

# Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD's



Colegio de Ingenieros  
Técnicos de Obras Públicas  
Castilla y León

**CITOPCyL**

colaboran:

**cemosa**  
Ingeniería y Control

**aeice**  
CLÚSTER HÁBITAT EFICIENTE

**agerdcyl**  
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS GESTORAS DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y  
DEMOLICIÓN DE CASTILLA Y LEÓN



# Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD's



Colegio de Ingenieros  
Técnicos de Obras Públicas  
Castilla y León

**CITOPCyL**

# **EQUIPO REDACTOR**

**Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas  
CITOP**

---

**Ruben Tino Ramos  
Eduardo Gallego Méndez  
Fco. Javier Manteca Benítez  
Juan Carlos García García**

**RECSO Reciclados Sostenibles**

---

**Javier Llorente Muñoz**

**AEICE**

---

**Enrique M. Cobreros García  
Carmen Devesa Fernández  
David Gay Esteban**

**CEMOSA**

---

**Manuel Salas Casanova  
Alberto Vara Vara  
Alicia Pacheco Gómez**

Edita:  
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas  
de Castilla y León

Fecha 1ª Edición:  
Octubre 2019

Diseño, Maquetación e Impresión: Capitán Quimera, s.l.

ISBN: 978-84-608-9968-6

Depósito Legal: DL VA 828-2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Asociación de Gestores de Residuos de Construcción y  
Demolición de Castilla y León AGERDCYL

Agencia de Innovación y Desarrollo Económico de  
Valladolid

**José Vicente González de Castro**  
INCIDEC Ingeniería de Edificación y Obra Civil

**Jesús Briones Llorente**  
Ayuntamiento de Valladolid

**José María de Cuenca de la Cruz**  
Aquavall

**Javier Lozano Sánchez**  
Aquavall

El CITOP quiere mostrar su público  
agradecimiento a todos ellos.



The background of the slide is a close-up photograph of grey, angular stones or gravel. A large, semi-transparent blue rectangle is overlaid on the center of the image, serving as a background for the text.

# **Presentación**

---





**Óscar Sánchez Morán.** (derecha)  
Decano CITOP Castilla y León

**Fco. Javier Manteca Benítez.** (izquierda)  
Decano de honor CITOP Castilla y León

**L**a ingeniería civil es la ingeniería para los ciudadanos, es esa que nos ha permitido evolucionar desde que decidimos crear asentamientos, de lo cual nos remontamos a miles de años atrás.

Desde entonces las personas hemos tenido el deseo de construir un mundo mejor, más cómodo, pero también más conectado y cada día más sostenible.

Esto último no parece que esté en el ADN del homo sapiens, sobre todo después de las actividades de los últimos cientos de años, en los que el desarrollo ha cegado la protección del medio ambiente.

Pero los ingenieros tenemos la obligación de mantener nuestro hábitat, y apoyándonos en los nuevos conceptos de la economía circular, debemos permitir que los RCD's puedan ponerse en valor dentro de la cadena de construcción.

Con este fin se publican estas Recomendaciones, para dar apoyo en la justificación técnica y hacer más viables el uso de estos materiales que lo son per se.

No perdamos la oportunidad de dejar un mundo mejor a nuestras generaciones futuras.





# Índice

---

Prólogo .....	13	7.4. SECCIONES TIPO EN ACERADOS Y VÍAS PEATONALES .....	46
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>	7.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	48
1.1. Gestión de los RCD a gestor autorizado y gestión integral de los mismos. ....	18	<b>8. FIRMES DE VÍAS CICLISTAS.....</b>	<b>49</b>
1.2. Utilización de materiales derivados de un RCD. ....	18	8.1. INTRODUCCIÓN .....	50
1.3. Proyectos de investigación al efecto. ....	19	8.2. TIPOLOGÍA DE VÍAS CICLISTAS.....	50
1.4. Tierras y Escombros .....	19	8.3. CRITERIOS DE PROYECTO .....	51
1.5. Normativa Europea.....	20	8.2.1.Geometría .....	51
1.6. Normativa Estatal.....	20	8.2.2.Tráfico .....	52
1.7. Normativa Autonómica.....	20	8.2.3.Estructura del firme .....	52
<b>2 ÁMBITO DE APLICACIÓN .....</b>	<b>21</b>	8.3. EXPLANADA .....	52
<b>3 DEFINICIONES .....</b>	<b>23</b>	8.3.1.Definición y tipos de explanada .....	52
<b>4 CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS.....</b>	<b>27</b>	8.3.2.Formación de las explanadas.....	53
<b>5 FIRMES DE OBRAS VIARIAS .....</b>	<b>29</b>	8.4. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE VÍAS CICLISTAS.....	53
5.1. INTRODUCCIÓN.....	30	8.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	54
5.2. CRITERIOS DE PROYECTO .....	30	<b>9. OBRAS DE DRENAJE Y ZANJAS .....</b>	<b>55</b>
5.2.1.Disposición de materiales .....	30	9.1. INTRODUCCIÓN.....	56
5.2.2.Características de los materiales.....	31	9.2. CRITERIOS DE PROYECTO .....	56
5.2.3.Limitación de módulos elásticos en función de las características de la capa subyacente .....	32	Rellenos drenantes .....	56
5.2.4.Criterios de fatiga.....	32	Relleno de zanjas urbanas.....	56
5.3. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO.....	33	9.3. SECCIÓN TIPO EN RELLENOS DRENANTES BAJO LOSA O SOLERA DE HORMIGÓN .....	56
5.4. EXPLANADA .....	33	9.4. SECCIONES TIPO DE ZANJAS URBANAS .....	56
5.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CARRETERA.....	35	9.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	57
5.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	39	<b>ANEXO I. Glosario de términos.....</b>	<b>60</b>
5.6.1.Espesor de capas y tongadas.....	39	<b>ANEXO II. Características exigibles a los materiales.....</b>	<b>61</b>
5.6.2.Restricciones de uso .....	39	Características exigibles a las zahorras recicladas de RCD .....	61
<b>6. FIRMES DE CAMINOS RURALES .....</b>	<b>41</b>	Características exigibles a los suelos reciclados de RCD.....	63
6.1. INTRODUCCIÓN .....	42	Características exigibles al suelo-cemento reciclado de RCD.....	65
6.2. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO.....	42	Características exigibles al hormigón seco compactado reciclado de RCD .....	67
6.3. CRITERIOS DE PROYECTO.....	42	Características exigibles a la grava-cemento reciclada de RCD.....	68
6.4. EXPLANADA .....	42	Características exigibles a la grava reciclada de RCD.....	70
6.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CAMINOS RURALES .....	43	Características exigibles al material reciclado de RCD para cama de tubería.....	72
6.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	43	Características exigibles al árido reciclado de RCD para material drenante .....	73
6.6.1.Calidad de explanada en infraestructuras existentes.....	43	<b>ANEXO III. Fichas modelo para materiales reciclados de RCD (Caracterización de áridos) .....</b>	<b>74</b>
<b>7. ACERADO Y VIAS PEATONALES .....</b>	<b>45</b>		
7.1. INTRODUCCIÓN .....	46		
7.2. TIPOS DE ESPACIOS URBANOS.....	46		
7.3. CRITERIOS DE PROYECTO .....	46		

## Índice de ilustraciones

---

Ilustración 1. Esquema del cimiento del firme.....	24
Ilustración 2. Tipos de secciones estructurales recomendadas para el uso de áridos de RCD.....	31
Ilustración 3. Sección tipo de pavimento con adoquines para vía peatonal .....	46

## Índice de tablas

---

Tabla 1. Características mecánicas exigibles a cada material.....	28
Tabla 2. Características de los materiales .....	31
Tabla 3. Coeficiente de proporcionalidad .....	32
Tabla 4. Leyes de fatiga usadas para los materiales tratados con cemento .....	32
Tabla 5. Categorías de tráfico pesado .....	33
Tabla 6. Categorías del cimiento del firme .....	33
Tabla 7. Espesores de capas .....	39
Tabla 8. Espesores de tongadas.....	39





The background of the page is a close-up photograph of grey, angular stones. A large, solid blue rectangle is overlaid on the center of the image. The word "Prólogo" is written in white, bold, sans-serif font in the center of the blue rectangle. A thin white horizontal line is positioned below the text.

# Prólogo

---



Los residuos de construcción y demolición representan entre el 25% y el 30% de todos los residuos generados en la Unión Europea, más de 800 millones de toneladas por año, y aunque dentro de ellos se pueden incluir numerosos tipos de materiales: hormigón, ladrillos, yeso, madera, vidrio, metales, plástico, solventes e incluso tierra excavada, muchos de los cuales se pueden reciclar por separado, puede decirse que en general, los residuos de la construcción son de los más pesados y voluminosos. Es por tanto el sector de la construcción uno de los principales productores de residuos, superado tan solo por los residuos urbanos.

Como es sabido, la Unión Europea ha propuesto un cambio de paradigma por lo que a la organización y gestión económica se refiere, de forma que actualmente estamos experimentado una transición desde los antiguos modelos lineales de gestión, ya agotados, a modelos de gestión basados en la denominada economía circular con el objetivo último de conseguir una economía europea más fuerte en la que los recursos en general, y los materiales en particular se utilicen de una forma más sostenible.

De esta forma, todas las acciones propuestas deben estar encaminadas a “cerrar el círculo” de los ciclos de vida de los productos a través de un mayor reciclaje y reutilización, lo que sin duda traerá beneficios tanto para la economía como para el medio ambiente. Los planes extraerán el máximo valor y el uso de todas las materias primas, productos y desechos, fomentando el ahorro de energía y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Aunque la composición de los residuos de construcción y demolición es bastante heterogénea, todos ellos tienen un alto potencial de reciclaje y reutilización, ya que algunos de sus componentes tienen un alto valor, si bien es cierto que no todas las clases de residuos han conseguido aún los niveles de reutilización y reciclaje deseables, puesto que, entre otros muchos factores, es necesario realizar una serie de acciones previas a su reutilización y reciclado.

Dentro de toda la gama de residuos de la construcción y demolición destaca una franja muy importante de ellos, que es la representada por todos los materiales que pueden ser reutilizados como áridos, los denominados áridos reciclados, y de los que existe ya un incipiente mercado de reutilización y reciclado en carreteras, drenaje y otros proyectos de construcción.

Sin embargo todavía hay un gran desconocimiento sobre su funcionamiento y comportamiento, lo que agravado con la falta de información exhaustiva sobre el uso real que se le está dando a los mismos, hace necesario realizar un análisis en profundidad de la situación, identificando las mejores prácticas, así como los factores clave para lograr una gestión sostenible de los áridos reciclados y la formulación de recomendaciones para su utilización y buen uso.

Por todo ello se ha elaborado las presentes recomendaciones de uso, en la que se ha tratado de resumir el estado del arte por lo que a empleo en obra de áridos fabricados con RCD's se refiere y que garantiza la aplicación a mayor escala de este nuevo recurso, el árido reciclado, como sustitutivo de los áridos naturales en la construcción y en la conservación de las futuras infraestructuras, eliminando la barrera técnica existente hasta ahora, mediante la presentación de diversas soluciones constructivas convenientemente calculadas y contrastadas por la experiencia.

Las presentes recomendaciones han sido redactadas a iniciativa del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, para lo cual ha contado con un amplio equipo multidisciplinar.



The background of the entire page is a close-up photograph of grey, angular stones. A large, solid blue rectangle is overlaid on the center of the image, containing the page's title and number.

1

---

# Introducción

La Segunda Guerra Mundial fue sin duda el desencadenante de la necesidad de la reutilización y reciclaje de los residuos de demolición. Devastada la mayor parte de Europa por los bombardeos y la guerra, la eliminación de grandes cantidades de residuos de demolición suponía un grave problema. Paralelamente, y con el fin de la guerra, la necesidad de reconstrucción de las infraestructuras y edificios, impulsada gracias a la aplicación del Plan Marshall entre 1948 y 1952, hicieron evidentes las grandes necesidades de materia prima para la reconstrucción y recuperación de Europa tras la II Guerra Mundial. La confluencia de todos estos factores supuso el caldo de cultivo apropiado para el inicio de una incipiente industria de la reutilización y reciclaje de los residuos de la construcción y demolición.

Actualmente, y debido seguramente a sus inicios, la Unión Europea considera que una gestión adecuada de los residuos puede contribuir notablemente al crecimiento económico y a la creación de empleo. Por lo tanto convertir los residuos en un recurso es una de las claves de una economía circular. Los objetivos y metas establecidos en la legislación europea son factores clave para mejorar la gestión de residuos, estimular la innovación en el reciclaje, limitar el uso de vertederos y crear incentivos para cambiar el comportamiento del consumidor. Si reconstruimos, reutilizamos y reciclamos, y si los residuos de una industria se convierten en materia prima de otra, podemos pasar a una economía más circular en la que se eliminen los residuos y se utilicen los recursos de forma eficiente y sostenible.

Por otra parte, la gestión mejorada de residuos también ayuda a reducir los problemas de salud y medioambientales, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (recortando directamente las emisiones de los vertederos e indirectamente reciclando materiales que de otro modo serían extraídos y procesados) y evita los impactos negativos a nivel local como el deterioro del paisaje debido a vertido de residuos, contaminación local del agua y del aire, así como tirar basura.

Los residuos de construcción y demolición (RCDs) se generan a partir de la construcción o demolición de edificios y otras infraestructuras, lo que representa, en términos globales, alrededor de un tercio de los residuos controlados dentro de la Unión Europea. Dentro de dichos residuos se incluyen suelos, hormigones, ladrillos, vidrio, madera, yesos, amianto, metales y plásticos

La Directiva marco de residuos de la Unión Europea (Directiva 2008/98/CE) excluye el suelo no contaminado y otros materiales de origen natural excavado en el curso de las actividades de construcción, cuando el material se usa y permanece en el sitio, es decir, no forman parte de los residuos de construcción y demolición, aunque el consumo de energía vinculado a la excavación, por ejemplo, puede ser útil para considerar.

La preocupación los residuos en España no es algo novedoso, sino que se ha ido desarrollando a medida que la sociedad ha ido tomando conciencia de la problemática. Así, ya en el año 2001 fue aprobado por el Consejo de Ministros el primer Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, en el que se definían los RCDs, código C.E.R. 170000, como aquellos residuos que proceden en su mayor parte de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de otros de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones y que se conocen habitualmente como “escombros”.

Posteriormente, el RD 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición concretaría su definición, de modo que actualmente se entiende por RCDs a cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de Residuo, se genere en una obra de construcción o demolición. Destacar que actualmente se define Residuo en el artículo 3.a) de la Ley 22/2011: cualquier sustancia u objeto que su poseedor desee o tenga la intención o la obligación de desechar.

Por tanto, se puede decir que los RCDs surgen de actividades relacionadas con todo el ciclo de vida de los edificios e infraestructuras civiles, es decir, desde su construcción, pasando por la planificación y mantenimiento, hasta su demolición total o parcial, incluyendo su rehabilitación.

Queda claro por tanto que el concepto de RCDs ha ido evolucionando en el tiempo, y de forma asimétrica tanto a nivel mundial como a nivel de la Unión Europea, de modo que actualmente se aplican diferentes definiciones de RCDs, lo que hace que las comparaciones entre estudios, normativas y países sean realmente difíciles ya que, por ejemplo, en algunos países incluso los materiales procedentes de la nivelación de la tierra se consideran desechos de construcción y demolición.

No obstante, la tecnología para la separación y recuperación de desechos de construcción y demolición está bien establecida, es fácilmente accesible y, en general, económica por lo que la industria de la construcción está incorporando, y cada vez de una forma más rápida, las técnicas de reutilización y reciclado de RCDs, dadas sus evidentes ventajas medioambientales y su contribución a la economía circular.

## 1.1. GESTIÓN DE LOS RCD A GESTOR AUTORIZADO Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS MISMOS.

La caracterización de los RCDs producidos en España arroja una composición de los mismos de aproximadamente 2/3 de materiales minerales (tierras, hormigón, ladrillos, cerámicos) y 1/3 de cantidades variables de residuos de madera, metal, yesos, plásticos, etc.

Para su gestión, hay que tener en cuenta que los RCDs para los que hay una regulación específica deben mantenerse separados del resto de los RCDs de la obra y que deben ser gestionados conforme a lo que dicha legislación establezca. Es el caso de aceites, envases, neumáticos fuera de uso, amianto, emulsiones, aditivos, yesos, etc.

## 1.2. UTILIZACIÓN DE MATERIALES DERIVADOS DE UN RCD.

El presente estudio se centra en los RCDs susceptibles de ser transformados en áridos reciclados, esto es, los RCDs constituidos por materiales minerales inertes y que no constituyen residuos peligrosos ni se encuentran mezclados con ellos, lo que está terminantemente prohibido en la normativa. Su aprovechamiento por tanto no genera ninguna problemática desde el punto de vista ambiental sino que contribuye a la mejora del mismo, dada la disminución del consumo de recursos minerales naturales.

