árido fino

Se define como árido fino a la parte del árido total que pasa por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a cuarenta (40), para la gravacemiento tipo GC20, y a treinta y cinco (35), para la gravacemiento tipo GC25. De no cumplirse estas condiciones, su índice de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a uno (1) y, simultáneamente, el equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a treinta (30), para ambos tipos.

La proporción de terrones de arcilla no excederá del uno por ciento (1%) en masa, según la UNE 7133.

513.2.3 Agua

El agua cumplirá las prescripciones del artículo 280 de este Pliego.

513.2.4 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los aditivos que puedan utilizarse para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla, los cuales deberán ser especificados en la fórmula de trabajo y aprobados por el Director de las Obras. Este podrá autorizar el empleo de un retardador de fraguado para ampliar el plazo de trabajabilidad del material, según las condiciones meteorológicas, así como establecer el método que se vaya a emplear para su incorporación y las especificaciones que debe cumplir dicho aditivo y las propiedades de la mezcla tras su incorporación.

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

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

513.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares definirá el tipo y composición del suelocemento y de la gravacemento, cuya granulometría, contenido de cemento y resistencia a compresión simple deberán cumplir lo indicado en este apartado.

La granulometría del material granular empleado en la fabricación del suelocemento deberá ajustarse a uno de los husos definidos en la tabla 513.4.1. El tipo SC20 sólo se podrá emplear en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 y en arcenes.

TABLA 513.4.1 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL MATERIAL GRANULAR DEL SUELOCEMENTO

TIPO DE SUELO-CEMENTO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% en masa) ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,063
SC40	100	80-100	67-100	62-100	53-100	45-89	30-65	17-52	5-37	2-20
SC20	-	-	100	92-100	76-100	63-100	48-100	36-94	18-65	2-35

La granulometría de los áridos empleados en la fabricación de la gravacemento deberá ajustarse a uno de los husos definidos en la tabla 513.4.2. El tipo GC25 sólo se podrá emplear en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 y en arcenes, en sustitución del suelocemento SC40.

TABLA 513.4.2 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO DE LA GRAVACEMENTO

TIPO DE GRAVA-CEMENTO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% en masa) ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)							
	40	25	20	8	4	2	0,500	0,063
GC25	100	76-100	67-91	38-63	25-48	16-37	6-21	1-7
GC20	-	100	80-100	44-68	28-51	19-39	7-22	1-7

El contenido mínimo de cemento del suelocemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas en la tabla 513.5. En cualquier caso dicho contenido no será inferior al tres por ciento (3%) en masa, respecto del total del material granular en seco.

El contenido mínimo de cemento de la gravacemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas en la tabla 513.5. En cualquier caso dicho contenido no será inferior al tres y medio por ciento (3,5%) en masa, respecto del total del árido en seco.

**TABLA 513.5 - RESISTENCIA MEDIA (*) A COMPRESIÓN A SIETE DÍAS (7 d),
SEGÚN LA NLT-305, (MPa)**

MATERIAL	ZONA	Mínima	Máxima
GRAVACIMIENTO	Calzada	4,5	7,0
	Arcenes	4,5	6,0
SUELOCIMIENTO	Calzada y arcenes	2,5	4,5

(*) Por resistencia media se entiende la media aritmética de los resultados obtenidos al menos sobre tres (3) probetas de la misma amasada, definida de acuerdo a lo indicado en el apartado 513.9.2.1. Las probetas se compactarán según la NLT-310, con la energía que proporcione la densidad mínima requerida en el apartado 513.7.1 y nunca con una energía mayor.

En el caso de emplearse cementos para usos especiales (ESP VI-1) estos valores se disminuirán en un quince por ciento (15%).

El plazo de trabajabilidad de una mezcla con cemento se determinará de acuerdo con la UNE 41240, no pudiendo ser inferior al indicado en la tabla 513.6. En el supuesto de la puesta en obra por franjas, el material resultante deberá tener un plazo de trabajabilidad tal que permita completar la compactación de cada una de ellas antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente ejecutada previamente.

TABLA 513.6 – PLAZO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD (t_{pm})

TIPO DE EJECUCIÓN	t_{pm} (minutos)
ANCHURA COMPLETA	180
POR FRANJAS	240

513.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

No se podrá utilizar en la ejecución de los materiales tratados con cemento ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras, después de la ejecución del tramo de prueba.

513.4.1 Central de fabricación

Se podrán utilizar centrales de mezcla continua o discontinua. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará la producción horaria mínima de la central.

En cualquier caso, la instalación deberá permitir dosificar por separado el material granular o las distintas fracciones de árido, el cemento, el agua y, en su caso, los aditivos, en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas para los materiales granulares deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero que evite que un exceso de contenido afecte al funcionamiento del sistema de clasificación. Se dispondrán con una separación suficiente para evitar contaminaciones entre ellas y deberán, asimismo, estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá si los sistemas de dosificación de los materiales pueden ser volumétricos o han de ser necesariamente ponderales. En cualquier caso, para carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, incluidos los arcenes, los sistemas de dosificación de las fracciones del árido y del cemento serán inexcusablemente ponderales.

En las centrales de fabricación con dosificadores ponderales, éstos deberán ser independientes y disponer al menos uno (1) para el material granular o, en su caso, para cada una de las fracciones del árido de la gravacemiento, cuya precisión sea superior al dos por ciento ($\pm 2\%$), y al menos uno (1) para el cemento, cuya precisión sea superior al uno por ciento ($\pm 1\%$).

El agua añadida se controlará mediante un caudalímetro, cuya precisión sea superior al dos por ciento ($\pm 2\%$), y un totalizador con indicador en la cabina de mando de la central.

En el caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la central deberá tener sistemas de almacenamiento y de dosificación independientes de los correspondientes al resto de los materiales, protegidos de la humedad, y un sistema que permita su dosificación de acuerdo con la fórmula de trabajo y las tolerancias establecidas en este artículo.

Los equipos de mezcla deberán ser capaces de asegurar una completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

513.4.2 Elementos de transporte

La mezcla se transportará al lugar de empleo en camiones de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia. Deberán disponer de lonas o cobertores adecuados para

proteger la mezcla durante su transporte. Por seguridad de la circulación vial será inexcusable el empleo de cobertores para el transporte por carreteras en servicio.

En el caso de utilizarse extendedoras como equipos de extensión, la altura y forma de los camiones será tal que, durante el vertido en la extendidora, el camión sólo toque a aquélla a través de los rodillos previstos al efecto.

Los medios de transporte deberán estar adaptados, en todo momento, al ritmo de ejecución de la obra teniendo en cuenta la capacidad de producción de la central y del equipo de extensión y la distancia entre la central y el tajo de extensión.

513.4.3 Equipo de extensión

En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, incluidos los arcenes, se utilizarán extendedoras automotrices, que estarán dotadas de los dispositivos necesarios para extender el material con la configuración deseada, así como de dispositivos automáticos de nivelación.

En el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde los camiones, ésta deberá realizarse a través de dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto adecuado del material delante del equipo de extensión.

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.

Las anchuras mínima y máxima de extensión se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, por el Director de las Obras. Si al equipo de extensión pudieran acoplarse piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar perfectamente alineadas con las originales.

513.4.4 Equipo de compactación

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario. La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo por un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos y un (1) compactador de neumáticos.

El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y será capaz de

alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

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

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

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar. Se utilizarán placas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr resultados análogos a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

513.4.5 Equipo para la ejecución de juntas transversales en fresco

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

El Director de las Obras podrá autorizar en obras pequeñas (menos de 70 000 m²) la utilización de equipos para la ejecución de juntas transversales en fresco provistos de un útil de corte que penetre al menos un tercio ($1/3$) del espesor de la capa una vez compactada.

513.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

La producción de un material tratado con cemento no se podrá iniciar en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en el laboratorio y verificada en la central de fabricación y en el tramo de prueba, la cual deberá señalar, como mínimo:

- ▶ La identificación y proporción (en seco) del material granular o de cada fracción de árido en la alimentación (en masa).
- ▶ La granulometría del material granular o, en su caso, del árido combinado, por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico dada en el apartado 513.3.
- ▶ La dosificación en masa o en volumen, según corresponda, de cemento, de agua y, eventualmente, de aditivos.
- ▶ La densidad máxima y la humedad óptima del Proctor modificado, según la UNE 103501.
- ▶ La densidad mínima a alcanzar.
- ▶ El plazo de trabajabilidad de la mezcla.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el Director de las Obras podrá corregir la fórmula de trabajo, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. En todo caso se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 513.7, teniendo en cuenta que en ningún caso los valores podrán sobrepasar los límites establecidos en el correspondiente huso granulométrico adoptado.

TABLA 513.7 – TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO (*)

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

(*) En el suelocemento únicamente se exigen las relativas al cemento y a la humedad de compactación

513.5.2 Preparación de la superficie existente

Se comprobarán la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender el suelocemento o la gravacemento. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras indicará las medidas necesarias para obtener una regularidad superficial aceptable y, en su caso, para reparar las zonas dañadas.