Para realizar una adecuada gestión de los RCDs para su uso como los áridos reciclados deben de realizarse primeramente una clasificación de los mismos, separando por tipos de materiales, particularmente hormigón, ce-

rámicos, madera, metales, plástico, papel y cartón. Dicha clasificación podrá realizarse tanto en origen como en planta de reciclaje si bien es aconsejable realizarla, siempre que sea posible, en origen.

Asimismo, la distancia de las infraestructuras de reciclaje (planas de clasificación, fabricación de áridos, vertederos para rechazos y RCD no tratados o sobrantes, etc) no debe ser excesiva, de modo que permita realizar los transportes de RCDs de forma regular, adecuada y que no supongan un encarecimiento excesivo, estableciendo los canales de recogida adecuados para cada fracción.

Por otra parte, para el mantenimiento global del sistema es necesario que tanto la oferta como demanda de áridos reciclados sea sostenida en el tiempo, para que no se produzcan, en la medida de lo posible, interrupciones en ninguno de los dos sentidos que colapsen o agoten los acopios existentes, permitiendo de este modo a las empresas gestoras de RCDs para su transformación en áridos reciclados fijar unos cánones adecuados de forma que dichos áridos reutilizados y reciclados puedan competir con el resto de tipos de áridos.

### 1.3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN AL EFECTO.



[http://ec.europa.eu/environment/waste/construction\\_demolition.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm)

Se ha llevado a cabo un estudio específico sobre RCD (2015-16), "Uso eficiente de los recursos de residuos mixtos", en nombre de la Comisión Europea.

Gestión de RCD en la UE: requisitos derivados de la Directiva marco de residuos y evaluación de la situación a medio plazo (2011) Los objetivos del estudio fueron:

- especificar los requisitos resultantes de la legislación de residuos de la UE con respecto a CDW mediante el establecimiento de definiciones operativas de algunos conceptos cruciales y

- realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del status quo de CDW y establecer un escenario para 2014.

Guía Técnica para el Pensamiento de Ciclo de Vida (LCT) y la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA): Además, el Centro Común de Investigación (JRC) ha publicado una "Guía técnica para el Análisis del ciclo de vida (ACV) y la Evaluación del ciclo de vida (LCA) para expertos en residuos y practicantes de LCA", orientada a apoyar decisiones ambientalmente sanas y complementar la jerarquía de residuos. La guía se centra en los aspectos técnicos más relevantes que deben considerarse al aplicar LCT y LCA al sector de gestión de residuos. La guía se basa en los estándares de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14040 y 14044 para LCA y el Manual de Referencia Internacional de Datos del Sistema de Ciclo de Vida (ILCD).

Gracias a las mejoras en la gestión de estos residuos, cada vez son más las aplicaciones que tienen los productos derivados del reciclado de RCD y la posibilidad de que el sector de la construcción consuma materiales derivados de residuos de otros sectores. Para divulgar estas aplicaciones, se ha elaborado y se mantiene actualizado un Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción, uno de cuyos apartados está dedicado a los RCD. El Catálogo está accesible a través de Internet.

### 1.4. TIERRAS Y ESCOMBROS

La Instrucción sobre Hormigón Estructural (EHE) ya incorpora un anejo con recomendaciones para el empleo de áridos reciclados. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través de una Encomienda de Gestión de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, está desarrollando estudios para definir las prescripciones técnicas para la utilización de áridos gruesos mixtos (cerámico y hormigón) y de las fracciones granulométricas finas, procedentes de tratamiento de RCD, en la fabricación de hormigón. En el marco de esta misma Encomienda de Gestión, técnicos del CEDEX participan en las reuniones del Comité Europeo de Normalización (CEN) para el desarrollo de los trabajos de normalización europeos sobre el establecimiento de criterios medioambientales en la utilización de áridos en carreteras.

La Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD) desarrolló desde el año 2008 un proyecto de tres años de duración (proyecto GEAR), financiado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica), cuyo objetivo era la elaboración de una guía de áridos reciclados procedentes de RCD, basada en un exhaustivo trabajo de campo de caracterización y comprobación de calidades de los áridos reciclados producidos en 24 plantas de reciclaje asociadas al GERD, con la participación de tres centros de investigación y de siete universidades.





### 1.5. NORMATIVA EUROPEA.

Directiva 1999/31/CE de 26 de abril relativa al vertido de residuos, y su posteriores modificaciones como la Directiva 2018/850 entre otras

Reglamento CE 1013/2006 relativo al traslado de residuos.

Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, y su posteriores modificaciones como la Directiva 2018/851 entre otras

Reglamento UE 305/2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productor de construcción.



### 1.6. NORMATIVA ESTATAL.

RD 148/2001 de 27 de diciembre, modificado por el RD 1304/2009 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito a vertedero

Ley 2/2006 de 5 de mayo sobre la prevención, contaminación y calidad ambiental.

Real Decreto 105/2008 de 1 de febrero por el cual se regula la producción y gestión de los RCD.

Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Orden FOM/891/2004 por el que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativo a firmes y pavimentos (PG-3) (Zahorras, Suelo o Grava cemento y hormigón vibrado magro).

Orden Circular 24/2008 por el que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativo a firmes y pavimentos, para adaptarlo a la directiva Europea.

Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos

Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.



### 1.7. NORMATIVA AUTONÓMICA.

Decreto 11/2014 de 20 de marzo, por el que se aprueba el Plan Regional de ámbito sectorial denominado "Plan Integral de Residuos de Castilla y León (BOCyL de 24 de marzo de 2014).

Modificación del 23 de diciembre de 2010, de la Ley 5/1999, de Urbanismo de castilla y león.

Disposición adicional séptima. Garantía o fianza para la gestión de residuos de construcción y demolición del Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Ley 9/02 declaración de los proyectos regionales de infraestructuras de residuos de singular interés en la comunidad.

Decreto 74/02, Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León.

Decreto 90/90, Plan Director Regional de gestión de residuos urbanos

Decreto 50/98, modifica al Decreto 90/90.

Decreto 50/98, modifica al 90/90.

# 2

---

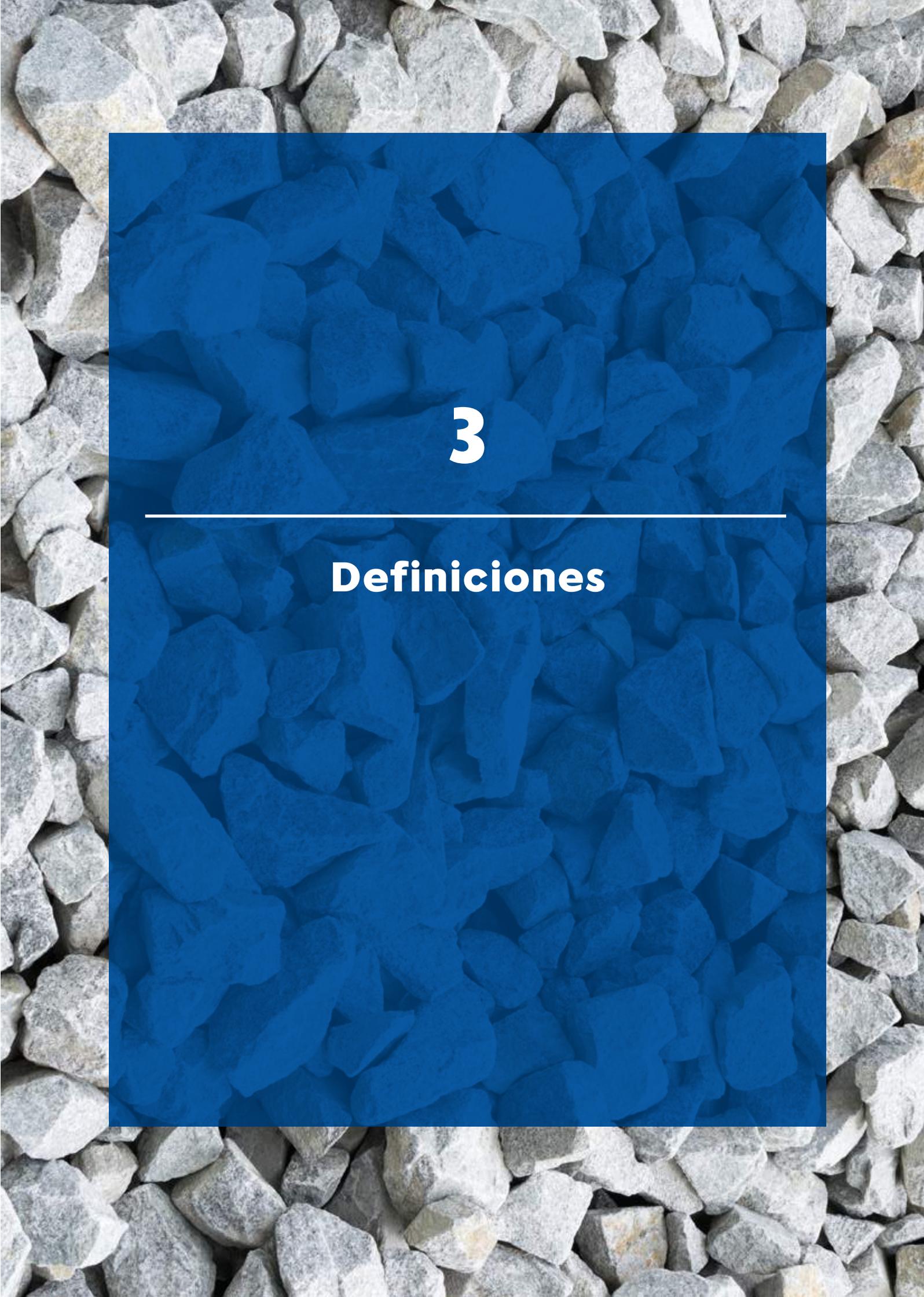
## Ámbito de Aplicación

El ámbito de aplicación de estas recomendaciones son las unidades de obra que forman parte de infraestructuras diversas, donde actualmente se emplean áridos fabricados con RCD's, pero sin una normativa técnica específica aplicable para ellos, como pueden ser:

- Firmes de obras viarias. (Capítulo 5)
- Firmes de caminos rurales. (Capítulo 6)
- Acerado y vías peatonales. (Capítulo 7)
- Firmes de vías ciclistas. (Capítulo 8)
- Obras de drenaje y zanjas. (Capítulo 9)

En todas estas unidades de obra existen casos donde es factible la sustitución parcial o total de áridos naturales con áridos fabricados con RCD's.



The background of the entire page is a close-up photograph of grey, angular stones. A large, solid blue rectangle is overlaid on the center of the image, containing the page number and title.

# 3

---

## Definiciones

**Capacidad de soporte** es la aptitud de un suelo, terraplén, desmante o capa de firme para soportar las cargas de tráfico con deformaciones volumétricas, tensiones y alterabilidad climática dentro de unos límites fijados experimentalmente o analíticamente.

**Capas de asiento del firme** son las capas formadas por suelos o materiales de aportación, por la estabilización de los existentes, o por materiales procedentes de residuos de construcción (RCDs), cuya finalidad es mejorar y homogeneizar la capacidad soporte del cimiento del firme, proteger los suelos susceptibles al agua mediante impermeabilización o evacuación, facilitar las labores de construcción, y obtener las superficies geométricas precisas.

**Capas de proyecto** son las capas o capa de aportación formada por suelos o materiales granulares, tratados o no con conglomerantes, situadas bajo el plano de explanada con el fin de mejorar alguna de las cualidades del cimiento.

**Cimiento del firme**, (ver Ilustración 1) son el conjunto formado por el Terreno Natural Subyacente (en adelante TNS) y capas de suelos u otros materiales que se encuentra bajo el plano de explanada y comprende las capas de asiento y el terraplén o el terreno natural subyacente.

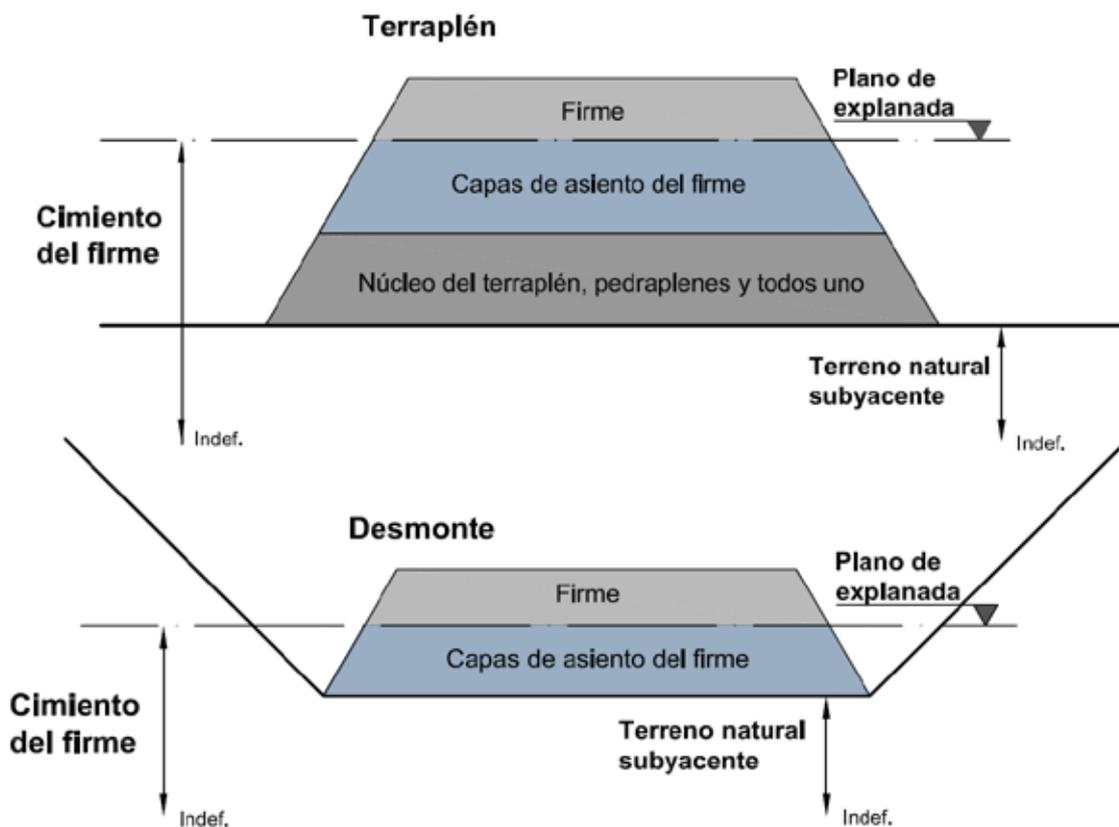


ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DEL CIMIENTO DEL FIRME

**Coefficiente de equivalencia** es el número de ejes tipo a que equivale un conjunto de ejes de un vehículo cualquiera, a efectos de dimensionamiento de la estructura del firme.

**Estructura del firme** conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados colocado sobre el cimientado del firme, que sirven para soportar las cargas del tráfico y permitir la circulación en condiciones de seguridad y comodidad. Constituye la estructura resistente de la calzada o arcén y comprende en general, de abajo arriba, las capas de subbase, base y pavimento.

**Explicación**, superficie superior de la coronación de terraplenes y la inferior de los desmontes. También ejecución de las operaciones necesarias para conseguir dicha superficie.

**Grava-cemento**, mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y excepcionalmente aditivos, 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 conglomerantes, que se pone en obra con maquinaria específica, y se utiliza en pavimentos de firmes rígidos.

**Pavimento de hormigón**, 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.

**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.

**RCD**, es el residuo procedente de la construcción o demolición, formado por fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, entre otros.

**Suelo granular**, es el suelo constituido por arenas y gravas en su mayor parte.

**Suelo**, es la formación natural de estructura blanda resultado de la alteración de las rocas o de la evolución de las sustancias vegetales.

**Suelo-cemento**, mezcla homogénea de materiales granulares (zahorra, o suelo granular), cemento, agua y eventualmente aditivos, fabricada generalmente en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera en central. Si se fabrica in situ con equipos de reciclado o estabilizadores se denomina suelo-cemento in situ.