En época seca y calurosa, y siempre que sea previsible una pérdida de humedad del material extendido, el Director de las Obras podrá ordenar que la superficie de apoyo se riegue ligeramente inmediatamente antes de la extensión, de forma que ésta quede húmeda pero no encharcada, eliminándose las acumulaciones de agua en superficie que hubieran podido formarse.

513.5.3 Fabricación de la mezcla

En el momento de iniciar la fabricación de la mezcla el material granular o las fracciones del árido estarán acopiados en cantidad suficiente para permitir a la central un trabajo sin interrupciones. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras fijará el volumen mínimo de acopios exigibles en función de las características de la obra y del volumen de mezcla que se vaya a fabricar. En el caso de obras con una superficie de calzada inferior a setenta mil metros cuadrados (70 000 m²) estará acopiado el cien por cien (100%) del volumen. En obras de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2 o con una superficie de calzada superior a setenta mil metros cuadrados (70 000 m²) el volumen mínimo a exigir en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se determinará en función de las características de la obra, con el margen de seguridad necesario, no siendo nunca inferior al correspondiente al treinta por ciento (30%) del total.

La carga de las tolvas 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. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones de los materiales granulares.

La operación de mezcla se realizará mediante dispositivos capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes. El Director de las Obras fijará, a partir de los ensayos iniciales, el tiempo mínimo de amasado.

Se comenzará mezclando los materiales granulares y el cemento, añadiéndose posteriormente el agua y los aditivos, que irán disueltos en aquella. La cantidad de agua añadida a la mezcla será la necesaria para alcanzar la humedad fijada en la fórmula de trabajo, teniendo en cuenta la existente en el material granular, así como la variación del

contenido de agua que se pueda producir por evaporación durante la ejecución de los trabajos. El amasado se proseguirá hasta obtener la completa homogeneización de los componentes de la mezcla, dentro de las tolerancias fijadas.

En las instalaciones de mezcla discontinua, no se volverá a cargar la amasadora sin haber vaciado totalmente su contenido.

513.5.4 Transporte de la mezcla

En el transporte de los materiales tratados con cemento se tomarán las debidas precauciones para reducir al mínimo la segregación y las variaciones de humedad. Se cubrirá siempre la mezcla con lonas o cobertores adecuados.

513.5.5 Vertido y extensión de la mezcla

El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. El espesor de la tongada antes de compactar deberá ser tal que, con la compactación, se obtenga el espesor previsto en los Planos con las tolerancias establecidas en este artículo, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se permitirá el recrecimiento de espesor en capas delgadas una vez iniciada la compactación.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la anchura de extensión. Siempre que sea posible el suelocemento o la gravacemento se extenderá en la anchura completa. En caso contrario, y a menos que el Director de las Obras ordene otra cosa, la extensión comenzará por el borde inferior y se realizará por franjas longitudinales. La anchura de éstas será tal que se realice el menor número de juntas posibles y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características del equipo de extensión y la producción de la central. Únicamente se permitirá la colocación de la mezcla por semianchos contiguos cuando pueda garantizarse que la compactación y terminación de la franja extendida en segundo lugar se haya finalizado antes de haber transcurrido el plazo de trabajabilidad de la primera, a no ser que el Director de las Obras autorice la ejecución de una junta de construcción longitudinal.

513.5.6 Prefisuración

Se hará una prefisuración de las capas tratadas con cemento en los casos en los que así se señale en la Norma 6.1-IC de Secciones de firme, y siempre que lo indique el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o el Director de las Obras.

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

Se empleará el equipo y el método de ejecución aprobados y fijados por el Director de las Obras, después de la realización del tramo de prueba.

513.5.7 Compactación y terminación

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba. Se compactará mientras la mezcla esté dentro de su plazo de trabajabilidad, hasta alcanzar la densidad especificada en el apartado 513.7.1.

La compactación se realizará de manera continua y sistemática. Si la extensión del material se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior, por lo que se deberá disponer en los bordes de una contención lateral adecuada.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de extensión, los cambios de dirección de los equipos de compactación 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.

En todo momento, y especialmente en tiempo seco y caluroso, o con fuerte viento, deberá mantenerse húmeda la superficie mediante un riego con agua finamente pulverizada.

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

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

513.5.8 Ejecución de juntas de trabajo

Se dispondrán juntas de trabajo transversales cuando el proceso constructivo se interrumpa más tiempo que el plazo de trabajabilidad y siempre al final de cada jornada.

Si se trabaja por fracciones de la anchura total se dispondrán juntas de trabajo longitudinales siempre que no sea posible compactar el material de una franja dentro del plazo máximo de trabajabilidad del material de la franja adyacente puesto en obra con anterioridad, lo cual debe ser evitado en la medida de lo posible.

Las juntas de trabajo se realizarán de forma que su borde quede perfectamente vertical, aplicando a dicho borde el tratamiento que ordene el Director de las Obras.

513.5.9 Curado y protección superficial

Una vez terminada la capa se procederá a la aplicación de un riego con una emulsión bituminosa, del tipo y en la cantidad que figuren en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o que, en su defecto, señale el Director de las Obras, de acuerdo con lo indicado en el artículo 532 de este Pliego.

Esta operación se efectuará inmediatamente después de acabada la compactación, y en ningún caso después de transcurrir tres horas (3 h) desde la terminación, manteniéndose hasta entonces la superficie en estado húmedo.

Se prohibirá la circulación de todo tipo de vehículos sobre las capas recién ejecutadas, al menos durante los tres días (3 d) siguientes a su terminación, y durante siete días (7 d) a los vehículos pesados.

En el caso de que se vaya a circular por encima de la capa de suelocemento o de gravacemento antes de la ejecución de la capa superior, deberá protegerse el riego de curado extendiendo un árido de cobertura, que cumplirá lo especificado en el artículo 532 de este Pliego. Tras su extensión se procederá al apisonado con un compactador de neumáticos y, previamente a la apertura al tráfico, se barrerá para eliminar el árido sobrante.

El Director de las Obras fijará, dependiendo de los tipos, ritmos y programas de trabajo, el plazo para la extensión de la capa superior, que deberá ser el máximo posible. En ningún caso será inferior a siete días (7 d).

513.6 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse la puesta en obra de los materiales tratados con cemento será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba que se realizará con el espesor previsto y la fórmula de trabajo estudiada y empleando los mismos medios que se vayan a utilizar luego por el Contratista para la ejecución de las obras, para comprobar la fórmula de trabajo, los equipos necesarios para la ejecución de las obras y, especialmente, la forma de actuación del equipo de compactación. Asimismo, se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del material con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de la capa, granulometría, contenido de cemento y demás requisitos exigidos.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizará la correspondencia, en su caso, entre los métodos de control de la humedad y densidad in situ, establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas, y otros métodos rápidos de control.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será inferior a cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

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

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

513.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

513.7.1 Densidad

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad de la capa tras el proceso de compactación, la cual no deberá ser inferior al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad máxima Proctor modificado, según la UNE 103501, definida en la fórmula de trabajo.

513.7.2 Resistencia mecánica

La resistencia a compresión simple a siete días (7 d), según la NLT-305, deberá estar comprendida entre los límites especificados en el apartado 513.3.

513.7.3 Terminación, rasante, anchura y espesor

La superficie de la capa terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones, y con las pendientes adecuadas. La rasante no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o el Director de las Obras, podrán modificar el límite anterior.

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

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

513.7.4 Regularidad superficial

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 513.8, en función de su posición relativa bajo las capas de mezclas bituminosas y de la categoría de tráfico pesado.

TABLA 513.8 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO Y POSICIÓN RELATIVA DE LA CAPA		
	T00 a T2		T3, T4 Y ARCENES
	1ª CAPA BAJO MEZCLAS BITUMINOSAS	2ª CAPA BAJO MEZCLAS BITUMINOSAS	
50	< 2,5	< 3,0	< 3,0
80	< 3,0	< 3,5	< 3,5
100	< 3,5	< 4,0	< 4,0

513.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la ejecución de materiales tratados con cemento:

- ▶ Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35 °C).
- ▶ Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C) y exista previsión de heladas. El Director de las obras podrá bajar este límite a la vista de los resultados de compactación y consecución de resistencias en obra.
- ▶ Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

513.9 CONTROL DE CALIDAD

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

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

513.9.1 Control de procedencia de los materiales

513.9.1.1 Cemento

Se seguirán las prescripciones del artículo 202 de este Pliego.

513.9.1.2 Materiales granulares

De cada procedencia del material granular para la fabricación de suelocemento y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada una de ellas se determinará:

- ▶ El límite líquido y el índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- ▶ El contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.
- ▶ El contenido de sulfatos solubles en agua, según la UNE-EN 1744-1.
- ▶ La granulometría del material granular, según la UNE-EN 933-1.

Si con el árido para la fabricación de la gravacemento se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad homologado, según lo indicado en el apartado 513.12, los criterios descritos a continuación para

realizar el control de procedencia del árido para la gravacemiento no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

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

- ▶ El coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.
- ▶ Índice de lajas, según la UNE-EN-933-3
- ▶ Proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.
- ▶ El contenido de sulfatos solubles en ácido, según la UNE-EN 1744-1.
- ▶ La granulometría de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.