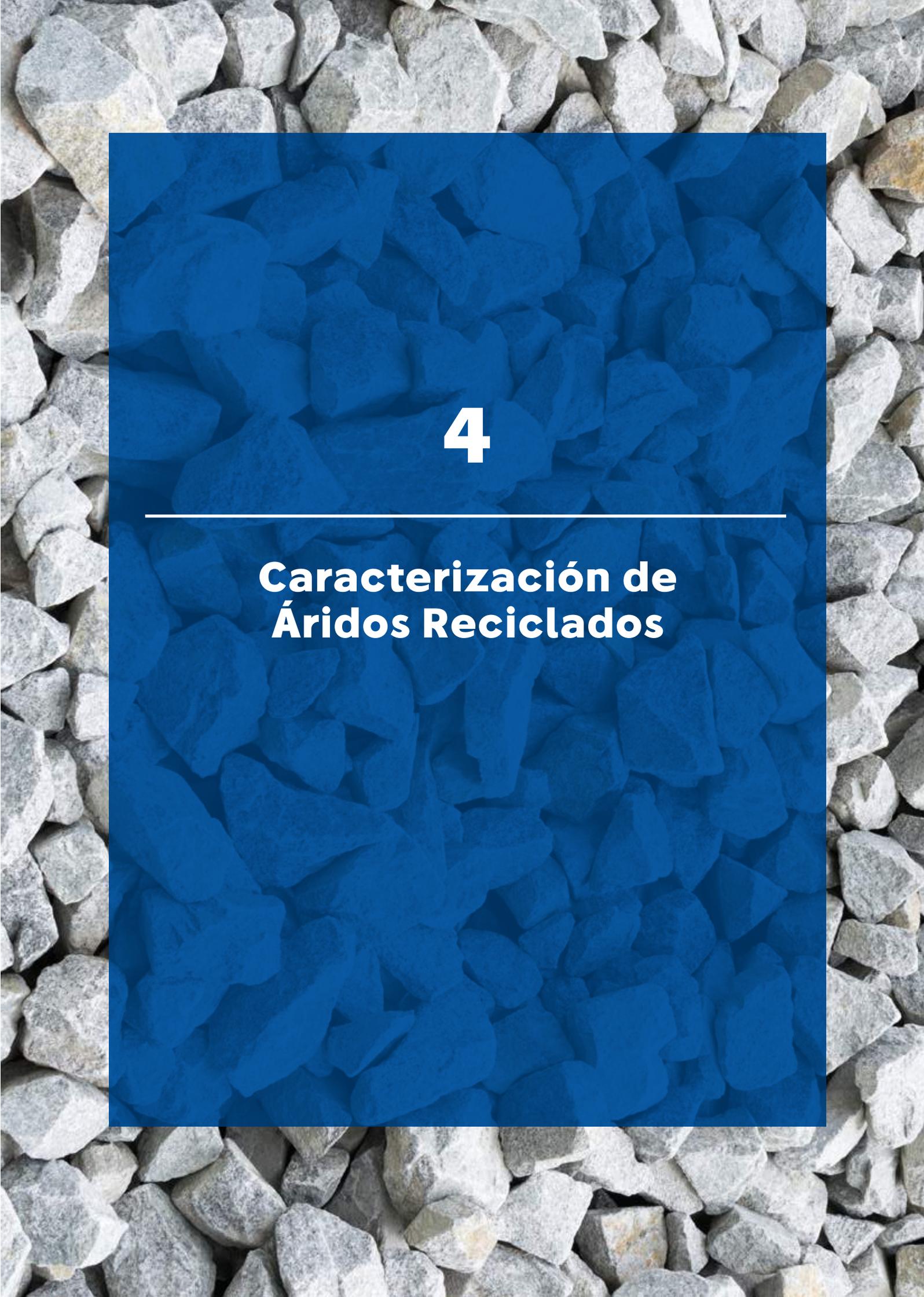
**Terraplenes, pedraplenes y todos-uno** son las capas de materiales sueltos situadas entre el terreno natural subyacente y las capas de asiento, necesarias para rellenar las depresiones hasta conseguir la cota adecuada. En general las referencias del texto al núcleo de terraplenes serán aplicables a pedraplenes y todos-uno, salvo que se especifique lo contrario.

**Terreno natural subyacente (TNS)** (ver Ilustración 1) es el terreno natural sobre el que se apoyan los distintos elementos constructivos de la carretera, tales como las capas de asiento del firme en los desmontes, terraplenes, pedraplenes, estructuras, obras de fábrica, drenajes y cualquier otro elemento constructivo.

**Zahorra**, material granular, de granulometría continua, utilizada 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.







# 4

---

## **Caracterización de Áridos Reciclados**

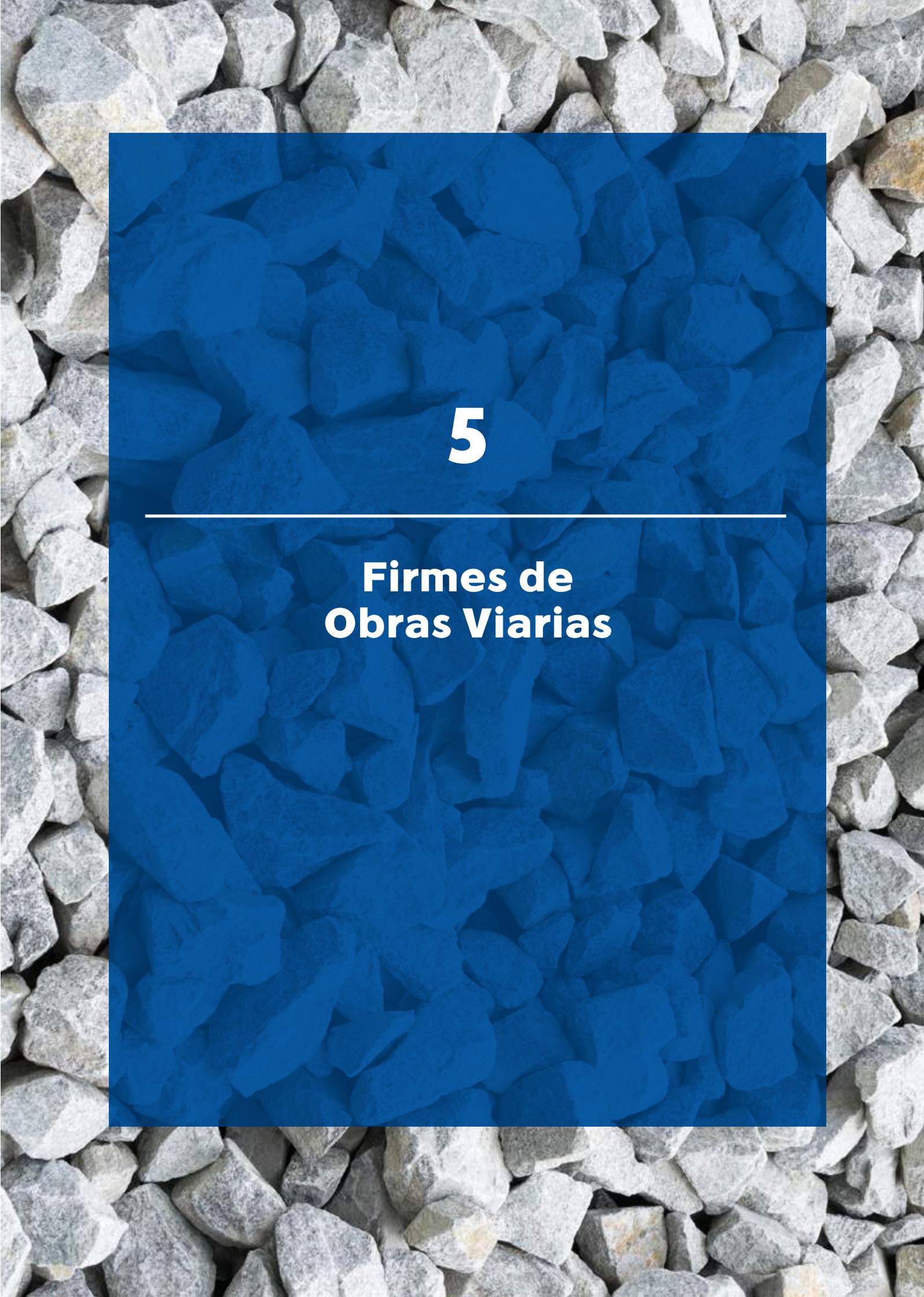
En el presente apartado se reflejan en la tabla adjunta las características mecánicas exigibles a cada material y para cada uso, obtenidas a partir de los ensayos de caracterización de los áridos fabricados con RCD's, recogiendo en el Anexo II de las presentes recomendaciones el resto de características exigibles a los distintos materiales elaborados con áridos fabricados con RCD's.

Símbolo	Designación del material	Características	Prescripciones complementarias para su empleo en					
			Firmes de carretera	Firmes de caminos rurales	Carril bici y vías peatonales	Cimiento del firme: Núcleo	Cimiento del firme: Capas de asiento	Obras de drenaje y zanjas
ZARHor	Zahorra artificial reciclada de hormigón	Ver Anexo II	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40	T4: LA<40	LA<40	∅	∅	∅
ZARM I	Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD	Ver Anexo II	T3: LA<40 T4: LA<40	T4: LA<40	LA<40	∅	∅	∅
ZARM II	Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD	Ver Anexo II	T4: LA<40	T4: LA<40	LA<45	∅	∅	∅
ZARA	Zahorra artificial reciclada asfáltica	Ver Anexo II	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40	T4: LA<40	LA<40	∅	∅	∅
SR-SEL	Suelo seleccionado reciclado de RCD	Ver Anexo II	∅	∅	∅	CBR≥3	CBR≥5	∅
SR TOL	Suelo tolerable reciclado de RCD	Ver Anexo II	∅	∅	∅	CBR≥3	∅	∅
SCR	Suelo-cemento reciclado de RCD	Ver Anexo II	T2, T3, T4: fc=2,5 a 4,5MPa	∅	fc>1,5MPa	∅	∅	∅
HCR	Hormigón seco compactado reciclado de RCD	Ver Anexo II	∅	∅	∅	∅	∅	∅
GCR20	Grava-cemento reciclada de RCD	Ver Anexo II	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40	∅	∅	∅	∅	∅
GCR32	Grava-cemento reciclada de RCD	Ver Anexo II	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40	∅	∅	∅	∅	∅

∅: Sin prescripciones complementarias.



**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EXIGIBLES A CADA MATERIAL**



# 5

---

## **Firmes de Obras Viarias**

## 5.1. INTRODUCCIÓN

Las presentes recomendaciones definen la forma de la utilización de áridos procedentes de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en los firmes de carreteras.

Se asegura en todo momento que el comportamiento estructural del paquete de firme con materiales reciclados sea idéntico al construido con sus equivalentes convencionales. Para ello será necesario, por lo general, un aumento del espesor de la capa donde se usa el material reciclado.

El cálculo de las secciones de firmes se ha realizado mediante cálculo numérico, basándose en el modelo de respuesta elástico multicapa de Burmister y utilizando las acciones, condiciones de contorno y metodología recogida en las Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos de Castilla y León (RFP-CYL). Para ello, en los firmes constituidos con pavimento bituminoso el cemento se ha considerado como un macizo elástico semiinfinito (caracterizado por su módulo de Young equivalente y su coeficiente de Poisson equivalente) mientras que en los firmes constituidos por pavimento de hormigón el cemento se ha considerado como un líquido denso, definido por su coeficiente de balasto equivalente.

Dada la disparidad de las condiciones de contorno a las que están sometidas las secciones de un firme (ambientales, meteorológicas, tráfico, cargas, drenaje, etc), se considera necesario sancionar con la práctica, mediante su monitorización, el comportamiento de las secciones de firmes construidas con áridos reciclados, para así profundizar en el conocimiento de su comportamiento y avanzar hacia el diseño de secciones más óptimas y eficientes.

## 5.2. CRITERIOS DE PROYECTO

### 5.2.1. DISPOSICIÓN DE MATERIALES

Según los resultados de la caracterización llevada a cabo en este proyecto, existe una equivalencia total entre una zahorra artificial reciclada de hormigón (ZARHor) y una zahorra artificial (ZA) según PG-3 Art.512 en cuanto a su comportamiento mecánico en firmes de carretera. Lo mismo ocurre en el caso de suelo-cemento reciclado de RCD (SCR) y suelo-cemento (SC) según PG-3 Art. 513. Por lo tanto, los espesores de estas capas no se modifican al sustituir material convencional por reciclado.

En cambio, las zahorras artificiales recicladas mixtas de RCD (ZARM I y ZARM II) presentan unas características resistentes inferiores a su equivalente convencional, lo cual conducirá a espesores mayores de capa. Además, debido a las características plásticas de la ZARM II, no se permite su contacto directo con las capas de aglomerado, debiendo siempre colocarse bajo una capa de ZARM I o ZARHor.

Por otra parte, se introduce el uso de hormigón compactado con árido reciclado de RCD (HRC) donde se aplicarán las prescripciones de uso establecidas en RFPCYL para materiales de capas de firme tratadas con cemento.

Debido a la falta de experiencia, no se ha considerado el uso de materiales reciclados en firmes rígidos ni tampoco en firmes flexibles de categoría de tráfico superior a T2.

Así, los tipos de secciones estructurales de firme recomendadas utilizando áridos reciclados son las que se presentan a continuación (Ilustración 2).





**ILUSTRACIÓN 2. TIPOS DE SECCIONES ESTRUCTURALES RECOMENDADAS PARA EL USO DE ÁRIDOS DE RCD**

### 5.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

En lo que respecta al diseño de firmes para carreteras puede establecerse la siguiente equivalencia de características mecánicas mínimas exigibles entre materiales convencionales y reciclados:

Material	Árido natural	Árido reciclado equivalente	Módulo de elasticidad (E)	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )
Zahorra	ZA	ZARHor	500 MPa	0,35
	ZA	ZARM I	400 MPa	0,35
	ZA	ZARM II	300 MPa	0,35
Suelo-cemento	SC	SCR	8.000 MPa	0,25
Hormigón compactado	HC	HCR	13.000 MPa	0,25



**TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

En el resto de materiales que componen el paquete de firme no se ha considerado el empleo de áridos fabricados con RCD's, por lo que se ha empleado las caracterís-

ticas mecánicas mínimas prescritas en la normativa de aplicación para cada uno de ellos.

### 5.2.3. LIMITACIÓN DE MÓDULOS ELÁSTICOS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA SUBYACENTE

A efectos de cálculo las capas de asiento se dividen en tongadas de construcción, que se consideran elásticas, homogéneas, isotrópicas, indefinidas horizontalmente y de un espesor para el caso de los suelos comprendido entre 20 y 30 cm, y de entre 15 cm y 30 cm para las zahorras.

La asignación de los módulos elásticos para el material se ha realizado considerando que el módulo de elasticidad de cada tongada de suelo o material granular aumenta

proporcionalmente al módulo de la capa o tongada sobre la que se apoya hasta alcanzar su máxima capacidad de soporte. En consecuencia, el módulo elástico de cada tongada viene dado por la siguiente expresión:

$$E_i = c_i \cdot E_{i-1}$$

Donde:

- $E_i$ : módulo de la tongada "i"
- $c_i$ : módulo de la tongada subyacente a "i"
- $E_{i-1}$ : coeficiente de proporcionalidad entre módulos de tongadas sucesivas

Material de la tongada superior	Coficiente $c_i$
Suelos adecuados y seleccionados con CBR < 20	2.0
Suelos seleccionados con CBR ≥ 20 y zahorra natural	2.5
Zahorra artificial	3.0



TABLA 3. COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD

### 5.2.4. CRITERIOS DE FATIGA

#### Fallo del cimiento del firme

El parámetro crítico que determina el fallo del cimiento del firme es la deformación vertical unitaria en la cara superior del cimiento. A partir de este valor y utilizando el modelo de deterioro adoptado se halla el número admisible de aplicaciones de carga (N), que tendrá que ser superior al tráfico equivalente de proyecto (TP).

#### Fallo de las capas de la estructura del firme

En el análisis del fallo de las capas de la estructura del firme se han considerado como parámetros críticos:

- La máxima tensión radial de tracción ( $\delta_r$ ) en materiales tratados con cemento.

- La máxima deformación radial de tracción ( $\epsilon_r$ ) en mezclas bituminosas en caliente.

Se han considerado separadamente cada uno de los materiales seleccionando la tensión o deformación crítica dada por el modelo de respuesta, la cual se introduce en la ley de fatiga, que proporciona el número admisible de aplicaciones de carga (N). El menor valor de N entre los obtenidos para todas las capas del firme representará el número de aplicaciones de carga que agotaría el firme por fatiga.

De esta forma, para el cálculo de las secciones de firme se han utilizado las siguientes características mecánicas de los materiales que las componen: ley de fatiga, módulo dinámico y coeficiente de Poisson.

$$\text{MBC: Ley de fatiga: } \epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0.27243} \cdot E \text{ (MPa)}$$

Tipo de mezcla	Ley de fatiga
Suelocemento	$\delta_r(\text{MPa}) = R_F \cdot (1 - \frac{1}{12} \cdot \log N)$
Gravacemento	$\delta_r(\text{MPa}) = R_F \cdot (1 - \frac{1}{15} \cdot \log N)$
Hormigón compactado reciclado	$\delta_r(\text{MPa}) = R_F \cdot (1 - \frac{1}{15} \cdot \log N)$



TABLA 4. LEYES DE FATIGA USADAS PARA LOS MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO

En el caso del Hormigón compactado reciclado (HRC) se ha usado también la ley de fatiga de la Gravacemento ya que al estar basadas estas leyes en la resistencia a máxima flexotracción del material  $R_f$  y al ser presumiblemente ésta mayor en el HRC que en la gravacemento, se considera que esta hipótesis deja las secciones calculadas del lado de la seguridad.

### 5.3. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

Se consideraran las categorías de tráfico pesado definidas en RFPCYL (Tabla 5) en función de la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados que se prevea en el carril de proyecto en el año de apertura al tráfico (IMDPA).

Categoría	T1	T21	T22	T31	T32	T41	T42
IMDPA	800-2.000	400-800	200-400	100-200	50-100	25-50	0-25



TABLA 5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

En base a la experiencia en tramos de prueba ejecutados hasta el momento, el uso de árido procedentes de RCD en secciones de firme presenta un buen comportamiento en categorías de tráfico T2 e inferiores. Debido a ello y a la experiencia acumulada, en las presentes recomendaciones las secciones tipo consideradas son las comprendidas entre los tráficos T22 a T42.

### 5.4. EXPLANADA

El cimiento del firme o explanada estará constituido por el terreno natural subyacente en fondo de desmonte, los suelos o materiales de aportación en núcleo de terraple-

nes o pedraplenes sobre los que se apoyan, y las capas de asiento del firme.

De esta forma, se definen tres categorías de cimiento del firme, de acuerdo con RFPCYL, en función de su capacidad de soporte, la cual se define a su vez mediante según los valores del módulo de compresibilidad, que se obtiene en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (NLT-357).

La categoría de cimiento se selecciona teniendo en cuenta la categoría de tráfico de proyecto elegido, el terreno subyacente existente, los suelos disponibles y el coste total de la solución.

Categoría de explanada	Módulo de compresibilidad, $E_{v2}$ (MPa)
E1	60
E2	120
E3	300



TABLA 6. CATEGORÍAS DEL CIMIENTO DEL FIRME

Para la formación de cada explanada se utilizará para cada categoría de cimiento las correspondientes capas de asiento adicionales. Para ello, se tendrá en cuenta, tal y como se especifica en las RFPCYL que de acuerdo con los materiales realmente disponibles, y considerando que la formación de las explanadas se debe llevar a cabo preferentemente mediante la estabilización de suelos in situ, se debe elegir cuál es la disposición más adecuada para conseguir la categoría de explanada que se pretende.

Los suelos reciclados estudiados en estas recomendaciones se considerarán análogos a sus equivalentes sin

reciclar debido a las características presentadas por los mismos. De esta forma podrán ser utilizados con las mismas consideraciones a nivel de espesores que los suelos seleccionados, adecuados y tolerables en la formación de explanadas o cimientos del firme.

A continuación se presenta para cada categoría de explanada y en función del tipo de suelo de la explanación o de la tierra, algunas de las soluciones propuestas incluyendo suelos fabricados con RCDs.

TIPO DE SUELO DE LA EXPLANACIÓN O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (espesor mínimo: 1 m. Si el espesor es menor seleccionar categoría inmediatamente inferior)					
	Suelos inadecuados y marginales	Suelos tolerables	Suelos adecuados	Suelos seleccionados	Roca
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1			<p>Espesor mínimo 100 cm</p>	
	E2			<p>Espesor mínimo 100 cm</p>	
	E3				

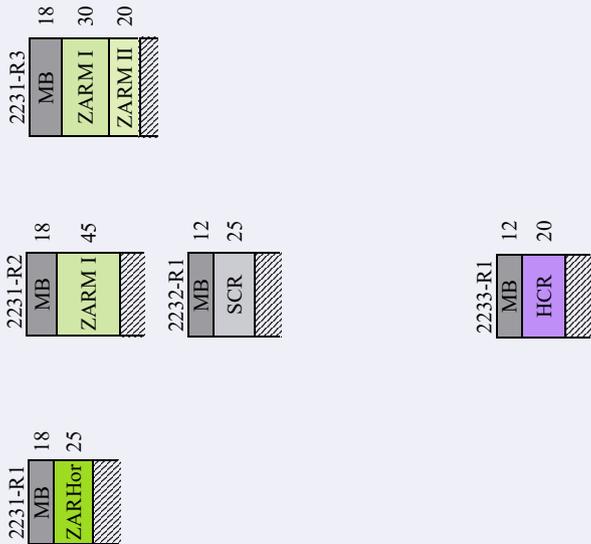
IN: suelo inadecuado; S-Tol: Suelo tolerable; S-Ad: Suelo adecuado; SR-Tol: suelo reciclado tolerable de RCD; SR-Ad Suelo Reciclado Adecuado de RCD; SR-Sel: Suelo reciclado seleccionado de RCD; S-EST1: Suelo estabilizado tipo 1; S-EST2: Suelo estabilizado tipo 2; S-EST3: Suelo estabilizado tipo 3; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD

## 5.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CARRETERA

A continuación se muestra, para cada categoría de tráfico y de explanada, diferentes secciones de firmes diseñadas con áridos fabricados con RCDs. Dichas secciones se han elaborado tomando como referencia la norma 6.1 IC (Secciones de firme) y las RFPCYL, así como la expe-

riencia acumulada en el diseño y construcción de firmes con este tipo de materiales.

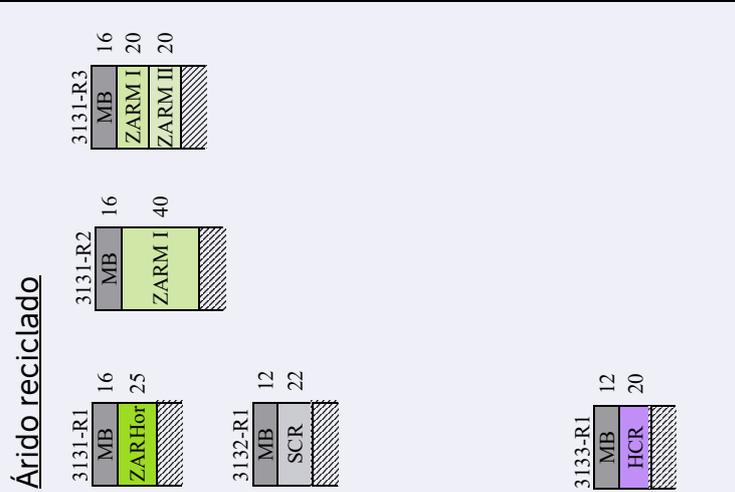
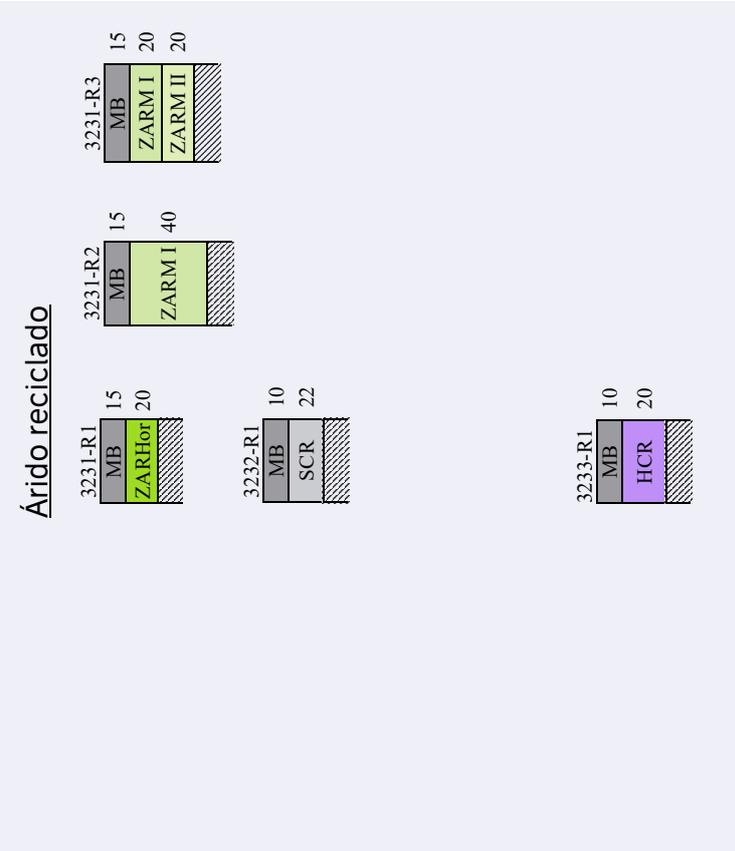
Debido a ello, se ha introducido asimismo la restricción de uso de explanadas de baja categoría para los tráficos más altos, priorizándose de este modo en proyecto la formación de explanadas de mayor calidad.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T22	<p><u>Árido reciclado</u></p> 	E3
	CATEGORÍA DE EXPLANADA		
		<p>MB: Mezcla bituminosa; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.</p>	



CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T31	T32
<p><b>Árido reciclado</b></p> <p>3121-R1: MB 16, ZARHor 40</p> <p>3121-R2: MB 16, ZARM I 45</p> <p>3121-R3: MB 16, ZARM I 25, ZARM II 25</p> <p>3122-R1: MB 12, SCR 30</p> <p>3123-R1: MB 12, HCR 20</p>	<p><b>Árido reciclado</b></p> <p>3221-R1: MB 15, ZARHor 35</p> <p>3221-R2: MB 15, ZARM I 40</p> <p>3221-R3: MB 12, ZARM I 20, ZARM II 25</p> <p>3222-R1: MB 12, SCR 30</p> <p>3233-R1: MB 10, HCR 21</p>
E2	
CATEGORÍA DE EXPLANADA	

MB: Mezcla bituminosa; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T31	T32
<p><u>Árido reciclado</u></p> 	<p><u>Árido reciclado</u></p> 
E3	
CATEGORÍA DE EXPLANADA	
<p>MB: Mezcla bituminosa; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.</p>	



CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T41	T42
<p><u>Árido reciclado</u></p> <p>4131-R1  </p> <p>4131-R2  </p> <p>4131-R3  </p> <p>4132-R1  </p> <p>4133-R1  </p>	<p><u>Árido reciclado</u></p> <p>4231-R1  </p> <p>4231-R2  </p> <p>4231-R3  </p> <p>4232-R1  </p> <p>4233-R1  </p>
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E3

MB: Mezcla bituminosa; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.

## 5.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

### 5.6.1. ESPESOR DE CAPAS Y TONGADAS

En las secciones tipo presentadas anteriormente se ha tenido en cuenta las limitaciones respecto a los espesores máximos y mínimos de cada tongada y capa, según se recoge en la RFPCYL y la Norma 6.1-I.C:

Material	Espesor mínimo de capa	Espesor máximo de capa
Grava-cemento	20 cm	25 cm
Suelo-cemento	20 cm	30 cm

**TABLA 7. ESPESORES DE CAPAS**

Material	Espesor mínimo de tongada	Espesor máximo de tongada
Zahorra	20 cm	30 cm

**TABLA 8. ESPESORES DE TONGADAS**

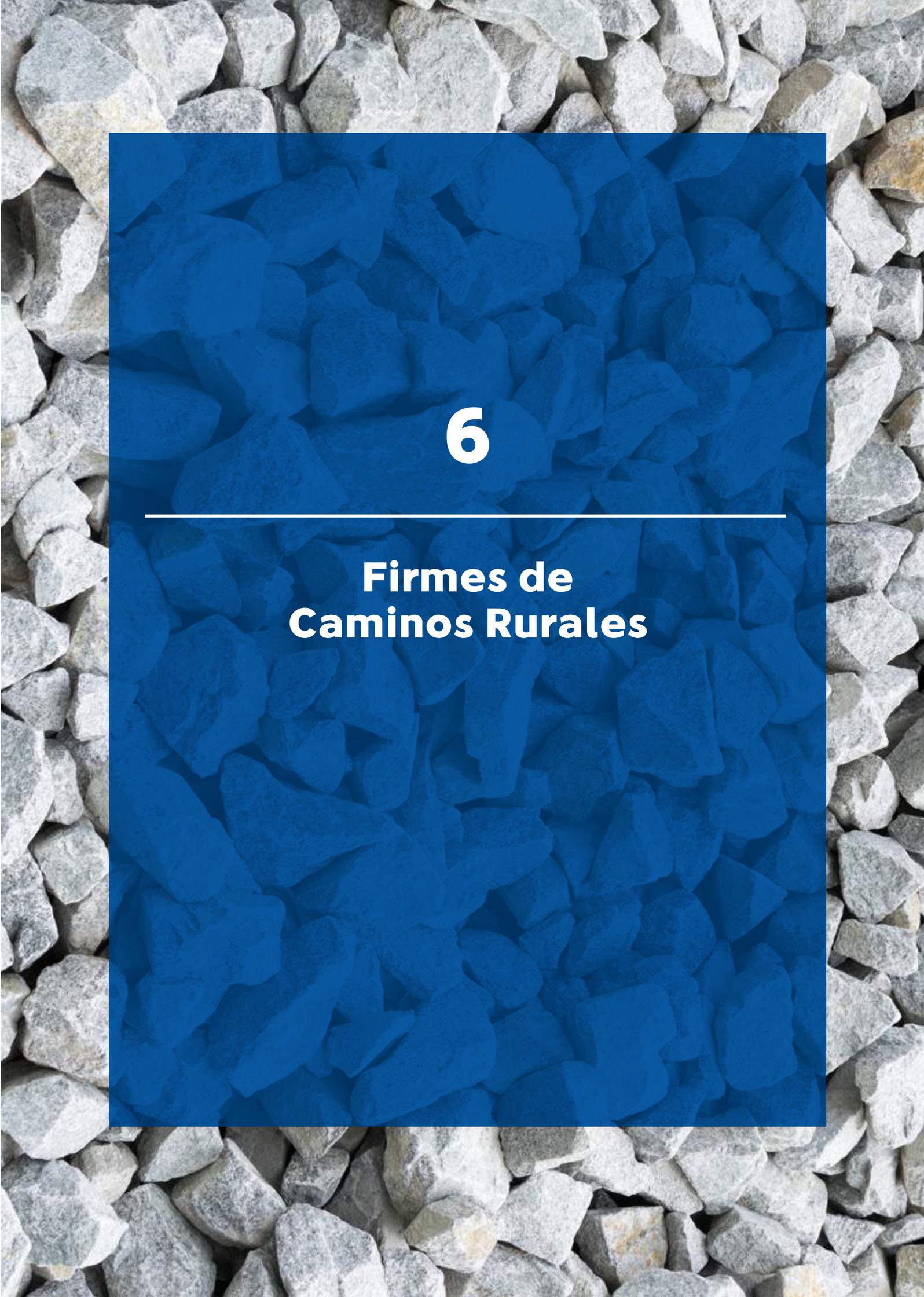
Así, en el caso de zahorra la capa de espesor mínimo estaría formada por una única tongada de 20cm de espesor, mientras que no existe limitación en cuanto al número máximo de tongadas que se pudieran ejecutar. Por otra parte, dicho espesor se redondea siempre en múltiplos de 5cm.

### 5.6.2. RESTRICCIONES DE USO

Debido a las características plásticas de la ZARM II, no se permite su contacto directo con las capas de mezcla bituminosa, debiendo siempre colocarse bajo una capa de ZARM I o ZARHor.

Por otra parte, las capas de Hormigón compactado procedente de reciclado (HCR) que estén en contacto directamente con la explanada, requerirán que la capa superior de la explanada esté tratada con cemento.





# 6

---

## **Firmes de Camino Rurales**

## 6.1. INTRODUCCIÓN

Los caminos rurales son aquellas vías de comunicación que cubren las necesidades del tráfico generado en las zonas rurales. En numerosas ocasiones se les denomina caminos económicos o caminos de escasa circulación.

El principal sector usuario de estos caminos es la agricultura, sector que se halla íntimamente ligado al transporte. Tan es así que una parte considerable del coste final de un bien agrícola es ocasionado por el transporte.

En los caminos rurales se pueden distinguir dos categorías. En la primera se incluyen aquellos que dan servicio a núcleos de población que se integran dentro de la red de carreteras provinciales dependientes de las Diputaciones. Éstos tienen una capa de rodadura constituida por un pavimento asfáltico o por una losa de hormigón. En la segunda se integran todos aquellos que dan servicio a las explotaciones agrarias, denominándose por ello, caminos agrícolas. La gran mayoría son caminos de carácter público y dependen de los Ayuntamientos. Éstos, como consecuencia del escaso tráfico que circula por ellos tienen en su gran mayoría una capa de rodadura constituida por materiales granulares sueltos.