El Director de las Obras podrá ordenar la realización de los siguientes ensayos adicionales sobre los áridos de la gravacemiento:

- ▶ Proporción de terrones de arcilla del árido grueso y del árido fino, según la UNE 7133.
- ▶ Equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8, y, en su caso, de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.
- ▶ Límite líquido y el índice de plasticidad del árido fino, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

513.9.2 Control de ejecución

513.9.2.1 Fabricación

Se examinará la descarga al acopio o la alimentación de la central de fabricación, desechando los materiales granulares que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo aprobado en la fórmula de trabajo. Se acopiarán aparte los que presenten alguna anomalía de aspecto, tales como distinta coloración, segregación, plasticidad, etc., hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

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

Con el material granular del suelocemiento o con cada fracción granulométrica del árido de la gravacemiento que se produzca o reciba, se realizarán los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos (1 000 m³) de materiales granulares o cada día si se emplea menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

- ▶ Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1, para cada fracción del árido de la gravacemento.
- ▶ Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente, con el material granular del suelocemento.
- ▶ Equivalente de arena del árido fino de la gravacemento, según la UNE-EN 933-8, y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

Por cada cinco mil metros cúbicos (5 000 m³) de áridos de la gravacemento o una (1) vez a la semana si se emplea menos material:

- ▶ El índice de lajas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.
- ▶ Límite líquido e índice de plasticidad del árido fino, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- ▶ Proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.

Al menos una (1) vez al mes o siempre que se cambie de procedencia:

- ▶ Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204, del material granular.
- ▶ Contenido de sulfatos solubles en agua, según la UNE-EN 1744-1, del material granular del suelocemento.
- ▶ Contenido de sulfatos solubles en ácido, según la UNE-EN 1744-1, del árido de la gravacemento.
- ▶ Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso de la gravacemento, según la UNE-EN 1097-2.
- ▶ Proporción de terrones de arcilla del árido grueso y del árido fino de la gravacemento, según la UNE 7133.

Asimismo se tomará un mínimo de dos (2) veces al día (mañana y tarde), según la UNE-EN 932-1, al menos una (1) muestra representativa de la mezcla de componentes en seco, y se determinará su granulometría, según la UNE-EN 933-1.

En las instalaciones de fabricación con mezclador de funcionamiento continuo se calibrará diariamente el flujo de la cinta suministradora de materiales en seco, deteniéndola cargada, recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida. Al menos una (1) vez cada quince días (15 d) se verificará, en su caso, la precisión de las básculas de dosificación, mediante un conjunto adecuado de pesas patrón.

A la salida del mezclador se controlará el aspecto de la mezcla en cada elemento de transporte, rechazándose todas las mezclas segregadas y aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Al menos una (1) vez por lote se determinará la humedad del material tratado, según la UNE 103300, y en todo caso se llevará a cabo este control dos (2) veces al día, una por la mañana y otra por la tarde. Asimismo, se llevará un control del consumo medio de cemento.

Se tomarán muestras a la descarga del mezclador con las que se fabricarán probetas para la comprobación de su resistencia a compresión, que se conservarán según las condiciones previstas en la UNE 83301. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el número de amasadas diferentes que se deben controlar, así como el número de probetas por amasada que haya que fabricar.

En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 y T0, se controlarán por cada lote como mínimo tres (3) amasadas diferentes, valor que se podrá reducir a dos (2) en los restantes casos. El número de probetas confeccionadas de cada amasada no será inferior a tres (3).

En el caso de centrales discontinuas se considerará como amasada cada una de las descargas de la mezcladora, mientras que en centrales continuas será el producto resultante de tres (3) descargas seguidas de la mezcladora.

Para la fabricación de probetas se utilizará el método indicado en la NLT-310, si bien las probetas deberán compactarse hasta alcanzar una densidad seca no superior a la mínima exigida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Dichas probetas se ensayarán a la edad de siete días (7 d), según la NLT-305.

513.9.2.2 Puesta en obra

513.9.2.2.1 Vertido y extensión

Antes de verter la mezcla, se comprobará su homogeneidad, rechazándose todo el material seco o segregado.

Se comprobará continuamente el espesor extendido mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras, teniendo en cuenta la disminución que sufrirá al compactarse el material.

513.9.2.2.2 Compactación

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

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

Se efectuarán mediciones de la densidad y de la humedad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) medidas por cada lote definido en el apartado 513.9.3. Para la realización de estos ensayos se podrán utilizar métodos rápidos no destructivos, siempre que, mediante ensayos previos, se haya determinado una correspondencia razonable entre estos métodos y los definidos en la UNE 103503. Sin perjuicio de lo anterior, será preceptivo que la calibración y contraste de estos equipos con los ensayos UNE 103300 y UNE 103503 se realice periódicamente durante la ejecución de las obras, en plazos no inferiores a quince días (15 d) ni superiores a treinta (30).

513.9.2.2.3 Curado y protección superficial

Se controlará que la superficie de la capa permanezca constantemente húmeda hasta la extensión del producto de curado, pero sin que se produzcan encharcamientos.

Se realizará un (1) control diario, como mínimo, de la dotación de emulsión bituminosa empleada en el riego de curado, y, en su caso, del árido de cobertura, de acuerdo con lo especificado en el artículo 532 de este Pliego.

513.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

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

- ▶ Quinientos metros (500 m) de calzada.
- ▶ Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada.
- ▶ La fracción construida diariamente.

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

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 513.7.4.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprobará que la superficie extendida y compactada presenta un aspecto uniforme, así como una ausencia de segregaciones. Se verificará también la anchura de la capa.

513.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

513.10.1 Densidad

Las densidades medias obtenidas in situ en el lote no deberán ser inferiores a las especificadas en el apartado 513.7.1; no más de dos (2) individuos de la muestra podrán arrojar resultados de hasta dos (2) puntos porcentuales por debajo de la densidad exigida. En los puntos que no cumplan lo anterior se realizarán ensayos de resistencia mecánica sobre testigos aplicándose los criterios establecidos en el apartado 513.10.2.

513.10.2 Resistencia mecánica

La resistencia media de un lote a una determinada edad, se determinará como media de las resistencias de las probetas fabricadas de acuerdo con lo indicado en el apartado 513.9.2.1. Si la resistencia media de las probetas del lote a los siete días (7 d) fuera superior a la mínima e inferior a la máxima de las referenciadas, se aceptará el lote.

Si la resistencia media fuera superior a la máxima deberán realizarse juntas de contracción por serrado a una distancia no superior a la indicada en el apartado 513.5.6 y de forma que no queden a menos de dos metros y medio (2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar.

Si la resistencia media fuera inferior a la mínima exigida, pero no a su noventa por ciento (90%), el Contratista podrá elegir entre aceptar las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o solicitar la realización de ensayos de información. Si fuera inferior al noventa por ciento (90%) de la mínima exigida el Contratista podrá elegir entre demoler el lote o esperar a los resultados de los ensayos de resistencia sobre testigos.

Los ensayos de información para la evaluación de la resistencia mecánica del lote no conforme se realizarán, en su caso, comparando los resultados de ensayos a compresión simple de testigos extraídos de ese lote con los de extraídos de un lote aceptado. Éste deberá estar lo más próximo posible y con unas condiciones de puesta en obra similares a las del lote no conforme.

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

El valor medio de los resultados de los testigos del lote no conforme se comprobará con el valor medio de los extraídos en el lote aceptado:

- ▶ Si no fuera inferior, el lote se podrá aceptar.
- ▶ Si fuera inferior a él pero no a su noventa por ciento (90%), se aplicará al lote las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- ▶ Si fuera inferior a su noventa por ciento (90%) pero no a su ochenta por ciento (80%), el Director de las Obras podrá aplicar las sanciones previstas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o bien ordenar la demolición del lote y su reconstrucción, por cuenta del Contratista.
- ▶ Si fuera inferior a su ochenta por ciento (80%), se demolerá el lote y se reconstruirá, por cuenta del Contratista.

Si no se cumple alguna de las condiciones indicadas se rechazará el lote, que será demolido, y su producto trasladado a vertedero o empleado como indique el Director de las Obras.

513.10.3 Espesor

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

Si el espesor medio obtenido fuera inferior al ochenta y cinco por ciento (85 %) del especificado, se demolerá la capa correspondiente al lote controlado y se repondrá, por cuenta del Contratista. Si el espesor medio obtenido fuera superior al ochenta y cinco por ciento (85 %) del especificado, se compensará la diferencia con un espesor adicional equivalente de la capa superior aplicado en toda la anchura de la sección tipo, por cuenta del Contratista.

No se permitirá en ningún caso el recrecimiento en capa delgada.

513.10.4 Rasante

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

513.10.5 Regularidad superficial

Los resultados de la medida de la regularidad superficial de la capa acabada no excederán de los límites establecidos en el apartado 513.7.4. Si se sobrepasaran dichos límites, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista, teniendo en cuenta todo lo especificado en el apartado 513.10.3.
- ▶ Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

513.11 MEDICIÓN Y ABONO

La preparación de la superficie existente se considerará incluida en la unidad de obra correspondiente a la construcción de la capa subyacente y, por tanto, no habrá lugar a su abono por separado. Sin embargo, cuando dicha construcción no se haya realizado bajo el mismo contrato, la preparación de la superficie existente se abonará por metros cuadrados (m²), medidos en el terreno.

El cemento se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas por pesada directa en báscula debidamente contrastada.

La ejecución de los materiales tratados con cemento, incluida la ejecución de juntas en fresco, se abonará por metros cúbicos (m³) realmente fabricados y puestos en obra, medidos en los Planos de secciones tipo. El abono del árido y del agua empleados en la mezcla con cemento se considerará incluido en el de la ejecución.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá fijar un único abono de la gravacemiento o del suelocemento, en el que se incluyan todas las operaciones y todos los componentes, incluso el cemento.

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

513.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

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

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

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

NORMAS REFERENCIADAS

NLT-305	Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
NLT-310	Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados.

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
UNE 7133	Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones.
UNE 41240	Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. Métodos de ensayo. Determinación del plazo de trabajabilidad.
UNE 83301	Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.
UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103201	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos de un suelo.
UNE 103204	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103300	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103503	Determinación "in situ" de la densidad de un suelo por el método de la arena.
UNE 146507-1	Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: Determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
UNE-EN 933-5	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 azul de metileno.

UNE-EN 1097-2 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

UNE-EN 1744-1 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.

551 HORMIGÓN MAGRO VIBRADO

551.1 DEFINICIÓN

Se define como hormigón magro vibrado la mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base bajo pavimentos de hormigón, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

La ejecución del hormigón magro vibrado incluye las siguientes operaciones:

- ▶ Estudio y obtención de la fórmula de trabajo.
- ▶ Preparación de la superficie de asiento.
- ▶ Fabricación del hormigón.
- ▶ Transporte del hormigón.
- ▶ Colocación de elementos de guía y acondicionamiento de los caminos de rodadura para la pavimentadora.
- ▶ Puesta en obra del hormigón.
- ▶ Protección y curado del hormigón fresco.

551.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, 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 además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

551.2.1 Cemento

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras deberá fijar el tipo y la clase resistente del cemento a emplear, la cual será, salvo justificación en contrario, la 32,5N o la 42,5N. El cemento cumplirá las prescripciones del artículo 202 de este Pliego y las adicionales que establezca el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

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

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el principio de fraguado, según la UNE-EN 196-3, que, en todo caso, no podrá tener lugar antes de las dos horas (2 h).

551.2.2 Agua

El agua deberá cumplir las prescripciones del artículo 280 de este Pliego.

551.2.3 Árido

El árido cumplirá las prescripciones del artículo 610 de este Pliego y las prescripciones adicionales contenidas en este artículo.

Los áridos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes de los áridos que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la NLT-326.

551.2.3.1 Árido grueso

551.2.3.1.1 Definición de árido grueso

Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

551.2.3.1.2 Características generales del árido grueso

El tamaño máximo del árido grueso no será superior a cuarenta milímetros (40 mm). Se suministrará, como mínimo, en dos (2) fracciones granulométricas diferenciadas.

551.2.3.1.3 Calidad del árido grueso (resistencia a la fragmentación)

El coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, deberá ser inferior a treinta y cinco (35).

551.2.3.1.4 Forma del árido grueso (índice de lajas)

El índice de lajas, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a treinta y cinco (35).

551.2.3.2 Árido fino

551.2.3.2.1 Definición de árido fino

Se define como árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

551.2.3.2.2 Características generales del árido fino

El árido fino será arena natural rodada. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá permitir que el árido fino tenga una proporción determinada de arena de machaqueo.

551.2.3.2.3 Limpieza del árido fino

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el valor del equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8. Dicho valor no será inferior a setenta y cinco (75), ni a ochenta (80) en zonas sometidas a heladas.

551.2.3.2.4 Granulometría del árido fino

La curva granulométrica del árido fino, según la UNE-EN 933-1, estará comprendida dentro de los límites que se señalan en la tabla 551.1.

**TABLA 551.1 - HUSO GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO.
CERNIDO ACUMULADO (% en masa)**

ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)						
4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063
81-100	58-85	39-68	21-46	7-22	1-8	0-6

Se podrá admitir un cernido acumulado de hasta un ocho por ciento (8%) por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, si el contenido de partículas arcillosas, según la UNE 7133, fuera inferior a siete decigramos (0,7 g).

Adoptada una curva granulométrica dentro de los límites indicados, se admitirá respecto de su módulo de finura, según la UNE-EN 933-1, una variación máxima del cinco por ciento (5%). A estos efectos, se define el módulo de finura como la suma de las

diferencias ponderales acumuladas, expresadas en tanto por uno, por cada uno de los siete (7) tamices especificados en la tabla 551.1.

551.2.4 Aditivos

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los aditivos que puedan utilizarse para obtener la trabajabilidad adecuada y mejorar las características de la mezcla. El Director de las Obras establecerá la necesidad de utilizar aditivos y su modo de empleo, de acuerdo con las condiciones de ejecución, las características de la obra y las condiciones climáticas. En cualquier circunstancia, los aditivos utilizados deberán cumplir las condiciones establecidas en la UNE-EN 934-2.

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

551.2.5 Productos filmógenos de curado

Los productos filmógenos de curado deberán cumplir las prescripciones del artículo 285 de este Pliego.

551.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN MAGRO VIBRADO

La resistencia media a compresión simple a veintiocho días (28 d) del hormigón magro vibrado, referida a probetas cilíndricas, de quince centímetros (15 cm) de diámetro y treinta centímetros (30 cm) de altura, fabricadas y conservadas según la UNE 83301 y ensayadas según la UNE 83304, deberá estar comprendida entre quince y veintidós megapascales (15 a 22 MPa).

A efectos de este artículo, la resistencia media a compresión simple a veintiocho días (28 d) se define como la media aritmética de los resultados obtenidos sobre tres (3) probetas de la misma amasada, definida de acuerdo a lo indicado en el apartado 551.9.3.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras especificará el ensayo para la determinación de la consistencia del hormigón, así como los límites admisibles en sus resultados. Si se mide la consistencia según la UNE 83313, el asiento deberá estar comprendido entre dos y seis centímetros (2 y 6 cm).

La masa unitaria del total de partículas cernidas por el tamiz 0,125 mm de la UNE-EN 933-2, incluyendo el cemento, no será inferior a doscientos cincuenta kilogramos por metro cúbico de hormigón magro vibrado (250 kg/m^3).

La dosificación de cemento no será inferior a ciento cuarenta kilogramos por metro cúbico (140 kg/m^3) de hormigón fresco y la relación ponderal de agua/cemento (a/c) no será superior a ciento quince centésimas (1,15).

La proporción de aire ocluido en el hormigón fresco vertido en obra, según la UNE 83315, no será superior al cinco por ciento (5%), en volumen. En zonas sometidas a nevadas o heladas será obligatoria la utilización de un inclusor de aire; en este caso, la proporción de aire ocluido en el hormigón fresco no será inferior al cuatro por ciento (4%), en volumen.

551.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

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

551.4.1 Central de fabricación

El hormigón magro se fabricará en centrales de mezcla discontinua, capaces de manejar, simultáneamente, el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada. La producción horaria de la central de fabricación deberá ser capaz de suministrar el hormigón sin que la alimentación del equipo de extensión se interrumpa a la velocidad de avance aprobada por el Director de las Obras, considerada como mínimo de sesenta metros por hora (60 m/h).

Las tolvas para los áridos deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, y estarán provistas de dispositivos para evitar intercontaminaciones; su número mínimo será función del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Para el cemento a granel se utilizará una báscula independiente de la utilizada para los áridos. El mecanismo de carga estará enclavado contra un eventual cierre antes de que la tolva de pesada estuviera adecuadamente cargada. El de descarga contra una eventual apertura antes de que la carga de cemento en la tolva de pesada hubiera finalizado, y de que la masa del cemento en ella difiriera en menos del uno por ciento ($\pm 1\%$) de la especificada; además estará diseñado de forma que permita la regulación de la salida del cemento sobre los áridos.

La dosificación de los áridos se podrá efectuar por pesadas acumuladas en una (1) sola tolva o individualmente con una (1) tolva de pesada independiente para cada fracción.

En el primer caso, las descargas de las tolvas de alimentación y la descarga de la tolva de pesada estarán enclavadas entre sí, de forma que:

- ▶ No podrá descargar más de un (1) silo al mismo tiempo.
- ▶ El orden de descarga no podrá ser distinto al previsto.
- ▶ La tolva de pesada no se podrá descargar hasta que haya sido depositada en ella la cantidad requerida de cada uno de los áridos, y estén cerradas todas las descargas de las tolvas.
- ▶ La descarga de la tolva de pesada deberá estar enclavada contra una eventual apertura, antes de que la masa de árido en la tolva difiera en menos de un uno por ciento (1%) del acumulado de cada fracción.

Si se utilizasen tolvas de pesada independientes para cada fracción, todas ellas deberán poder ser descargadas simultáneamente. La descarga de cada tolva de pesada deberá estar enclavada contra una eventual apertura antes de que la masa de árido en ella difiera en menos de un dos por ciento ($\pm 2\%$) de la especificada.