Los caminos agrícolas presentan una serie de características propias que se relacionan a continuación:

1. Gran variabilidad en cuanto a la distribución de la intensidad del tráfico a lo largo del año. En las épocas de recolección es cuando se produce la mayor intensidad de vehículos todos ellos con grandes cargas por eje, siendo por tanto este periodo el más desfavorable para la vida del camino.
2. Escasa inversión en su conservación y mantenimiento
3. Volumen de tráfico (IMD) muy reducido. El IMD de un camino agrícola va a depender de los siguientes factores:
  - Superficie y número de explotaciones a las que da servicio.
  - Tipo de agricultura de la zona (extensiva o intensiva).

Aforos realizados en este tipo de vías dan valores superiores a 1-2 vehículos pesados/día pero siempre inferiores a 25 vehículos pesados/día, integrándose dentro de la categoría de tráfico T42 de la Instrucción 6.1 IC Secciones de Firme.

Una red de caminos agrícolas que da servicio a una amplia superficie, se puede dividir en tres categorías de caminos:

- Caminos principales: Son aquellos que actúan de eje de la red dando servicio a todas o a la mayoría de las explotaciones. Habitualmente enlazan con una carretera de la red provincial y son los que soportan el mayor volumen de tráfico.
- Caminos secundarios: Generalmente parten del camino principal y distribuyen el tráfico.
- Caminos terciarios: Generalmente parten de los caminos secundarios dando servicio a un número muy reducido de explotaciones, siendo los que soportan el menor volumen de tráfico.

En los caminos agrícolas, al no existir señalización horizontal, no se distinguen carriles para la circulación de los vehículos. La anchura de la calzada está comprendida entre 5 y 6 metros en los principales, entre 4 y 5 metros en los secundarios y entre 3 y 4 metros en los terciarios.

## 6.2. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

Considerando los datos de aforo y la tipología de caminos agrícolas se van a considerar tres categorías de tráfico englobadas en la categoría T42 de la Instrucción 6.1. IC Secciones de Firme, que se indican a continuación:

1. T421 con un IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio comprendido entre 15 y 25. Esta categoría se correspondería con los caminos principales. El volumen de tráfico a considerar en el carril de proyecto es el 75% del volumen total de tráfico del camino.
2. T422 con un IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio comprendido entre 5 y 14.
3. T423 con un IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio comprendido entre 0 y 4.

En las categorías de tráfico T422 y T423 se considera en el carril de proyecto y en el año de puesta en servicio el 100% del volumen de tráfico pesado del camino.

## 6.3. CRITERIOS DE PROYECTO

Las secciones tipo presentadas en estas recomendaciones se han diseñado teniendo en cuenta tanto las recomendaciones recogidas en el Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales, editado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, como la experiencia propia en la construcción de este tipo de viarios.

El citado manual ofrece una tabla con el espesor de las distintas capas de los diferentes materiales de aportación a emplear en la ejecución de estos caminos, en función de la categoría de explanada y del tipo de camino (camino peatonal, senda, carril bici). Así mismo, mediante el ábaco de Peltier se ha determinado el espesor total de firme necesario para el tráfico esperado.

A la hora de introducir material reciclado procedente de (RCD) en las secciones tipo, se ha aumentado el espesor de la capa en cuestión 5 centímetros cuando las propiedades resistentes resultaron inferiores a las de los áridos naturales, según se explicó en la sección 5.2. Las secciones resultantes se han validado mediante un modelo elástico multicapa con el que se han obtenido deformaciones y esfuerzos en las distintas capas de la sección. Aplicando los mismos criterios de fallo usados en el cálculo de firmes de carreteras, sección 5.2, se ha comprobado la validez de estas secciones equivalentes.

## 6.4. EXPLANADA

En los caminos agrícolas, la calidad de la explanada se evalúa a través del ensayo CBR y no mediante el ensayo de placa con carga como en los firmes de carretera. Por ello, se van a definir tres categorías de explanada que se muestran en la Tabla 9.

Categoría	CBR
E1	5 CBR < 10
E2	10 CBR < 20
E3	CBR 20

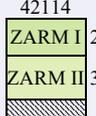
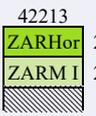
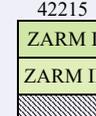
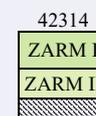
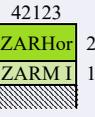
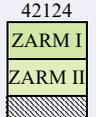
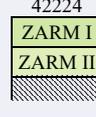
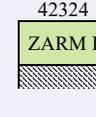
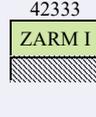


**TABLA 9. CATEGORÍAS DE EXPLANADA**

## 6.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CAMINOS RURALES

A continuación se muestra para cada categoría de tráfico y de explanada las secciones de firmes habituales en la actualidad en caminos rurales y sus equivalentes con árido reciclado.

En el caso de que la explanación (desmante) tuviese un CBR inferior a 5, se dispondrá sobre ella, una capa de suelo seleccionado natural o reciclado de RCD de 30 cm de espesor. De esta forma, se considera alcanzada la categoría de explanada E1.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T421	T422	T423
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	42113  42114 	42213  42214  42215 	42313  42314 
	E2	42123  42124 	42223  42224 	42323  42324 
	E3	42132  42133 	42232  42233 	42332  42333 

ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD.

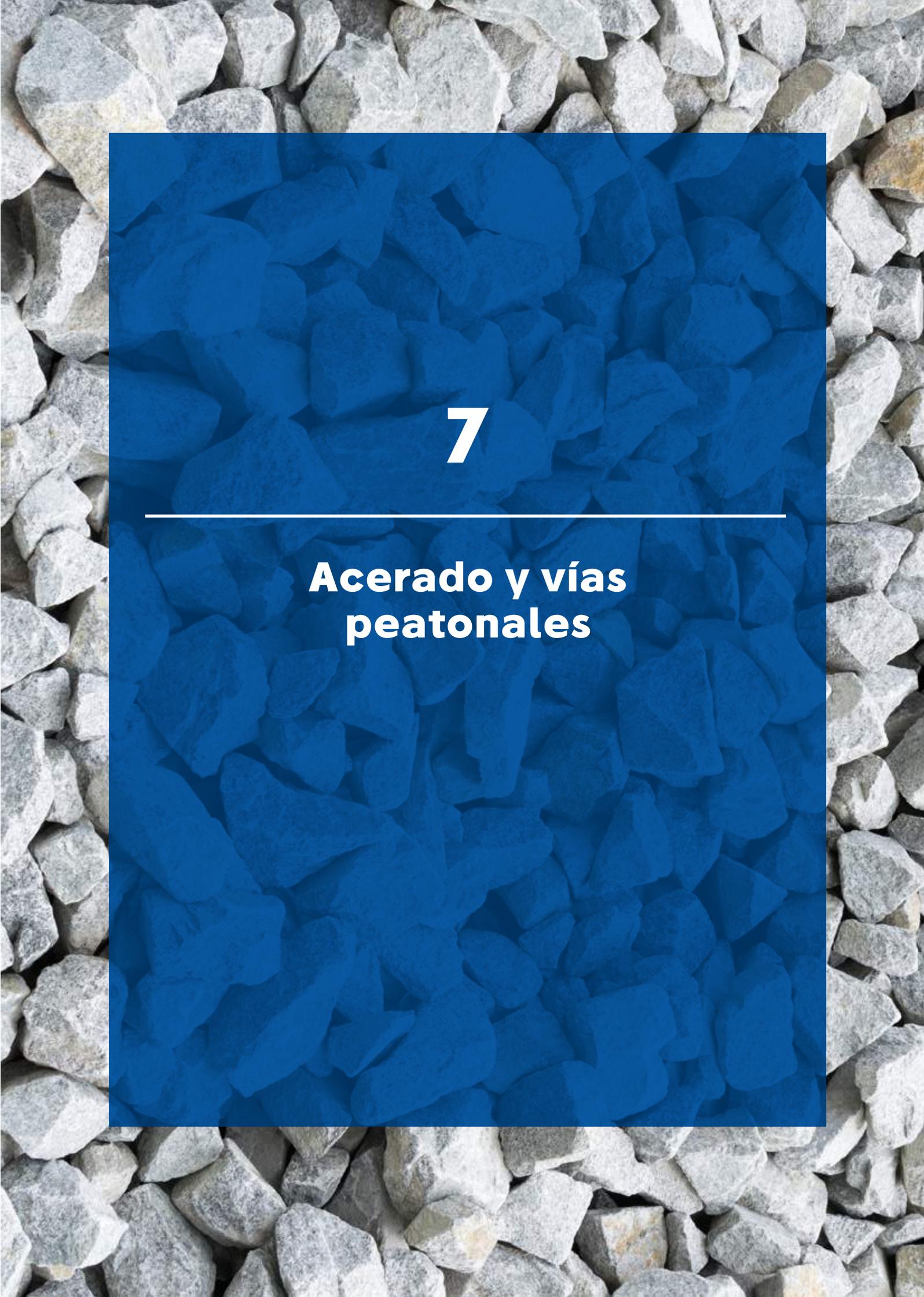
## 6.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

### 6.6.1. CALIDAD DE EXPLANADA EN INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES

En el caso de que el camino natural discorra por el trazado de una antigua infraestructura, ya sea carretera, ca-

mino o vía férrea, se puede suponer a efectos de diseño que la categoría de explanada existente es E3. No obstante, en el caso de que dicha explanada presente signos evidentes de fallos de capacidad portante, habrán de tomarse las medidas de mejora necesarias.





# 7

---

## **Acerado y vías peatonales**

## 7.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se incluyen recomendaciones para la pavimentación de vías urbanas usando material de RCD en algunas de sus capas. En la mayoría de los Acerados y vías peatonales, tiene importancia primordial la funcionalidad y la morfología del pavimento, más que sus características resistentes. También es importante tener en cuenta su mantenibilidad y la facilidad requerida para llevar a cabo reparaciones ocasionales de los servicios subterráneos.

Los áridos fabricados con RCD's, además de cumplir con estos requisitos, presentan la ventaja de que son materiales originados principalmente en núcleos urbanos y gestionados en sus proximidades. Es por ello que las posibilidades de uso son, y deben ser, las más altas de entre las unidades de obra aquí presentadas.

## 7.2. TIPOS DE ESPACIOS URBANOS

Los espacios urbanos considerados en las presentes recomendaciones corresponden a las siguientes tipologías:

- Acerado, exclusivo para el uso de peatones
- Vías peatonales, bien restringido a peatones o bien combinado con tráfico ligero

No se contemplan en estas recomendaciones las vías urbanas con tránsito de vehículos de emergencias y de carga.

## 7.3. CRITERIOS DE PROYECTO

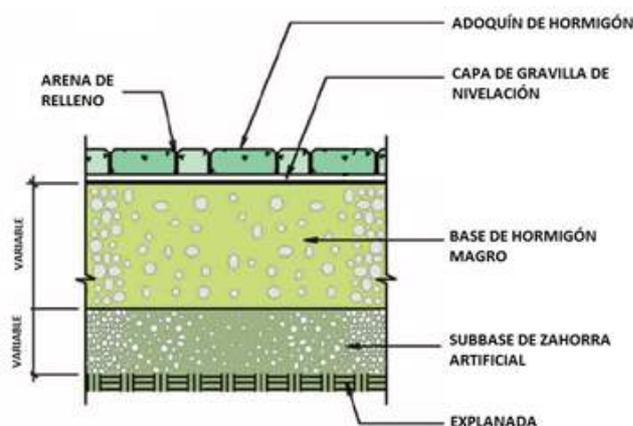
En la definición de secciones tipo se ha partido de las siguientes hipótesis o criterios de proyecto:

- Tipo de terreno natural
  - o Tolerable
- Tipo de explanada
  - o Media  
(Módulo de compresibilidad  $E_{v2} > 75\text{MPa}$ )
  - o Baja  
(Módulo de compresibilidad  $E_{v2} > 45\text{MPa}$ )
- Tipo de firme
  - o Rígido

- o Semi-rígido
- o Flexible
- Tipo de tránsito
  - o Peatonal restringido
  - o Uso combinado: peatonal y tráfico ligero
- Acabados superficiales
  - o Pavimentos discontinuos: cerámico, piedra local, baldosa de hormigón prefabricado

## 7.4. SECCIONES TIPO EN ACERADOS Y VÍAS PEATONALES

En diferentes normativas, tanto de ámbito local como autonómico, se definen secciones tipo en vías peatonales consistentes en un nivel superior de adoquín o baldosas, con una misión eminentemente funcional, y unas capas de soporte, base y subbase, de función estructural. En la siguiente figura (Ilustración 3) se muestra a modo de ejemplo lo que podría ser una sección tipo para este tipo de vía:



**ILUSTRACIÓN 3. SECCIÓN TIPO DE PAVIMENTO CON ADOQUINES PARA VÍA PEATONAL**

Las secciones tipo que se presentan en estas recomendaciones contemplan el uso de árido reciclado únicamente en las capas inferiores o estructurales, las cuales pueden combinarse con los habituales adoquines o baldosas en las capas superiores.

TIPO DE TRÁFICO		PEATONAL RESTRINGIDO			USO COMBINADO (PEATONAL+TRÁFICO LIGERO)		
CAPA SUPERIOR	CAPA SUPERIOR	  	 	  			
	CAPAS INFERIORES	<p><u>F. Rígido</u></p>    <p><u>F. Semi-Rígido</u></p>    <p><u>F. Flexible</u></p>  	<p><u>F. Rígido</u></p>    <p><u>F. Semi-Rígido</u></p> 				

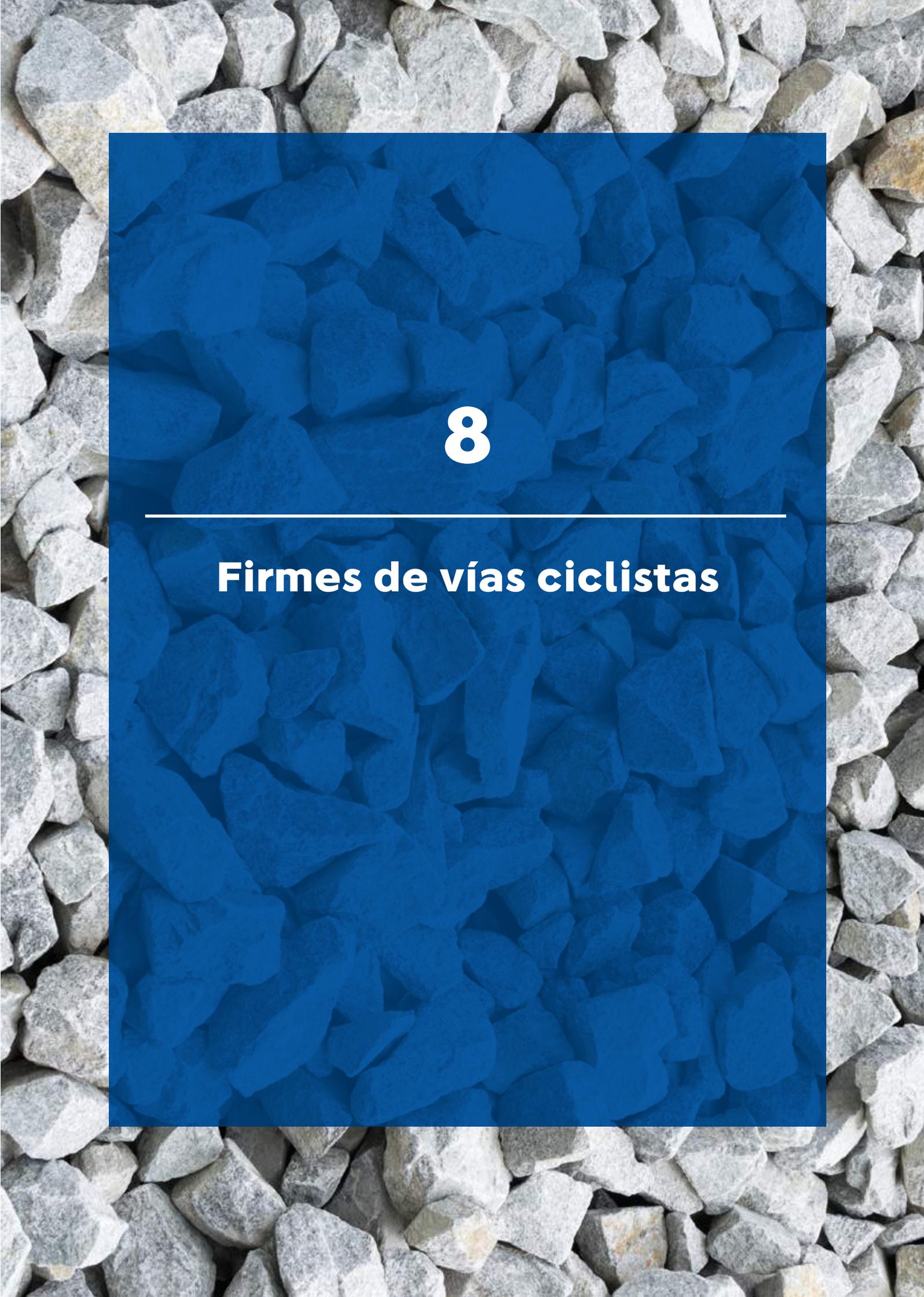
SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD; HMR: Hormigón magro reciclado; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARMI: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD;

TIPO DE TRÁFICO		PEATONAL RESTRINGIDO			USO COMBINADO (PEATONAL+TRÁFICO LIGERO)		
CAPA SUPERIOR							
CAPAS INFERIORES		F. Rígido			F. Rígido		
		F. Semi-Rígido			F. Semi-Rígido		
		F. Flexible			F. Flexible		

SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD; HMR: Hormigón magro reciclado de RCD; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD.