El enclavamiento no permitirá que se descargue parte alguna de la dosificación, hasta que todas las tolvas de los áridos y la del cemento estuvieran correctamente cargadas, dentro de los límites especificados. Una vez comenzada la descarga, quedarán enclavados los dispositivos de dosificación, de tal forma que no se pueda comenzar una nueva dosificación hasta que las tolvas de pesada estén vacías, sus compuertas de descarga cerradas y los indicadores de masa de las balanzas a cero, con una tolerancia del tres por mil (0,3%) de su capacidad total.

Los dosificadores ponderales deberán estar aislados de vibraciones y de movimientos de otros equipos de la central, de forma que, cuando ésta funcione, sus lecturas, después de paradas las agujas, no difieran de la masa designada en más del uno por ciento ($\pm 1\%$) para el cemento, uno y medio por ciento ($\pm 1,5\%$) para cada fracción del árido o uno por ciento ($\pm 1\%$) para el total de las fracciones si la masa de éstas se determinase conjuntamente. Su precisión no deberá ser inferior al cinco por mil ($\pm 0,5\%$) para los áridos, ni al tres por mil ($\pm 0,3\%$) para el cemento. El agua añadida se medirá en masa o en volumen, con una precisión no inferior al uno por ciento ($\pm 1\%$) de la cantidad total requerida.

Una vez fijadas las proporciones de los componentes, la única operación manual que se podrá efectuar para dosificar los áridos y el cemento de una amasada será la de accionamiento de interruptores y conmutadores. Los mandos del dosificador deberán

estar en un compartimento fácilmente accesible, pero que pueda ser cerrado con llave cuando así se requiera.

Si se prevé la incorporación de aditivos a la mezcla, la central deberá poder dosificarlos con precisión suficiente, a juicio del Director de las Obras. Los aditivos en polvo se dosificarán en masa y los aditivos en forma de líquido o de pasta en masa o en volumen, con una precisión no inferior al tres por ciento ($\pm 3\%$) de la cantidad especificada de producto.

El temporizador del amasado y el de la descarga del mezclador deberán estar enclavados de tal forma que, durante el funcionamiento del mezclador, no se pueda producir la descarga hasta que haya transcurrido el tiempo de amasado previsto.

551.4.2 Elementos de transporte

El transporte del hormigón magro podrá realizarse en camiones hormigonera o en camiones de caja lisa y estanca. En este último caso, los camiones deberán ir siempre provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger al hormigón magro durante su transporte, evitando la excesiva evaporación del agua o la intrusión de elementos extraños.

Deberán disponerse los equipos necesarios para la limpieza de los elementos de transporte antes de recibir una nueva carga de hormigón magro.

La producción horaria del equipo de transporte deberá ser capaz de suministrar el hormigón magro sin que la alimentación del equipo de extensión se interrumpa a la velocidad de avance aprobada por el Director de las Obras, considerada como mínimo de sesenta metros por hora (60 m/h).

551.4.3 Equipos de puesta en obra del hormigón magro

551.4.3.1 Con pavimentadoras de encofrados deslizantes

La puesta en obra se realizará mediante una pavimentadora de encofrados deslizantes, capaz de extender, vibrar y enrasar uniformemente el hormigón fresco. El Director de las Obras podrá exigir un equipo para el reparto previo del hormigón magro en toda la anchura de pavimentación.

La pavimentadora deberá estar equipada con un sistema de guía por cable, debiendo actuar los servomecanismos correctores apenas las desviaciones de la pavimentadora rebasen tres milímetros (3 mm) en alzado, o diez milímetros (10 mm) en planta.

La pavimentadora estará dotada de encofrados móviles de dimensiones, forma y resistencia suficientes para sostener el hormigón lateralmente durante el tiempo necesario para obtener la sección transversal prevista, sin asiento del borde de la losa. Tendrá los dispositivos adecuados acoplados para mantener limpios los caminos de rodadura del conjunto de los equipos de extensión y terminación.

La pavimentadora deberá poder compactar adecuadamente el hormigón fresco en toda la anchura del pavimento, mediante vibración interna aplicada por elementos cuya separación estará comprendida entre cuarenta y sesenta centímetros (40 a 60 cm), medidos entre sus centros. La separación entre el centro del vibrador extremo y la cara interna del encofrado correspondiente no excederá de quince centímetros (15 cm). La frecuencia de cada vibrador no será inferior a ochenta hertzios (80 Hz), y su amplitud será suficiente para ser perceptible en la superficie del hormigón fresco a una distancia de treinta centímetros (30 cm).

Los elementos vibratorios no se deberán apoyar, en ningún caso, en la capa inferior, y dejarán de funcionar en el instante en que se detenga la pavimentadora.

La longitud de la maestra enrasadora deberá ser suficiente para que no se aprecien ondulaciones en la superficie del hormigón extendido.

551.4.3.2 Equipos manuales

En áreas pequeñas o en reparaciones en las que se utilice el hormigón magro con superplastificantes (reductores de agua de alta actividad), el Director de las Obras podrá autorizar su extensión y compactación por medios manuales. En este caso, para enrasar el hormigón magro se utilizará una regla vibrante ligera.

Si el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares admitiera el fratasado manual, o si el Director de las Obras lo autorizara, en los lugares en que, por su forma o por su ubicación, no sea posible el empleo de máquinas, la superficie del hormigón se alisará y nivelará con fratasas de una longitud no inferior a cuatro metros (4 m) y una anchura no inferior a diez centímetros (10 cm), rigidizados con costillas y dotados de un mango suficientemente largo para ser manejados desde zonas adyacentes a la de extensión.

551.4.4 Distribuidor del producto filmógeno de curado

Los pulverizadores deberán asegurar un reparto continuo y uniforme en toda la anchura de la losa y en sus costados descubiertos, e ir provistos de dispositivos que proporcionen una adecuada protección del producto pulverizado contra el viento y de otro mecánico en el tanque de almacenamiento del producto, que lo mantendrá en continua agitación durante su aplicación.

En zonas pequeñas o inaccesibles a dispositivos mecánicos, el Director de las Obras podrá autorizar el empleo de pulverizadores manuales.

551.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

551.5.1 Estudio y obtención de la fórmula de trabajo

La producción del hormigón magro no se podrá iniciar en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en el laboratorio y verificada en la central de fabricación y en el tramo de prueba, la cual deberá señalar, como mínimo:

- ▶ La identificación y proporción ponderal en seco de cada fracción del árido en la amasada.
- ▶ La granulometría de los áridos combinados por los tamices 40 mm; 25 mm; 20 mm; 12,5 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,500 mm; 0,250 mm; 0,125 mm; y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.
- ▶ La dosificación de cemento, la de agua y, eventualmente, la de cada aditivo, referidas a la amasada (en masa o en volumen, según corresponda).
- ▶ La resistencia mínima a compresión simple, a veintiocho días (28 d).
- ▶ La consistencia del hormigón fresco y el contenido de aire ocluido.

Será preceptiva la realización de ensayos de resistencia a compresión simple, para cada fórmula de trabajo, con objeto de comprobar que los materiales y medios disponibles en obra permiten obtener un hormigón magro con las características exigidas. Los ensayos de resistencia se llevarán a cabo sobre probetas procedentes de seis (6) amasadas diferentes, confeccionando dos (2) series de tres (3) probetas por amasada, según la UNE 83301, admitiéndose para ello el empleo de una mesa vibrante. Dichas probetas se conservarán en las condiciones previstas en la citada norma, para ensayar a compresión simple, según la UNE 83304, una (1) serie de cada una de las amasadas a siete días (7 d) y la otra a veintiocho días (28 d).

La resistencia de cada amasada a una cierta edad se determinará como la media de la resistencia de las probetas confeccionadas con hormigón de dicha amasada y ensayadas a dicha edad.

Si la resistencia media a siete días (7 d) resultara superior al ochenta por ciento (80%) de la especificada a veintiocho días (28 d), y no se hubieran obtenido resultados del contenido de aire ocluido y de la consistencia fuera de los límites establecidos, se podrá proceder a la realización de un tramo de prueba con ese hormigón magro. En caso

contrario, se deberá esperar a los veintiocho días (28 d) y se introducirán los ajustes necesarios en la dosificación, y se repetirán los ensayos de resistencia.

Si la marcha de las obras lo aconsejase, el Director de las mismas podrá exigir la corrección de la fórmula de trabajo, que se justificará mediante los ensayos oportunos. En todo caso se estudiará y aprobará una nueva fórmula siempre que varíe la procedencia de alguno de los componentes, o si, durante la producción, se rebasasen las tolerancias establecidas en este artículo.

551.5.2 Preparación de la superficie de asiento

Se comprobarán la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que vaya a extenderse el hormigón magro vibrado. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá indicar las medidas necesarias para obtener dicha regularidad superficial y, en su caso como subsanar las deficiencias.

Se prohibirá circular sobre la superficie preparada, salvo al personal y equipos que sean imprescindibles para la ejecución de la capa. En este caso, se tomarán todas las precauciones que exigiera el Director de las Obras, cuya autorización será preceptiva.

En época seca y calurosa, y siempre que sea previsible una pérdida de humedad del hormigón magro, el Director de las Obras podrá exigir que la superficie de apoyo se riegue ligeramente con agua, inmediatamente antes de la extensión, de forma que ésta quede húmeda, pero no encharcada, eliminándose las acumulaciones que hubieran podido formarse.

551.5.3 Fabricación del hormigón magro

551.5.3.1 Acopio 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 de áridos. Cada fracción será suficientemente homogénea y se deberá poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

El número de fracciones no podrá ser inferior a tres (3) para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, incluidos arcenes. El Director de las Obras podrá exigir un mayor número de fracciones, si lo estimará necesario para mantener la composición y características del hormigón magro vibrado.

Cada fracción del árido se acopiará separada de las demás para evitar que se produzcan contaminaciones entre ellas. Si los acopios se fueran a disponer sobre el terreno natural, se drenará la plataforma y no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos, a no ser que se pavimente la zona de acopio. 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 el suministro de los áridos, se acopiarán por separado hasta confirmar su aceptabilidad; esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido. No se emplearán métodos de transporte desde los acopios a las tolvas de la central que pudieran causar segregación, degradación o mezcla de fracciones de distintos tamaños.

El volumen mínimo de acopios antes de iniciar la producción de la mezcla no deberá ser inferior al cincuenta por ciento (50%), en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2.

551.5.3.2 Suministro y acopio de cemento

El cemento se suministrará y acopiará de acuerdo con el artículo 202 de este Pliego.

La masa mínima de cemento acopiado en todo momento no deberá ser inferior a la necesaria para la fabricación del hormigón durante una jornada y media (1,5) con un rendimiento normal. El Director de las Obras podrá autorizar la reducción de este límite a una (1) jornada, si la distancia entre la central de hormigonado y la fábrica de cemento fuera inferior a cien kilómetros (100 km).

551.5.3.3 Acopio de aditivos

Los aditivos se protegerán convenientemente de la intemperie y de toda contaminación; los sacos de productos en polvo se almacenarán en un lugar ventilado y defendido, tanto de la intemperie como de la humedad del suelo y de las paredes. Los aditivos suministrados en forma líquida y los pulverulentos diluidos en agua se almacenarán en depósitos estancos y protegidos de las heladas, equipados de elementos agitadores para mantener permanentemente los sólidos en suspensión.

551.5.3.4 Amasado del hormigón magro

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

necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del árido fino, aun cuando ésta fuera de un (1) único tipo y granulometría, se efectuará dividiendo la carga entre dos (2) tolvas.

El amasado se realizará mediante dispositivos capaces de asegurar la completa homogeneización de todos los componentes. La cantidad de agua añadida a la mezcla será la necesaria para alcanzar la relación agua/cemento fijada por la fórmula de trabajo; para ello, se tendrá en cuenta el agua aportada por la humedad de los áridos, especialmente del árido fino.

Los aditivos en forma líquida o en pasta se añadirán al agua de amasado, mientras que los aditivos en polvo se deberán introducir en el mezclador, junto con el cemento o los áridos.

A la descarga del mezclador todo el árido deberá estar uniformemente distribuido en el hormigón magro, y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de pasta de cemento. Los tiempos de mezcla y amasado necesarios para lograr una masa homogénea y uniforme, sin segregación, así como la temperatura máxima del hormigón al salir del mezclador serán fijados durante la realización del tramo de prueba especificado en el apartado 551.6. Si se utilizase hielo para enfriar el hormigón, la descarga no comenzará hasta que se hubiera fundido en su totalidad, y se tendrá en cuenta para la relación agua/cemento (a/c).

Antes de volver a cargar el mezclador, se vaciará totalmente su contenido. Si hubiera estado parado más de treinta minutos (30 min), se limpiará perfectamente antes de volver a verter materiales en él. De la misma manera se procederá antes de comenzar la fabricación de hormigón con un nuevo tipo de cemento.

551.5.4 Transporte del hormigón magro

El transporte del hormigón magro desde la central de fabricación hasta su puesta en obra se realizará tan rápidamente como sea posible. El hormigón transportado en vehículo abierto se protegerá con cobertores contra la lluvia o la desecación.

La máxima caída libre vertical del hormigón en cualquier punto de su recorrido no excederá de un metro y medio (1,5 m) y, si la descarga se hiciera al suelo, se procurará que se realice lo más cerca posible de su ubicación definitiva, reduciendo al mínimo posteriores manipulaciones.

551.5.5 Elementos de guía y acondicionamiento de los caminos de rodadura para pavimentadoras de encofrados deslizantes

La distancia entre piquetes que sostengan el cable de guía de las pavimentadoras de encofrados deslizantes no podrá ser superior a diez metros (10 m); dicha distancia se reducirá a cinco metros (5 m) en curvas de radio inferior a quinientos metros (500 m) y en acuerdos verticales de parámetro inferior a dos mil metros (2 000 m). Se tensará el cable de forma que su flecha entre dos piquetes consecutivos no sea superior a un milímetro (1 mm).

Donde se hormigone una franja junto a otra existente, se podrá usar ésta como guía de las máquinas. En este caso, deberá haber alcanzado una edad mínima de tres días (3 d) y se protegerá la superficie de la acción de las orugas interponiendo bandas de goma, chapas metálicas u otros materiales adecuados, a una distancia conveniente del borde. Si se observaran daños estructurales o superficiales en los caminos de rodadura, se suspenderá el hormigonado, reanudándolo cuando aquél hubiera adquirido la resistencia necesaria, o adoptando precauciones suficientes para que no se vuelvan a producir dichos daños.

Los caminos de rodadura de las orugas estarán suficientemente compactados para permitir su paso sin deformaciones, y se mantendrán limpios. No deberán presentar irregularidades superiores a quince milímetros (15 mm).

551.5.6 Puesta en obra del hormigón magro

La puesta en obra del hormigón se realizará con pavimentadoras de encofrados deslizantes. La descarga y la extensión previa del hormigón en toda la anchura de pavimentación se realizarán de modo suficientemente uniforme para no desequilibrar el avance de la maquina; esta precaución se deberá extremar al hormigonar en rampa.

Se cuidará que delante de la maestra enrasadora se mantenga en todo momento, y en toda la anchura de la pavimentación, un volumen suficiente de hormigón fresco en forma de cordón de unos diez centímetros (10 cm) como máximo de altura; delante de los fratases de acabado se mantendrá un cordón continuo de mortero fresco, de la menor altura posible.

Se dispondrán pasarelas móviles con objeto de facilitar la circulación del personal y evitar daños al hormigón fresco, y los tajos de hormigonado deberán tener todos sus accesos correctamente señalizados y acondicionados para proteger la capa recién construida.

Donde el Director de las Obras autorizase la extensión y la compactación del hormigón por medios manuales, se mantendrá siempre un volumen suficiente de hormigón delante de la regla vibrante, y se continuará compactando hasta que se haya conseguido la forma prevista y la lechada fluya ligeramente a la superficie.

551.5.7 Ejecución de juntas

En caso de que el Director de las Obras autorizase la ejecución de una junta longitudinal de hormigonado, se prestará la mayor atención y cuidado a que el hormigón magro que se coloque a lo largo de esta junta sea homogéneo y quede perfectamente compactado. La junta distará al menos medio metro (0,5 m) de cualquier junta longitudinal prevista en el pavimento de hormigón.

Las juntas transversales de hormigonado se dispondrán al final de la jornada, o donde se hubiera producido, por cualquier causa, una interrupción en el hormigonado que hiciera temer un comienzo de fraguado, según el apartado 551.8.1.

551.5.8 Terminación

Se prohibirá el riego con agua o la extensión de mortero sobre la superficie del hormigón fresco para facilitar su acabado. Donde fuera necesario aportar material para corregir una zona baja, se empleará hormigón aún no extendido. En todo caso, antes de que comience a fraguar el hormigón, se dará a su superficie un acabado liso y homogéneo, según determine el Director de las Obras.

551.5.9 Protección y curado del hormigón magro

551.5.9.1 Generalidades

Durante el primer período de endurecimiento, se protegerá el hormigón contra el lavado por lluvia, contra la desecación rápida, especialmente en condiciones de baja humedad relativa del aire, fuerte insolación o viento, y contra enfriamientos bruscos o congelación.

Si el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, lo exige, se colocará sobre las máquinas de puesta en obra un tren de tejadillos bajos de color claro, cerrados y móviles, que cubran una longitud de capa igual, al menos, a cincuenta metros (50 m). Alternativamente, el Director de las Obras podrá autorizar la utilización de una lámina de plástico o un producto de curado resistente a la lluvia.

Durante un período que, salvo autorización expresa del Director de las Obras, no será inferior a tres días (3 d) a partir de la puesta en obra del hormigón, estará prohibido todo tipo de circulación sobre la capa recién ejecutada, con excepción de la imprescindible para comprobar la regularidad superficial.