### 7.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- En peatonal restringido y firme flexible las secciones deben de estar confinadas en zonas de unos 20 metros cuadrados
- El hormigón HF debe poseer una resistencia a flexotracción mínima de 3,5 MPa.



8

---

## **Firmes de vías ciclistas**

## 8.1. INTRODUCCIÓN

En el presente epígrafe se presentan una serie de secciones de firmes tipo elaborados con áridos fabricados con RCD's y especialmente adaptados a las características de las vías ciclistas. Para ello se han consultado diversas recomendaciones existentes así como diversas experiencias sancionadas por la práctica.

## 8.2. TIPOLOGÍA DE VÍAS CICLISTAS

Se establecen un total de siete tipos, clasificados en función de la tipología de la red, su uso preferente y de su relación con los otros tráficos, motorizados y no motorizados.

- **Ciclo-senda:** vía para peatones y ciclos, segregada del tráfico motorizado que discurre por espacios abiertos, parques o jardines.
- **Pista bici:** vía ciclista segregada de los peatones y del tráfico motorizado, con trazado independiente de las carreteras.
- **Carril bici protegido:** vía ciclista que discurre adosada a la calzada, señalizada al efecto, en un solo sentido o en doble sentido. Se consideran protegidos cuando están separados del resto de la calzada mediante bordillos o bolardos.
- **Carril bici (no protegido):** vía ciclista que discurre adosada a la calzada, en un solo sentido o en doble sentido.
- **Acera bici:** vía ciclista señalizada sobre la acera, separada del tráfico motorizado pero integrada

en la acera o espacio peatonal presentando algún tipo de señalización y/o elemento físico o visual que la segregue del espacio propiamente peatonal.

- **Vía compartida urbana (Ciclo calle):** vía ciclista especialmente acondicionada, destinada en primer lugar a las bicis y en la que los vehículos motorizados deberán circular a una velocidad máxima de 30 km/h, o inferior si así estuviera específicamente señalizado.
- **Vía compartida interurbana:** vía donde coexiste el tráfico ocasional motorizado y el no motorizado en zonas rurales (uso compartido de caminos rurales por ciclistas y vehículos de uso agrícola).

En la red Autonómica tendrán cabida las tipologías que mejor se adapten al uso preferente, es decir, al uso lúdico, deportivo, turístico y cultural.

La red Metropolitana estará condicionada por la necesidad de segregación de los tráficos, debido a la importante diferencia entre las velocidades desarrolladas en este ámbito entre el tráfico motorizado y el no motorizado y a las altas intensidades de tráfico que suelen albergar las vías de carácter metropolitano. Por tanto, se adaptarán mejor a su funcionalidad, la pista-bici, el carril-bici protegido y la ciclo-senda.

En las redes urbanas, cuyo uso preferente es el transporte cotidiano, las tipologías recomendadas estarán condicionadas en gran medida por el entramado viario existente. Por tanto serán de aplicación con carácter general los carriles-bici, protegidos o no, dependiendo de la diferencia de las velocidades desarrolladas y de la intensidad de tráfico y la acera-bici.

		Red Autonómica	Red Metropolitana	Red Urbana	
Vías ciclistas	Ciclo-senda	X	X		
	Pista-bici	X	X		
	Carril bici	Protegido	X	X	X
		No protegido			X
	Acera-bici			X	
Vías compartidas Interurbana	Urbana (ciclo-calle)			X	
	X	X			

TABLA 10. ASIGNACIÓN DE CADA TIPOLOGÍA DE VÍA CICLISTA A LA RED DE CARRETERAS

## 8.3. CRITERIOS DE PROYECTO

### 8.3.1. GEOMETRÍA

Como criterios de proyecto a seguir se establecen unos parámetros geométricos de diseño entre los que destacan:

- Velocidad de proyecto
- Anchura mínima y resguardo
- Secciones tipo

#### Velocidad de proyecto

La velocidad de proyecto se establece en función del tipo de red con las siguientes velocidades genéricas de diseño:

- Velocidad genérica en Red Urbana: 10-20 km/h
- Velocidad genérica en Red Metropolitana: 20-40 km/h
- Velocidad genérica en Red Autónoma: 20-40 km/h

En todo caso, se toma como velocidad mínima: 10 km/h.

#### Anchuras mínimas y resguardos

La Tabla 11 muestra las anchuras mínimas y resguardos de acuerdo a lo establecido por la Dirección General de Tráfico:

	Metros
<b>Anchura mínima sentido único</b>	<b>1,5</b>
<b>Anchura mínima doble sentido sin bordillos</b>	<b>2,5</b>
<b>Anchura mínima doble sentido con bordillos</b>	<b>3,0</b>
<b>Resguardo aparcamiento</b>	<b>0,8</b>

 **TABLA 11. ANCHURAS MÍNIMAS Y RESGUARDOS**

#### Secciones transversales tipo

Para las secciones transversales se proponen las anchuras indicadas en la siguiente tabla para las distintas vías anteriormente definidas.

		Red Autónoma	Red Metropolitana	Red Urbana	Sentido	Sección tipo (m)	
<b>Vías ciclistas</b>	<b>Ciclo-senda</b>	X	X			2,5-5,0	
	<b>Pista-bici</b>	X	X	<b>Doble</b>	Único	1,5-2,0	
					2,5-3,0		
	<b>Carril bici</b>	<b>Protegido</b>	X	X	X	Único	1,8-2,0
		<b>No protegido</b>			X	Doble	2,5-3,0
<b>Acera-bici</b>				X			
<b>Vías compartidas</b>	<b>Urbana (ciclo-calle)</b>			X			
	<b>Interurbana</b>	X	X				

 **TABLA 12. ANCHURAS RECOMENDADAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE RED Y DEL SENTIDO DE CIRCULACIÓN**

### 8.2.2. TRÁFICO

La definición del tipo de tráfico pesado, elemento básico para la proyección de carreteras, se elimina en este caso, ya que sería asimilable en todo caso al denominado T-45 (0-1 vehículos pesados/día), que se recoge en el Manual de Recomendaciones de Diseño, construcción, infraestructura, balizamiento, conservación y mantenimiento de carril bici, de la Dirección General de Tráfico.

### 8.2.3. ESTRUCTURA DEL FIRME

Las capas que forman tradicionalmente el firme en la red viaria general se compone de subbase, base y pavimento, pero en el caso de las vías ciclistas algunas de las capas bajo el pavimento pueden suprimirse, por las menores necesidades resistentes.

Así, de esta forma, la estructura de una vía ciclista se configurará en función de la tipología de pavimento que se proponga emplear y el tipo de explanada que se haya conseguido, que vendrá dado por los materiales disponibles, y para el caso de las presentes recomendaciones, para los materiales reciclados procedentes de RCD.

Los firmes se agrupan según la rigidez de su estructura, en flexibles, compuestos por capas granulares y mezclas bituminosas, rígidos, compuestos de hormigón, baldosas o adoquines, y semirrígidos, donde se combinan parcialmente las características (suelo-cemento y productos bituminosos).

Se incluye a continuación una tabla que relaciona la idoneidad de cada uno de los tipos de firme considerados con los distintos tipos de vía según la clasificación que se ha hecho previamente.

Tipo de vía	Situación tipo	FL-1	FL-2	FL-3	SR-1	SR-2	SR-3	RIG-1	RIG-2
Carril bici	Nueva creación	X	X		X	X		X	
Acera bici	Nueva creación	X	X		X	X		X	X
Ciclo-senda	Sobre caminos existentes		X	X		X	X	X	
	Antiguas plataformas de ferrocarril (vías verdes)			X			X		
Pista bici	Nueva creación	X	X		X	X		X	
Cualquier vía	Aprovechamiento plataforma existente	Añadir la capa de rodadura o las capas de firme necesarias en función de la sección existente							



TABLA 12.

TIPOLOGÍA DE FIRME SEGÚN LOS TIPOS DE VÍAS CICLISTAS ADOPTADOS

FL-1: firme flexible con mezcla bituminosa; FL-2: firme flexible con tratamiento superficial con gravilla; FL-3: firme flexible con zahorra artificial; SR-1: firme semirrígido con mezcla bituminosa; SR-2: firme semirrígido con tratamiento superficial con gravilla; SR-3: firme semirrígido con suelo-cemento o albero-cal; RIG-1: firme rígido con hormigón; RIG-2: firme rígido con baldosa o adoquín

## 8.3. EXPLANADA

### 8.3.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE EXPLANADA

Se entiende por explanada el terreno natural o conformado artificialmente sobre el que se apoyan las distintas capas del firme, siendo la que determina en gran medida las características de capacidad de carga y durabilidad.

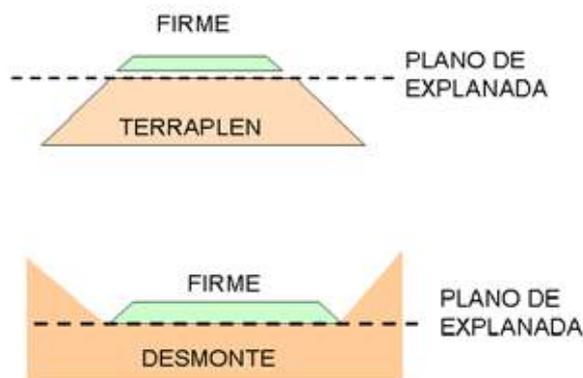


ILUSTRACIÓN 4. DEFINICIÓN DE EXPLANADA

Se establecen dos tipos de explanadas:

- **Explanada E-1, baja**, que es la explanada que ofrece un módulo elástico equivalente E mayor de 45 MPa
- **Explanada E-2, media**, que es aquella explanada que ofrece un módulo elástico equivalente E mayor de 75 MPa

pacidad de soporte al cimiento del firme para garantizar la durabilidad de estas estructuras.

La siguiente tabla recoge en función de la explanada que se pretenda conseguir, una serie de paquetes de materiales naturales descritos en las “Recomendaciones de diseño para vías ciclistas” (2013) y los materiales reciclados de RCD descritos en el Anexo II. Los espesores de los materiales reciclados dependen del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características de los áridos reciclados empleados.

### 8.3.2. FORMACIÓN DE LAS EXPLANADAS

Las cargas transmitidas por la bicicleta son prácticamente despreciables, sin embargo es importante dotar de ca-

MATERIALES A DISPONER SEGÚN SUELO DE APOYO Y EXPLANADA A CONSEGUIR					
SUELOS NATURALES DE APOYO	SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES CBR>2	SUELOS TOLERABLES	SUELOS ADECUADOS	SUELOS SELECCIONADOS	
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1, BAJA	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SR-TOL 100</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO INAD-MARGINAL</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-SEL 20</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-TOL 25</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO INAD-MARGINAL</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SR-TOL 50</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO TOLERABLE</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-SEL 30</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO TOLERABLE</div> </div>	<p><b>CUMPLE SIEMPRE</b></p> <p><b>NO ES NECESARIO SUSTITUIR TERRENO</b></p>	
	E2, MEDIA	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SR-SEL 75</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO INAD-MARGINAL</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-SEL 35</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-TOL 50</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO INAD-MARGINAL</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SR-SEL 50</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO TOLERABLE</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-SEL 35</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SR-TOL 40</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO TOLERABLE</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SR-SEL 30</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO ADECUADO</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">ZARM II 25</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SUELO ADECUADO</div> </div>	<p><b>CUMPLE SIEMPRE</b></p> <p><b>NO ES NECESARIO SUSTITUIR TERRENO</b></p>

SR-SEL: Suelo seleccionado reciclado de RCD; SR-TOL: Suelo tolerable reciclado de RCD; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD.

### 8.4. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE VÍAS CICLISTAS

La siguiente tabla recoge en función de la explanada y tipología de firme (flexible, semirrígido o rígido), las soluciones generales con los materiales descritos en las “Recomendaciones de diseño para vías ciclistas” (2013) y los materiales reciclados de RCD descritos en el Anexo II.

ESQUEMA DE FIRMES PROPUESTOS									
TIPO	FLEXIBLES			SEMIRRÍGIDOS		RÍGIDOS			
SUBTIPO	FL-1	FL-2	FL-3	SR-1	SR-2	SR-3	R-1	R-2	
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1, BAJA								
		E2, MEDIA							

MB: Mezcla bituminosa; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD; TS: tratamiento superficial; BA: baldosa/adoquín

### 8.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las zahorras de áridos reciclados (ZARHor y ZARM I) se consideran equivalentes a la zahorra artificial. Por ello, cuando se utilicen estos materiales como capa de rodadura, será conveniente una conservación frecuente, debido a la degradación de estos materiales por los agentes climáticos, y por el uso, sobre todo en pendiente.

El suelo-cemento con árido reciclado seguirá las pautas del suelo-cemento original, por tanto, es desaconsejable en entornos muy exigentes con la calidad final del acabado y recomendable en vías ciclistas de parques o zonas naturales.

# 9

---

## Obras de drenaje y zanjas

## 9.1. INTRODUCCIÓN

Para el empleo de áridos fabricados con RCD's en zanjas urbanas y rellenos drenantes, se sigue la misma metodología establecida a lo largo de todas las recomendaciones. De esta manera se proponen secciones en donde se sustituyen total o parcialmente los áridos habitualmente utilizados en este tipo de obras por otros procedentes de residuos de construcción y demolición que cumplen todos los criterios de resistencia, estabilidad química, etc. exigibles.

Las posibilidades de uso propuestas en estas recomendaciones consisten en el relleno de zanjas urbanas y el drenaje bajo losas y soleras de hormigón.

## 9.2. CRITERIOS DE PROYECTO

### Rellenos drenantes

El uso de áridos procedentes de RCD en rellenos drenantes quedará supeditado al cumplimiento por parte de los mismos de las prescripciones que el PG-3 en su artículo 421 exige a los materiales que van a servir de drenaje en rellenos localizados.

### Relleno de zanjas urbanas

La instalación de servicios enterrados en ámbito urbano comprende una serie de operaciones, como apertura de zanjas, perforación de túneles, rellenos, terraplenadas, drenaje y compactación del suelo, etc. Todo ello exige un adecuado conocimiento de las condiciones del subsuelo por lo que se debe realizar un estudio para localizar tubos, cables y otros trabajos subterráneos.

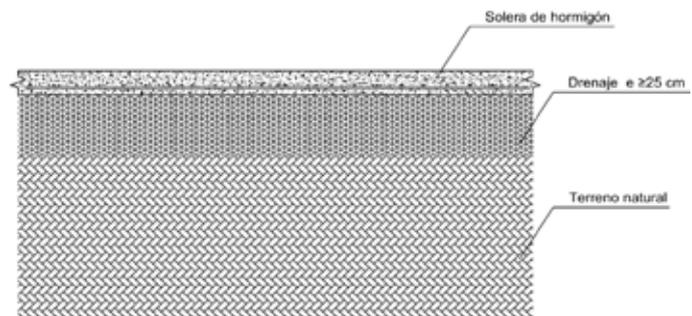
Los componentes y los materiales utilizados para la instalación deben ser conformes con las normas nacionales, las ordenanzas municipales o los procedimientos de instalación elaborados por el fabricante de la conducción a enterrar, siempre bajo la aprobación de los técnicos responsables de la obra.

En estas recomendaciones, con el objeto de ser lo más generales posibles, se han aplicado las hipótesis y criterios de proyecto definidos en la norma UNE-EN 1610, en particular los relativos a:

- Anchura de la zanja
- Profundidad de la zanja
- Apoyo de las tuberías
- Relleno de la zanja
- Tipo de tuberías
- Tráfico y cargas temporales
- Forma de la zanja
- Nivel freático

## 9.3. SECCIÓN TIPO EN RELLENOS DRENANTES BAJO LOSA O SOLERA DE HORMIGÓN

La sección tipo propuesta para el drenaje bajo una solera de hormigón se puede observar en la Ilustración 5. En ella se propone una capa de espesor igual o superior a 25 centímetros bajo la solera o losa de hormigón, que estará compuesta por el material drenante reciclado procedente de RCD, con las características que se presentan para el mismo en el Anexo II y cumpliendo las prescripciones del artículo 421 del PG-3 para rellenos drenantes localizados.