551.5.9.2 Curado con productos filmógenos

El hormigón magro se curará con un producto filmógeno durante el plazo que fije el Director de las Obras, salvo que éste autorice el empleo de otro sistema. Deberán someterse a curado todas las superficies expuestas de la losa, incluidos sus bordes, apenas queden libres.

Si para el curado se utilizasen productos filmógenos, se aplicarán apenas hubieran concluido las operaciones de acabado y no quedase agua libre en la superficie de la capa.

El producto de curado será aplicado, en toda la superficie de hormigón, por medios mecánicos que aseguren una pulverización del producto en un rocío fino de forma continua y uniforme, con la dotación aprobada por el Director de las Obras, que no podrá ser inferior a doscientos gramos por metro cuadrado (200 g/m²).

En condiciones ambientales adversas de baja humedad relativa, altas temperaturas, fuertes vientos o lluvia, el Director de las Obras podrá exigir que el producto de curado se aplique antes y con mayor dotación.

551.5.9.3 Curado por humedad

Si la capa de hormigón magro vibrado se curase por humedad, se cubrirá su superficie con arpilleras, esterillas u otros materiales análogos de alto poder de retención de humedad, que se mantendrán saturados durante el período de curado. Dichos materiales no deberán estar impregnados ni contaminados por sustancias perjudiciales para el hormigón.

Mientras que la superficie del hormigón no se cubra con el pavimento, se mantendrá húmeda adoptando las precauciones necesarias para que en ninguna circunstancia se deteriore la superficie del hormigón.

551.5.10 Protección térmica

Durante el período de curado, el hormigón magro deberá protegerse contra la acción de la helada o de un enfriamiento rápido. En el caso de que se tema una posible helada, se

protegerá con una membrana de plástico lastrada contra el viento y aprobada por el Director de las Obras, hasta el día siguiente a su puesta en obra.

Si fuera probable el enfriamiento brusco de un hormigón sometido a elevadas temperaturas diurnas, como en caso de lluvia después de un soleamiento intenso o de un descenso de la temperatura ambiente en más de quince grados Celsius (15 °C) entre el día y la noche, se deberá proteger la capa en la forma indicada en el párrafo anterior.

551.6 TRAMO DE PRUEBA

Adoptada una fórmula de trabajo, según el apartado 551.5.1, se procederá a la realización de un tramo de prueba con el mismo equipo, velocidad de hormigonado y espesor que se vayan a utilizar en la obra.

La longitud del tramo de prueba definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá ser, como mínimo, de cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si fuera aceptable su realización como parte integrante de la obra de construcción.

En el tramo de prueba se comprobará que:

- ▶ Los medios de vibración serán capaces de compactar adecuadamente el hormigón magro en todo su espesor.
- ▶ Se podrán cumplir las prescripciones de terminación y de regularidad superficial.
- ▶ El proceso de protección y de curado será adecuado.

Si la ejecución no fuese satisfactoria, se procederá a la realización de otro tramo de prueba, introduciendo las oportunas variaciones en los equipos o métodos de puesta en obra. No se podrá proceder a la construcción de la capa en tanto que un tramo de prueba no haya sido aprobado por el Director de las Obras.

El curado del tramo de prueba se prolongará durante el período prescrito en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, y, a los veintiséis días (26 d) de su puesta en obra, se extraerán de él seis (6) testigos cilíndricos, según la UNE 83302; situados en emplazamientos aleatorios que disten entre sí un mínimo de siete metros (7 m) en sentido longitudinal, y separados más de cincuenta centímetros (50 cm) de cualquier junta o borde. Estos testigos se ensayarán a compresión simple, según la UNE 83304, a veintiocho días (28 d) de edad, después de haber sido conservados durante las cuarenta y ocho horas (48 h) anteriores al ensayo en las condiciones previstas en la UNE 83302. El valor medio de los resultados de estos ensayos servirá de base para su comparación con los resultados de los ensayos de información, a los que se refiere el apartado 551.9.3.3.

551.7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

551.7.1 Resistencia

La resistencia a compresión simple a veintiocho días (28 d) cumplirá lo indicado en el apartado 551.3 de este artículo.

551.7.2 Alineación, rasante, espesor y anchura

Las desviaciones en planta, respecto a la alineación teórica, no deberán ser superiores a cuatro centímetros (4 cm) con longitudes de referencia de tres metros (3 m) y la superficie de la capa deberá tener las pendientes indicadas en los Planos.

La rasante de la superficie acabada no deberá quedar por debajo de la teórica, en más de diez milímetros (10 mm), ni rebasar a ésta en ningún punto; el espesor de la capa no podrá ser inferior, en ningún punto, al previsto en los Planos de secciones tipo. En todos los perfiles se comprobará la anchura extendida, que en ningún caso podrá ser inferior a la teórica deducida de la sección tipo de los Planos.

551.7.3 Regularidad superficial

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, no superará los valores indicados en la tabla 551.2.

TABLA 551.2 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

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

551.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

551.8.1 Generalidades

Se interrumpirá el hormigonado cuando llueva con una intensidad que pudiera, a juicio del Director de las Obras, dañar al hormigón magro fresco.

La descarga del hormigón, transportado en camiones sin elementos de agitación, deberá realizarse antes de que haya transcurrido un período máximo de cuarenta y cinco minutos (45 min), a partir de la introducción del cemento y de los áridos en el

mezclador. El Director de las Obras podrá aumentar este plazo si se utilizan retardadores de fraguado, o disminuirlo si las condiciones atmosféricas originan un rápido endurecimiento del hormigón.

No deberá transcurrir más de una hora (1 h) entre la fabricación del hormigón y su terminación. El Director de las Obras podrá aumentar este plazo hasta un máximo de dos horas (2 h), si se emplean cementos cuyo principio de fraguado no tenga lugar antes de dos horas y media (2 h 30 min), si se adoptan precauciones para retrasar el fraguado del hormigón o si las condiciones de humedad y temperatura son favorables.

Salvo que se instale una iluminación suficiente, a juicio del Director de las Obras, el hormigonado de la capa se detendrá con la antelación suficiente para que el acabado se pueda concluir con luz natural.

Si se interrumpe la puesta en obra por más de media hora (1/2 h), se cubrirá el frente de hormigonado de forma que se impida la evaporación del agua. Si el plazo de interrupción fuera superior al máximo admitido entre la fabricación y la puesta en obra del hormigón, se dispondrá una junta de hormigonado transversal, de acuerdo con lo establecido en el apartado 551.5.7.

551.8.2 Limitaciones en tiempo caluroso

En tiempo caluroso se extremarán las precauciones, de acuerdo con las indicaciones del Director de las Obras, a fin de evitar desecaciones superficiales y fisuraciones.

Apenas la temperatura ambiente rebase los treinta grados Celsius (30 °C), se controlará constantemente la temperatura del hormigón, la cual no deberá rebasar en ningún momento los treinta y cinco grados Celsius (35 °C). El Director de las Obras podrá ordenar la adopción de precauciones suplementarias a fin de que el material que se fabrique no supere dicho límite.

551.8.3 Limitaciones en tiempo frío

La temperatura de la masa de hormigón magro, durante su puesta en obra, no será inferior a cinco grados Celsius (5 °C) y se prohibirá la puesta en obra del hormigón magro sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a cero grados Celsius (0 °C).

En general, se suspenderá la puesta en obra siempre que se prevea que, dentro de las cuarenta y ocho horas (48h) siguientes, pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los cero grados Celsius (0 °C). En los casos que, por absoluta necesidad, se realice la puesta en obra en tiempo con previsión de heladas, se adoptarán las medidas necesarias para garantizar que, durante el fraguado y primer endurecimiento de

hormigón magro, no se producirán deterioros locales en los elementos correspondientes, ni mermas permanentes apreciables de las características resistentes del material.

Si, a juicio del Director de las Obras, hubiese riesgo de que la temperatura ambiente llegase a bajar de cero grados Celsius (0 °C) durante las primeras veinticuatro horas (24 h) de endurecimiento del hormigón, el Contratista deberá proponer precauciones complementarias, las cuales deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

551.8.4 Apertura a la circulación

El paso de personas y de equipos para la comprobación de la regularidad superficial podrá autorizarse cuando hubiera transcurrido el plazo necesario para que no se produzcan desperfectos superficiales, y se hubiera secado el producto filmógeno de curado, si se emplea este método.

El tráfico de obra no podrá circular antes de siete días (7 d) desde la ejecución de la capa. El Director de las Obras podrá autorizar una reducción de este plazo, siempre que el hormigón magro vibrado hubiera alcanzado una resistencia a compresión de, al menos, el ochenta por ciento (80%) de la exigida a veintiocho días (28 d).

551.9 CONTROL DE CALIDAD

551.9.1 Control de procedencia de los materiales

551.9.1.1 Control de procedencia del cemento

Se seguirán las prescripciones del artículo 202 de este Pliego.

551.9.1.2 Control de procedencia de los áridos

Si con los áridos se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones obligatorias de este artículo o documento acreditativo de la homologación de la marca, sello o distintivo de calidad del árido, según lo indicado en el apartado 551.12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia de los áridos no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que correspondan al Director de las Obras.

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

- ▶ El coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.
- ▶ La granulometría de cada fracción, especialmente del árido fino, según la UNE-EN 933-1.
- ▶ El equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8.

El Director de las Obras podrá ordenar la repetición de estos ensayos sobre nuevas muestras y la realización del siguiente ensayo adicional:

- ▶ El contenido en partículas arcillosas del árido fino, según la UNE 7133.

551.9.2 Control de calidad de los materiales

551.9.2.1 Control de calidad del cemento

De cada partida de cemento que llegue a la central de fabricación se llevará a cabo su recepción, según los criterios contenidos en el artículo 202 de este Pliego.

551.9.2.2 Control de calidad de los áridos

Se examinará la descarga al acopio o alimentación de la central de fabricación, desechando los áridos que, a simple vista, presentasen restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores a cuarenta milímetros (40 mm). Se acopiarán aparte aquéllos que presentasen 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 accesos.

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

Al menos dos (2) veces al día, una por la mañana y otra por la tarde:

- ▶ Equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8.
- ▶ El contenido de partículas arcillosas del árido fino, según la UNE 7133, en su caso.
- ▶ Proporción de finos que pasan por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.

Al menos una (1) vez a la semana, o siempre que cambie el suministro de una procedencia aprobada:

- ▶ Índice de lascas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.

Al menos una (1) vez al mes, o siempre que cambie el suministro de una procedencia aprobada:

- ▶ Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.
- ▶ Sustancias perjudiciales, según la “Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)” vigente o normativa que la sustituya.

551.9.3 Control de ejecución

551.9.3.1 Fabricación

Se tomará diariamente al menos una (1) muestra de la mezcla de áridos, y se determinará su granulometría, según la UNE-EN 933-1. Al menos una (1) vez cada quince días (15 d) se verificará la precisión de las básculas de dosificación, mediante un conjunto adecuado de pesas patrón.

Se tomarán muestras a la descarga del mezclador, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

En cada elemento de transporte:

- ▶ Control del aspecto del hormigón y, en su caso, medición de su temperatura. Se rechazarán todos los hormigones segregados o cuya envuelta no sea homogénea.

Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde):

- ▶ Contenido de aire ocluido en el hormigón, según la UNE 83315.
- ▶ Consistencia, según la UNE 83313.
- ▶ Fabricación de probetas para ensayo a compresión simple, según la UNE 83301. Dichas probetas se conservarán en las condiciones previstas en la citada norma.

El número de amasadas diferentes para el control de la resistencia de cada una de ellas en un mismo lote hormigonado, no deberá ser inferior a tres (3) en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, ni a dos (2) en las demás. Por cada amasada controlada se fabricarán, al menos, tres (3) probetas.

Se considerará que la amasada está formada por el producto resultante de tres (3) descargas seguidas de la mezcladora.

551.9.3.2 Puesta en obra

Se medirán la temperatura y la humedad relativa del ambiente mediante un termohigrógrafo registrador, para tener en cuenta las limitaciones del apartado 551.8.

Al menos dos (2) veces al día, una por la mañana y otra por la tarde, así como siempre que varíe el aspecto del hormigón, se medirá su consistencia. Si el resultado obtenido rebasa los límites establecidos respecto de la fórmula de trabajo, se rechazará la amasada.

Se comprobará frecuentemente el espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras, así como la forma de actuación del equipo de puesta en obra, verificando la frecuencia y amplitud de los vibradores.

551.9.3.3 Control de recepción de la unidad terminada

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

- ▶ Quinientos metros (500 m) de calzada.
- ▶ Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada.
- ▶ La fracción construida diariamente.

El espesor de la capa y la homogeneidad del hormigón se comprobará mediante extracción de testigos cilíndricos en emplazamientos aleatorios, con la frecuencia fijada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o que, en su defecto, señale el Director de las Obras. El número mínimo de puntos a controlar por cada lote será de dos (2), que se ampliarán a cinco (5) si el espesor de alguno de los dos primeros resultara ser inferior al prescrito o su aspecto indica una compactación inadecuada. Los agujeros producidos se rellenarán con hormigón de la misma calidad que el utilizado en el resto de la capa, el cual será correctamente enrasado y compactado. El Director de las Obras determinará si los testigos han de romperse a compresión simple en la forma indicada en el apartado 551.6, pudiendo servir como ensayos de información, según el apartado 551.10.1.2.

Las probetas de hormigón magro vibrado, conservadas en las condiciones previstas en la UNE 83301, se ensayarán a compresión simple a veintiocho días (28 d), según la UNE 83304. El Director de las Obras podrá ordenar la realización de ensayos complementarios a siete días (7 d).

En todos los semiperfiles se comprobará que la superficie extendida presenta un aspecto uniforme, así como la ausencia de defectos superficiales importantes, tales como segregaciones, modificación de la terminación, etc.

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, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 551.7.3.

551.10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

551.10.1 Resistencia mecánica

551.10.1.1 Ensayos de control

La resistencia media de un lote a una determinada edad se determinará como media de las resistencias de las probetas fabricadas de acuerdo con lo indicado en el apartado 551.9.3.1.

A partir de la resistencia media a compresión simple a veintiocho días (28 d) para cada lote se aplicarán los siguientes criterios:

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

551.10.1.2 Ensayos de información

Antes de transcurridos veintiséis días (26 d) de su puesta en obra, se extraerán del lote seis (6) testigos cilíndricos, según la UNE 83302, situados en emplazamientos aleatorios que disten entre sí un mínimo de siete metros (7 m) en sentido longitudinal, y separados más de cincuenta centímetros (50 cm) de cualquier junta o borde. Estos testigos se ensayarán a compresión simple, según la UNE 83304, a la edad de veintiocho días (28 d), después de haber sido conservados durante las cuarenta y ocho horas (48 h) anteriores al ensayo en las condiciones previstas en la UNE 83302.

El valor medio de los resultados de estos ensayos se comparará con el valor medio de los resultados del tramo de prueba o, si lo autorizase el Director de las Obras, con los obtenidos en un lote aceptado cuya situación e historial lo hicieran comparable con el lote sometido a ensayos de información:

- ▶ Si no fuera inferior, el lote se considerará aceptado.
- ▶ Si fuera inferior a él, pero no a su noventa por ciento (90%), se aplicarán al lote las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- ▶ Si fuera inferior a su noventa por ciento (90%), pero no a su ochenta por ciento (80%), el Director de las Obras podrá aplicar las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o bien ordenar la demolición del lote y su reconstrucción, por cuenta del Contratista.
- ▶ Si fuera inferior a su ochenta por ciento (80%) se demolerá el lote y se reconstruirá, por cuenta del Contratista.

Las sanciones referidas no podrán ser inferiores a la aplicación de una penalización al precio unitario del lote, cuya cuantía sea igual al doble de la merma de resistencia, expresadas ambas en proporción.

551.10.2 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los Planos de secciones tipo del Proyecto. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en más de un cinco por ciento (5%).

Si el espesor medio obtenido fuera inferior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se levantará la capa correspondiente al lote controlado y se repondrá, por cuenta del Contratista. Si el espesor medio obtenido fuera superior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se compensará la diferencia con un espesor adicional equivalente de la capa superior aplicado en toda la anchura de la sección tipo, por cuenta del Contratista.

551.10.3 Rasante

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

Contratista siempre que no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos y que la superficie disponga de un acabado semejante al conjunto de la obra.

551.10.4 Regularidad superficial

En los tramos donde los resultados de la regularidad superficial excedan de los límites especificados en el apartado 551.7.3, se procederá de la siguiente manera:

- ▶ Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 551.7.3 en menos del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se corregirán los defectos de regularidad superficial mediante fresado, siempre que no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos y que la superficie disponga de un acabado semejante al conjunto de la obra. Por cuenta del contratista se procederá a la corrección de los defectos o bien a la demolición y retirada a vertedero.
- ▶ Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 551.7.3 en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se demolerá el lote y se retirará a vertedero por cuenta del Contratista.

551.11 MEDICIÓN Y ABONO

La capa de hormigón magro vibrado completamente terminado, incluso la preparación de la superficie de apoyo, se abonará por metros cúbicos (m³), medidos sobre Planos. Se descontarán las sanciones impuestas por resistencia insuficiente del hormigón o por falta de espesor de la capa. Salvo que el Cuadro de Precios y el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares prevean explícitamente lo contrario, se considerarán incluidos el abono de todo tipo de aditivos.

Para el abono de los aditivos aparte del abono de la capa de hormigón, será necesario que se haya previsto en el Cuadro de Precios y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y, además, que su empleo haya sido autorizado por el Director de las Obras. En este caso, los aditivos se abonarán por kilogramos (kg) realmente utilizados.

551.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

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

referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

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

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

NORMAS REFERENCIADAS

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.
UNE 7133	Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones.
UNE 83301	Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.
UNE 83302	Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.
UNE 83304	Ensayos de hormigón. Rotura por compresión.
UNE 83313	Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams.
UNE 83315	Ensayos de hormigón. Determinación del contenido de aire del hormigón fresco. Métodos de presión.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.

- UNE-EN 933-8 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena.
- UNE-EN 933-9 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo azul de metileno.
- UNE-EN 934-2 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones y requisitos.
- 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.