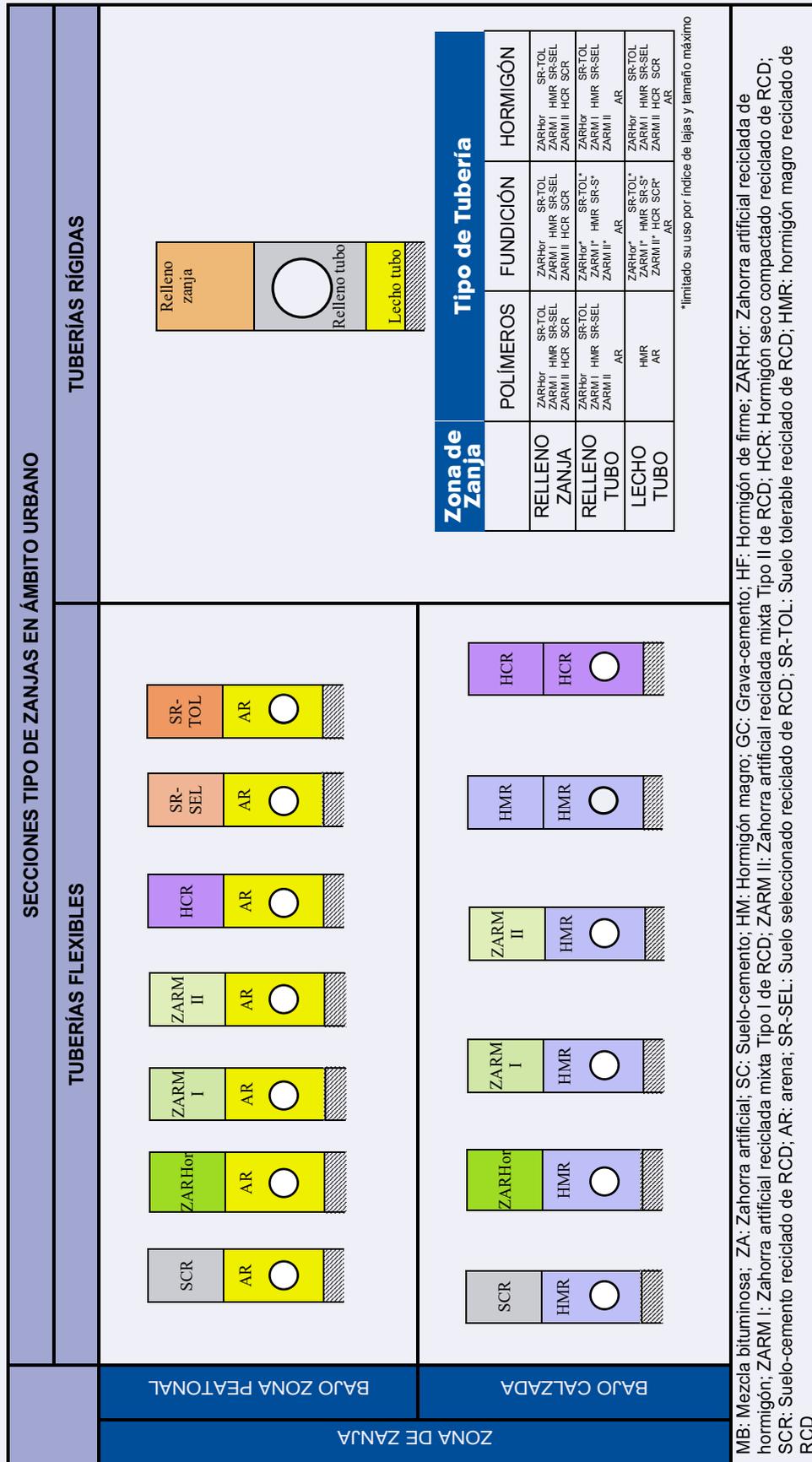


**ILUSTRACIÓN 5. SECCIÓN TIPO PROPUESTA PARA DRENAJE BAJO SOLERA DE HORMIGÓN**

Cabe mencionar que a este tipo de rellenos no se le confía ninguna misión estructural, únicamente se debe diseñar para garantizar su función drenante y estabilidad en el tiempo.

## 9.4. SECCIONES TIPO DE ZANJAS URBANAS

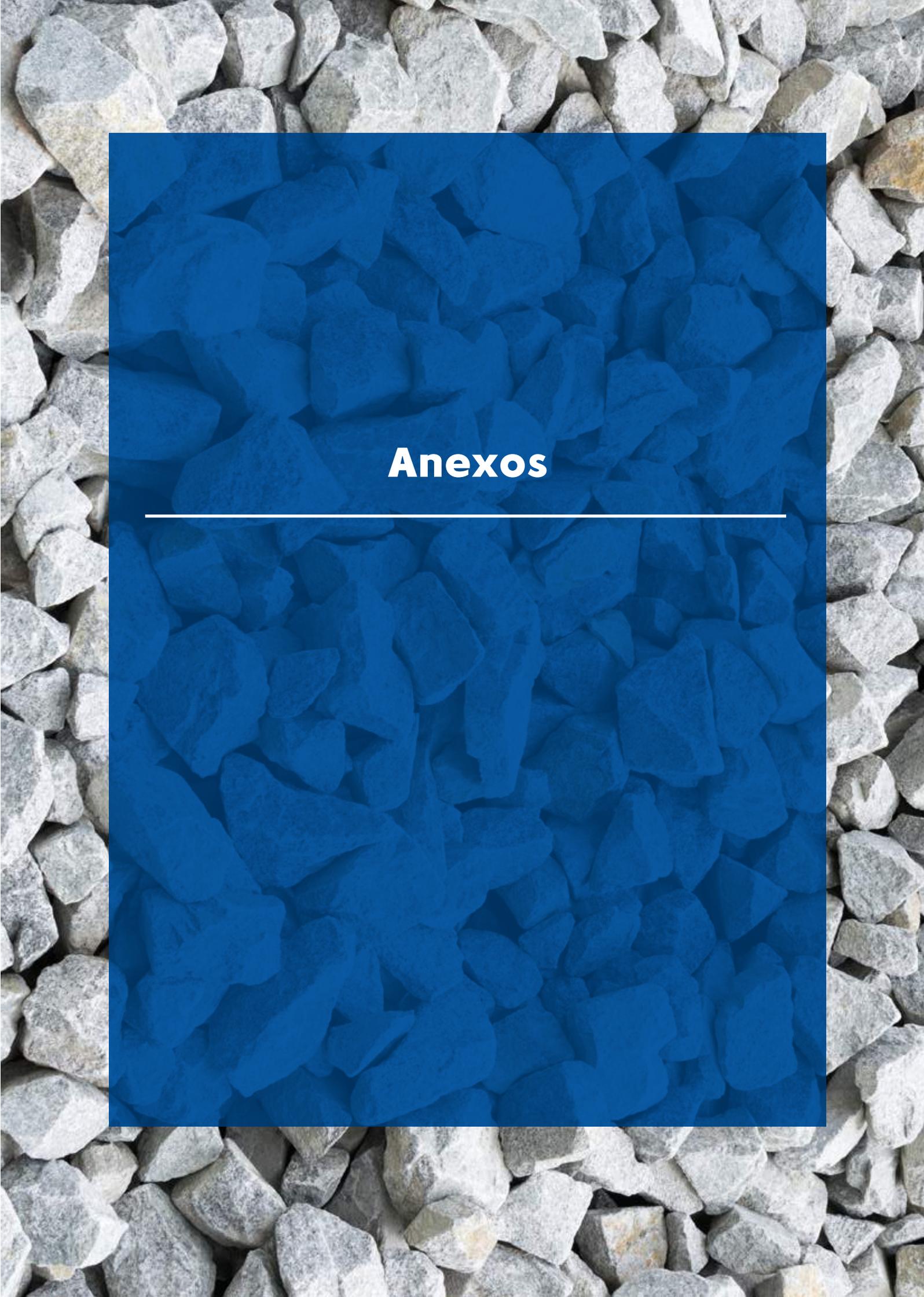
Las secciones tipo presentadas a continuación se han diseñado teniendo en cuenta las propiedades mecánicas y físico-químicas de los áridos reciclados procedentes de RCD. Se proponen diferentes secciones tipo según el tipo de tubería (flexible o rígida) y según el tipo de tráfico previsto sobre la zanja (zona peatonal o bajo calzada), ya que estos son los principales factores que influyen en el diseño geométrico y resistente de la zanja.



### 9.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Se adoptarán las recomendaciones constructivas indicadas por el fabricante de la tubería o la empresa suministradora del servicio en cuestión. En su defecto será válido el procedimiento general de construcción de elementos enterrados contemplado en la Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial del Ministerio de Fomento.



The background of the entire page is a close-up photograph of grey, angular stones. A large, semi-transparent blue rectangle is centered over the image, containing the text and a horizontal line.

# Anexos

---



# Glosario de términos

**Rc:** componente no flotante de los áridos gruesos reciclados compuesto de hormigón, productos de hormigón mortero y/o unidades de albañilería de hormigón

**Ru:** componente no flotante de los áridos gruesos reciclados compuesto por áridos no tratados, piedra natural, áridos tratados con conglomerantes hidráulicos

**Rb:** componente no flotante de los áridos gruesos reciclados compuesto por unidades de albañilería de arcilla (ladrillos y tejas), unidades de albañilería de silicato cálcico, hormigón aireado no flotante

**Ra:** componente no flotante de los áridos gruesos reciclados compuesto por materiales bituminosos

**Rg:** componente no flotante de los áridos gruesos reciclados compuesto por vidrio

**X:** componentes no flotantes de los áridos reciclados cohesivos (arcilla y/o arena), metálicos (ferrosos y no ferrosos), madera no flotante, plástico y caucho, o yeso.

**FL:** componente de los áridos gruesos reciclados compuesto por partículas flotantes

**CBR:** California bearing ratio

**ZARM I:** zahorra artificial reciclada mixta tipo I de RCD

**ZARM II:** zahorra artificial reciclada mixta tipo II de RCD

**ZARHor:** zahorra artificial reciclada de hormigón

**ZARA:** zahorra reciclada asfáltica

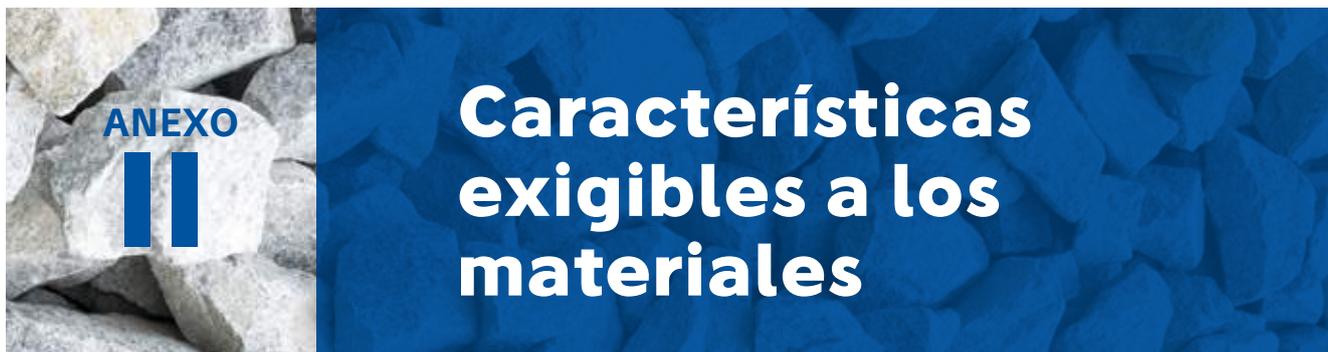
**SR-Sel:** suelo seleccionado reciclado de RCD

**SR-Tol:** suelo tolerable reciclado de RCD

**SCR:** suelo-cemento reciclado de RCD

**HCR:** hormigón reciclado compactado de RCD

**GCR:** grava-cemento reciclada de RCD



**ANEXO**  
II

# Características exigibles a los materiales

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A LAS ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD

En las Tablas A-1 a A-5 se recogen los requisitos relativos a composición, geometría, físico-mecánicos y químicos que deben cumplir cada una de las zahorras.

**TABLA A-1. CLASIFICACIÓN DE ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD SEGÚN ENSAYO DE COMPOSICIÓN**

		ZARHor	ZARM I	ZARM II	ZARA
<b>Composición</b> UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-	≥ 70 %	≥ 70 %	≥ 90 %
	Rc+Ru	≥ 90%	≥ 55 %	≥ 55 %	-
	Rc	-	-	-	-
	Ra	-	-	-	≥ 50 %
	Rb	-	-	-	-
	<b>X</b>	< 1 %		< 2 %	< 1 %
	<b>FL</b>	<1 cm <sup>3</sup> /kg		<2 cm <sup>3</sup> /kg	<1 cm <sup>3</sup> /kg

**TABLA A-2. REQUISITOS GEOMÉTRICOS (I) DE LAS ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD**

		ZARHor - ZARM I - ZARA			ZARM II		
		0/32	0/20	0/20 ZAD	0/40	0/32	0/22
<b>Granulometría</b> UNE EN 933-1	56	-	-	-	100	-	-
	45	-	-	-	85-100	100	-
	40	100	-	-	75-99	87-100	-
	32	88-100	100	100	68-95	75-99	100
	20	65-90	75-100	65-100	56-85	62-91	71-97
	12,5	52-76	60-86	47-78	44-74	50-79	55-84
	8	40-63	45-73	30-58	35-63	40-68	45-75
	4	26-45	31-54	14-37	22-46	27-51	32-61
	2	15-32	20-40	0-15	15-35	20-40	25-50
	0,5	7-21	9-24	0-6	7-23	7-26	10-32
	0,25	4-16	5-18	0-4	4-18	4-20	5-24
	0,063	0-9	0-9	0-2	0-9	0-11	0-11
<b>Índice de lasjas</b> UNE-EN 933-3		< 35					

**TABLA A-3. REQUISITOS GEOMÉTRICOS (II) DE LAS ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD**

Partículas trituradas UNE EN 933-5 y 933-5	Tipo de árido	Categoría de tráfico	
		T2	T3-T4
Partículas total y parcialmente trituradas (%)	ZARHor	>70	>50
	ZARM I		
	ZARM II		
	ZARA	>70	
Partículas totalmente redondeadas (%)	ZARHor	<10	
	ZARM I		
	ZARM II	<50	
	ZARA		

**TABLA A-4. REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS DE LAS ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD**

		ZARHor	ZARM I	ZARM II	ZARA
Absorción UNE-EN 933-1:2012	< 4 mm	< 10 %	< 12%	< 14 %	< 10 %
	> 4 mm	< 7 %	< 9%	< 11%	< 7%
Equivalente de Arena UNE-EN 933-8		> 35 <sup>(3)</sup>	> 30 <sup>(3)</sup>	> 25 <sup>(3)</sup>	> 35 <sup>(3)</sup>
CBR UNE 103502		>40		>20	>30
Límites de Atterberg	UNE 103103	N.P.		LL < 25	N.P.
	UNE 103104			IP < 6	
Desgaste los Ángeles UNE-EN 1097-2	Capas granulares de firmes	T2	<35		<35
		T3	<40	<40	<40
		T4			
	Carril bici y vías peatonales urbanas			<45	

<sup>(3)</sup> este valor podrá disminuirse en 5 unidades siempre y cuando el azul de metileno (UNE-EN 933-9) sea inferior a 10

**TABLA A-5. REQUISITOS QUÍMICOS DE LAS ZAHORRAS RECICLADAS DE RCD**

	ZARHor	ZARM I	ZARM II	ZARA
Materia Orgánica UNE 103204	< 1%		< 2 % <sup>(1)</sup>	
Comp. totales de azufre (SO <sub>3</sub> ) <sup>(2)</sup> UNE-EN 1744-1	1,3%		1,8%	1,3%
Sulf. Sol. Agua (SO <sub>4</sub> ) UNE-EN 1744-1	< 0,7% (SO <sub>4</sub> ) < 0,5 (SO <sub>4</sub> ) en contacto con materiales ligados con cemento			
Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos UNE-EN 1367-2	≤ 18%			

<sup>(1)</sup> Siempre que se justifique que la materia orgánica provenga de materiales bituminosos

<sup>(2)</sup> Siempre que no esté en contacto con cemento u hormigón. Si no fuera así, el contenido de azufre total deberá ser inferior al 0,5% expresado en SO<sub>3</sub>

## NOTA:

Todas las propiedades de las zahorras recicladas anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A LOS SUELOS RECICLADOS DE RCD

Si los materiales reciclados de granulometría continua no se clasifican dentro de alguna de las clases de zahorra indicadas en el apartado anterior, podrán ser clasificados como suelos reciclados si cumplen los criterios mostrados en las Tablas A-6 a A-9.

**TABLA A-6. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS RECICLADOS DE RCD SEGÚN EL ENSAYO DE COMPOSICIÓN**

		SR-SEL	SR-AD	SR-TOL
<b>Composición</b> UNE-EN 933-11	<b>Componentes principales</b>	-		
	<b>X</b>	< 3%	<4%?	< 5%
	<b>FL <sup>(1)</sup></b>	< 2 cm <sup>3</sup> /kg		
	<b>Yeso</b>	< 1 %	<1%	< 2 %

<sup>(1)</sup> Se rebajará a 0,5 cm<sup>3</sup>/kg cuando el suelo no vaya a ser cubierto por ninguna otra capa.

**TABLA A-7. REQUISITOS GEOMÉTRICOS DE LOS SUELOS RECICLADOS DE RCD**

		SR-SEL	SR-AD	SR-TOL
<b>Granulometría</b>	UNE-EN 933-1	# 20 > 70 % y # 0,40 < 15% ó #2 < 80%, #0,40 < 75% #0,08 < 25% LL < 30 IP < 10	#2 < 80%, #0,08 < 35%  LL < 40 ó LL > 30 IP > 4	# 20 > 70 % ó # 0,080 > 35%
<b>Tamaño máximo</b>		D <sub>máx</sub> ≤ 100 mm	D <sub>máx</sub> ≤ 100 mm	-



**TABLA A-8. REQUISITOS FÍSICO MECÁNICOS DE LOS SUELOS RECICLADOS DE RCD**

		SR-SEL	SR-AD	SR-TOL
<b>Asiento ens. colapso</b>	NLT-254/99	-	¿	< 1%
<b>Hinchamiento libre</b>	UNE 103601	-	¿	< 3%
<b>Límites de Atterberg</b>	UNE 103103	LL < 30 <sup>(2)</sup>	LL < 40	LL < 65
	UNE 103104	IP < 10 <sup>(2)</sup>	IP > 4 si LL > 30	IP > 0,73 (LL-20) siempre que LL > 40

<sup>(2)</sup> Si no se cumple la condición de granulometría #20 > 70 % y #0,40 < 15%

**TABLA A-9. REQUISITOS QUÍMICOS DE LOS SUELOS RECICLADOS DE RCD**

		SR-SEL	SR-AD	SR-TOL
<b>Materia orgánica</b> UNE 103204	<0,2 % si procede de tierras de excavación	< 1 %	< 2 %	
	<1% si procede de RCD	< 1 %		
	<2 % si procede de bituminoso	< 2 %		
<b>Sales solubles</b> NLT-114/99	< 2 %	< 2 %	< 4 %	
<b>Contenido en yeso</b> NLT-115	<2%	< 2 %	< 5%	

**NOTA:**

Todas las propiedades de los suelos reciclados anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES AL SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD

Para su uso en la fabricación de suelo-cemento, los áridos reciclados deberán cumplir los requisitos mostrados en las Tablas A-10 a A-14:

**TABLA A-10. CLASIFICACIÓN DEL ÁRIDO PARA SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD SEGÚN ENSAYO DE COMPOSICIÓN**

		SCR40	SCR20
Composición UNE-EN 933-11	X	< 1%	
	FL	< 1 cm <sup>3</sup> /kg	

**TABLA A-11. REQUISITOS GEOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD**

		SCR40	SCR20
Granulometría UNE-EN 933-1	54 mm	100	100
	40 mm	80-100	100
	32 mm	75-100	100
	20 mm	62-100	92-100
	12,5 mm	53-100	76-100
	8 mm	45-89	63-100
	4 mm	30-65	48-100
	2 mm	20-52	36-94
	0,5 mm	5-37	18-65
	0,063 mm	2-20	2-35

**TABLA A-12. REQUISITOS FÍSICOS DEL ÁRIDO PARA SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD**

		SCR40	SCR20
Plasticidad	UNE 103103	LL < 30	
	UNE 103104	IP < 12	

**TABLA A-13. REQUISITOS QUÍMICOS DEL ÁRIDO PARA SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD**

	SCR40	SCR20
Materia Orgánica UNE 103204	< 1 % <sup>(1)</sup>	
Compuestos totales de azufre (SO <sub>3</sub> ) UNE-EN 1744-1	< 1 %	
Sulf. sol. ácido (SO <sub>3</sub> ) UNE-EN 1744-1 UNE 103201 <sup>(2)</sup>	< 0,8 %	
Reactividad UNE 146508 EX (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)	NO REACTIVO	

<sup>(1)</sup> Siempre que se justifique que la materia orgánica provenga de materiales bituminosos se podrá elevar al 2%

<sup>(2)</sup> Si Sulf. solubles (UNE 103201) > 0,5% en SO<sub>3</sub>, el uso de cemento SR es OBLIGATORIO

**TABLA A-14. RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA SUELO-CEMENTO RECICLADO DE RCD**

	Zona	Resistencia media a compresión (MPa) a 7 días	
		Mínima	Máxima
Suelo-cemento	Calzada y arcenes	2,5	4,5

**NOTA:**

Todas las propiedades del suelo-cemento anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES AL HORMIGÓN SECO COMPACTADO RECICLADO DE RCD

Para su uso en la fabricación de hormigón seco compactado, los áridos reciclados deberán cumplir los requisitos mostrados en las Tablas A-15 a A-17:

**TABLA A-15. CLASIFICACIÓN DEL ÁRIDO PARA HORMIGÓN SECO COMPACTADO RECICLADO DE RCD**

<b>Clasificación<sup>(1)</sup></b>	ZARHor, ZARM I
------------------------------------	----------------

<sup>(1)</sup> Clasificación según el presente Anexo. Los materiales deben cumplir las características relativas a composición y propiedades físico-químicas según lo recogido en el apartado correspondiente.

**TABLA A-16. REQUISITOS GEOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA HORMIGÓN SECO COMPACTADO RECICLADO DE RCD**

		HRC
<b>Granulometría</b> UNE-EN 933-1	50 mm	100
	40 mm	100
	25 mm	100
	20 mm	100
	12,5 mm	85-100
	8 mm	52-78
	4 mm	36-58
	2 mm	30-47
	0,5 mm	16-27
	0,063 mm	9-19

**TABLA A-17. REQUISITOS MECÁNICOS DEL HORMIGÓN SECO COMPACTADO RECICLADO DE RCD**

	HCR
<b>Resistencia a compresión</b> UNE 12390-3	≥ 10MPa

### NOTA:

Todas las propiedades del hormigón seco compactado anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A LA GRAVA-CEMENTO RECICLADA DE RCD

Para su uso en la fabricación de grava-cemento, los áridos reciclados deberán cumplir los requisitos mostrados en las Tablas A-18 a A-22:

**TABLA A-18. CLASIFICACIÓN DEL ÁRIDO RECICLADO DE RCD PARA GRAVA-CEMENTO**

		Grava-cemento
<b>Composición</b> UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-
	Rc+Ru	≥90 %
	Rb	≤ 5 %
	X	< 1 %
	Ra	≤ 5 %
	FL	< 2 cm <sup>2</sup> /kg
<b>Equivalente de arena</b> UNE-EN 933-8		> 40 <sup>(1)</sup> > 35 <sup>(2)</sup>

(1) Para GC-20

(2) Para GC-32

**TABLA A-19. REQUISITOS GEOMÉTRICOS DE LA GRAVA-CEMENTO RECICLADA DE RCD**

		GC-32	GC-20
<b>Granulometría</b> UNE-EN 933-1	54 mm	-	-
	40 mm	100	-
	32 mm	88-100	100
	20 mm	67-91	80-100
	12,5 mm	52-77	62-84
	8 mm	38-63	44-68
	4 mm	25-48	28-51
	2 mm	16-37	19-39
	0,5 mm	6-21	7-22
	0,063 mm	1-7	1-7

**TABLA A-20. REQUISITOS QUÍMICOS DE LA GRAVA-CEMENTO RECICLADA DE RCD**

		Grava-cemento
<b>Materia Orgánica</b> UNE 103204	Aumento tiempo de fraguado	<120 min
	Perdida resist. Compresión (28 días)	< 20 %
<b>Comp. totales de azufre (SO<sub>3</sub>)</b> UNE-EN 1744-1		< 1 %
<b>Sulf. Sol. Ácido (SO<sub>3</sub>)<sup>(1)</sup></b> UNE-EN 1744-1		<0.8 %
<b>Reactividad</b> UNE 146508 EX (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)		NO REACTIVO

<sup>(1)</sup> Si Sulfatos solubles en ácido (UNE 103201) > 0,5% en SO<sub>3</sub>, el uso de cemento SR es OBLIGATORIO

**TABLA A-21 REQUISITOS MECÁNICOS DE LA GRAVA-CEMENTO RECICLADA DE RCD**

			Categoría de tráfico	
			T22	T31-T42
<b>Partículas trituradas</b> UNE EN 933-5 y 933-5	<b>Partículas total y parcialmente trituradas (%)</b>	Calzada	≥ 50	≥ 30
		Arcén	≥ 30	
	<b>Partículas totalmente redondeadas (%)</b>	Calzada	≤ 10	≤ 30
		Arcén	≤ 30	
<b>Plasticidad</b> UNE 103103 y UNE 103103	Límite líquido	NP	< 25	
	Índice de plasticidad		< 6	
Índice de lajas UNE EN 933-3	Calzada	≤ 30	≤ 35	
	Arcén	≤ 40		
<b>Desgaste los Ángeles</b> UNE-EN 1097-2	Calzada	≤ 35	≤ 40	
	Arcén	≤ 40		

**TABLA A-22. RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA LA GRAVA-CEMENTO RECICLADA DE RCD**

		Resistencia media a compresión (MPa) a 7 días	
Zona		Mínima	Máxima
<b>Grava-cemento</b>	Calzada	4,5	7,0
	Arcenes	4,5	6,0

### NOTA:

Todas las propiedades de la grava-cemento anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A LA GRAVA RECICLADA DE RCD

Para su uso en la fabricación de hormigón, la grava reciclada de RCD deberá cumplir los requisitos mostrados en las Tablas A-23 a A-25:

**TABLA A-23. CLASIFICACIÓN DEL ÁRIDO PARA GRAVA RECICLADA DE RCD**

		Hormigón estructural	Hormigón no estructural
<b>Composición</b> UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-	≥ 70 %
	Rc+Ru	-	
	Rb	≤ 5 %	
	X	< 1 %	
	Ra	≤ 1 %	≤ 5 %
	<b>FL</b>	-	-
<b>Partículas ligeras</b> UNE-EN 1744-1		< 1 %	< 2 %
<b>Absorción</b> UNE-EN 1087-6	≥ 4 mm	< 7 %	< 9 %
<b>Granulometría</b> <b>UNE EN 933-1</b>	< 4 mm	≤ 5 %	
<b>Terrones de arcilla</b> UNE-EN 7133		≤ 0,6 %	

**TABLA A-24. REQUISITOS QUÍMICOS PARA GRAVA RECICLADA DE RCD**

		Hormigón estructural	Hormigón no estructural
<b>Sulfatos solubles en ácido (SO<sub>3</sub>)</b> UNE-EN 1744-1		< 0,80 %	< 1 %
<b>Compuestos totales en azufre (SO<sub>3</sub>)</b> UNE-EN 1744-1		< 1 %	
<b>Materia orgánica</b> UNE-EN 1744-1	Aumento tiempo de fraguado	< 120 min	
	Pérdida resist. Compresión (28 días)	< 20 %	
<b>Reactividad</b> UNE 146508 Ex (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)		NO REACTIVO	
<b>Cloruros totales (Cl<sup>-</sup>)<sup>(1)</sup></b> UNE-EN 1744-1		≤ 0,05%	-

(1) Solo para los casos de hormigón armado

**TABLA A-25. REQUISITOS MECÁNICOS PARA GRAVA RECICLADA DE RCD**

	Hormigón estructural	Hormigón no estructural
<b>Índice de lajas</b> UNE-EN 933-3	< 35	< 40
<b>Desgaste Los Ángeles</b> UNE-EN 1097-2	< 40	< 40
<b>Resistencia a heladas</b> UNE-EN 1367-2	< 18 %	< 18 %

**NOTA:**

Todas las propiedades de la grava anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.



## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES AL MATERIAL RECICLADO DE RCD PARA CAMA DE TUBERÍA

Para su uso como material de cama de tubería, los áridos reciclados deberán cumplir los requisitos mostrados en la Tabla A-26:

**TABLA A-26. REQUISITOS EXIGIDOS A MATERIALES RECICLADOS DE RCD USADOS EN CAMAS DE TUBERÍA**

			Camas de tubería
<b>Impurezas máximas (X)</b> UNE-EN 933-11			< 1 %
<b>Azufre total (SO<sub>3</sub>)</b> UNE-EN 1744-1			< 1,5 %
<b>Sulfatos solubles en ácido</b> UNE-EN 1774-1 (Ap. 12)			< 1 %
<b>Cloruros</b> UNE-EN 196-2			< 0,1 % <sup>(1)</sup>
<b>Contenido de finos (&lt; 0,063 mm)</b> UNE-EN 933-1			≤ 4 %
<b>Tamaño nominal máximo</b> UNE-EN 933-1	<b>Diam. Nominal tubería rígida</b>	100	10
		100-150	15
		150-300	-
		300-550	-
		>550	-
	<b>Diam. Nominal tubería flexible</b>	100	10
		100-150	15
		150-300	-
		300-550	-
		>550	-
<b>Plasticidad</b>	<b>Límite líquido</b> UNE 103103		< 30
	<b>Índice Plasticidad</b> UNE 103104		< 10

(1) Exigible en el caso de que el material esté en contacto con tuberías de hormigón armado o de acero

### NOTA:

Todas las propiedades exigidas al material usado como cada de tubería, anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Marcado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.

## CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES AL ÁRIDO RECICLADO DE RCD PARA MATERIAL DRENANTE

Para su uso como material drenante, los áridos reciclados de RCD deberán cumplir los requisitos mostrados en la Tabla A-27:

**TABLA A-27. REQUISITOS EXIGIDOS A ÁRIDOS RECICLADOS USADOS COMO MATERIAL DRENANTE**

			Valores
<b>Composición</b>		X	< 1% <sup>(1)</sup>
UNE-EN 933-11		FL	< 2 cm <sup>3</sup> /kg <sup>(1)</sup>
<b>Granulometría</b> UNE-EN 933-1		Tamaño máximo	80 mm
		Pasante por el 0,063 mm	< 5%
<b>Condiciones de filtro</b> <sup>(2)</sup>	Generales	a) F15/d85 (Filtrante/capa a Drenar)	< 5
		b) F15/d15 (Filtrante/capa a Drenar)	> 5
		c) F50/d50 (Filtrante/capa a Drenar)	< 25
	En limos y arenas finas	F15	< 1 mm
	En suelos cohesivos	Las condiciones a) y b) son sustituidas por F15	< 0,4 mm > 0,1 mm
<b>Sistema previsto de evacuación del agua</b>	Uso con tubos perforados	F85/diámetro del orificio	> 1
	Uso con tubos con juntas abiertas	F85/apertura de la junta	> 1,2
	Uso con tubos de hormigón poroso	F85/ d15 del árido del tubo	> 0,2
	En drenaje por mecinales	F85/diámetro del mechinal	> 1
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	En rellenos drenantes localizados	Coefficiente de uniformidad (F60/F10)	< 20
	En drenes ciegos	Coefficiente de uniformidad (F60/F10)	< 4
<b>Plasticidad - UNE 103103 y UNE 103104</b>			No plástico
<b>Equivalente de arena - UNE EN 933-8</b>			> 30
<b>Índice de lajas - UNE-EN 933-3</b>			< 35 <sup>(3)</sup>
<b>Azufre total (SO<sub>3</sub>) - UNE-EN 1744-1</b>	Materiales en contacto con hormigón		< 0,5% <sup>(4)</sup>
	En el resto de casos		1.30%
<b>Los Ángeles- UNE EN 1097-2</b>	Carga de tráfico igual o inferior a T4		< 50
	Carga de tráfico T2 y T3		< 45 <sup>(5)</sup>

(1) Valores permitidos en la clasificación general

(2) Los materiales drenantes estarán exentos de cumplir las condiciones de filtro en caso de utilizar un geotextil como elemento de separación y filtro

(3) Valores propuestos para evitar que los materiales cerámicos (con un elevado índice de lajas) perforen los geotextiles

(4) Límite establecido en el Art. 510 del PG-3

### NOTA:

Todas las propiedades exigidas al material drenante reciclado de RCD anteriormente mencionadas se deben de incluir en:

- Mercado CE
- Ficha AGERDCYL o similar

Además el suministrador deberá hacer constar en declaración responsable que el material cumple con la normativa vigente, especialmente la ambiental.





Colegio de Ingenieros  
Técnicos de Obras Públicas  
Castilla y León

**CITOPCyL**