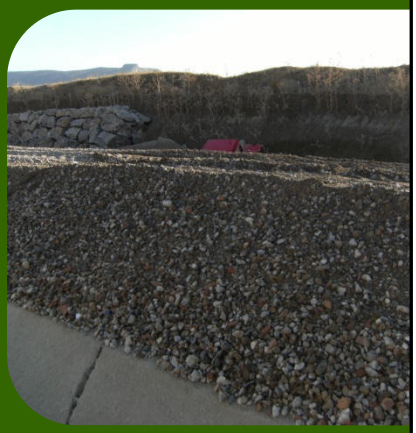
Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)



Andalucía se mueve con Europa

JUNTA DE ANDALUCIA

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA

UNIVERSIDAD D CORDOBA

Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Colaboradores:

cemosa Ingeniería y Control

AGRECA RCD

Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los autores agradecen a FEDER de la Unión Europea por la financiación del proyecto “Aplicaciones de los Áridos reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) para la construcción sostenible de infraestructuras viarias en Andalucía central”, incluido en el Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013, así como a la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía y a la Consejería de Fomento y Vivienda.

Edita: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía

© Los Autores

ISBN:

Depósito Legal: Imprenta Digital Asus

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, traducida, almacenada ni difundida en forma alguna sin permiso escrito del editor.

PRÓLOGO

Una de las actividades a desarrollar en el proyecto de investigación "APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DE INFRAESTRUCTURAS VIARIAS EN ANDALUCÍA CENTRAL" presentado por la Universidad de Córdoba a la convocatoria de proyectos de investigación I+D+i relativos al ámbito competencial de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda para los años 2011 a 2013, ha sido la elaboración de un catálogo de firmes y unidades de obra con áridos de RCD que facilite a los ingenieros el diseño de firmes y distintas unidades de obra con áridos reciclados en sustitución de materiales naturales.

El proyecto, financiado con fondos FEDER de la Unión Europea y gestionado por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, ha sido desarrollado por la Universidad de Córdoba a través del Grupo de Investigación del PAIDI "TEP 227 Ingeniería de la Construcción" y de la Cátedra de Medio Ambiente Enresa. Asimismo cuenta con la participación de la empresa Centro de Estudios de Materiales y Control de Obra S.A. (CEMOSA) y la colaboración de la Asociación de Empresas Gestoras de Residuos de Construcción y Demolición de Andalucía (AGRECA).

El equipo investigador ha estado constituido por las siguientes instituciones y personas:

- Grupo de investigación "Ingeniería de la Construcción" de la Universidad de Córdoba
  - Profesor Dr. Jesús Ayuso Muñoz (Investigador responsable y coordinador del Proyecto de Investigación)
  - Profesor Dr. José Ramón Jiménez Romero
  - Profesor Dr. Francisco Agrela Sainz
  - Profesora Dra. Adela Pérez Galvín
  - Profesor Dr. Martín López Aguilar
  - Profesor Dr. Alfonso Caballero Repullo
- Cátedra de Medio Ambiente Enresa
  - Profesor Antonio Jesús González Barrios
- Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
  - Mª del Lirio García Garrido
  - Mª José Sierra López
  - Rosario Herrador Martínez
- Asociación de empresas gestoras de valorización de Residuos de Construcción y Demolición de Andalucía (AGRECA)
  - Pablo Pérez González
  - Juan Escribano Rodríguez
  - Pedro de Toro Torres
- Centro de Estudios de Materiales y Control de Obras S.A. (CEMOSA)
  - Manuel Salas Casanova
  - Sergio Escriba Marín
  - Noemi Jiménez Redondo

El equipo redactor de este catálogo ha estado constituido por las siguientes personas:

- Sergio Escriba Marín (CEMOSA)
- Manuel Salas Casanova (CEMOSA)
- Francisco Javier Morales Gámiz (CEMOSA)
- Jesús Ayuso Muñoz (Universidad de Córdoba)
- José Ramón Jiménez Romero (Universidad de Córdoba)
- Francisco Agrela Sainz (Universidad de Córdoba)
- Adela Pérez Galvín (Universidad de Córdoba)
- Martín López Aguilar (Universidad de Córdoba)
- Mª Auxiliadora Barbudo Muñoz (Universidad de Córdoba)
- Mª del Lirio García Garrido (Agencia de Obra Pública Junta de Andalucía)
- Mª José Sierra López (Agencia de Obra Pública Junta de Andalucía)
- Rosario Herrador Martínez (Agencia de Obra Pública Junta de Andalucía)
- Juan Escribano Rodríguez (AGRECA)
- Luís Dugo Liébana (Universidad de Córdoba)
- Isaac del Rey Tirado (Universidad de Córdoba)
- Antonio López Uceda (Universidad de Córdoba)

Mayo de 2016

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 8

2 ÁMBITO DE APLICACIÓN 9

3 DEFINICIONES 10

4 CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS 13

5 FIRMES DE OBRAS VIARIAS 14

5.1. INTRODUCCIÓN 14

5.2. CRITERIOS DE PROYECTO 14

5.2.1. Disposición de materiales 14

5.2.2. Características de los materiales 15

5.2.3. Limitación de módulos elásticos en función de las características de la capa subyacente 16

5.2.4. Criterios de fatiga 16

5.3. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO 17

5.4. EXPLANADA 18

5.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CARRETERA 19

5.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 26

5.6.1. Espesor de capas y tongadas 26

5.6.2. Restricciones de uso 26

6. FIRMES DE CAMINOS RURALES 27

6.1. INTRODUCCIÓN 27

6.2. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO 28

6.3. CRITERIOS DE PROYECTO 29

6.4. EXPLANADA 29

6.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CAMINOS RURALES 30

6.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 31
6.6.1. Calidad de explanada en infraestructuras existentes 31
7. ACERADO Y VIAS PEATONALES 32
7.1. INTRODUCCIÓN 32
7.2. TIPOS DE ESPACIOS URBANOS 32
7.3. CRITERIOS DE PROYECTO 32
7.4. SECCIONES TIPO EN ACERADOS Y VÍAS PEATONALES 33
7.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 36
8. FIRMES DE VÍAS CICLISTAS 37
8.1. INTRODUCCIÓN 37
8.2. TIPOLOGÍA DE VÍAS CICLISTAS 37
8.3. CRITERIOS DE PROYECTO 38
8.2.1. Geometría 38
8.2.2. Tráfico 40
8.2.3. Estructura del firme 40
8.3. EXPLANADA 41
8.3.1. Definición y tipos de explanada 41
8.3.2. Formación de las explanadas 42
8.4. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE VÍAS CICLISTAS 44
8.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 46
9. RELLENOS DRENANTES Y ZANJAS URBANAS 47
9.1. INTRODUCCIÓN 47
9.2. CRITERIOS DE PROYECTO 47
9.2.1. Rellenos drenantes 47

9.2.2. Relleno de zanjas urbanas 47
9.3. SECCIÓN TIPO EN RELLENOS DRENANTES BAJO LOSA O SOLERA DE HORMIGÓN .. 48
9.4. SECCIONES TIPO DE ZANJAS URBANAS 48
9.5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 51
ANEXO I. Glosario de términos 52
ANEXO II. Características exigibles a los materiales 53
Características exigibles a las zahorras recicladas de RCD 53
Características exigibles a los suelos reciclados de RCD 56
Características exigibles al suelo-cemento reciclado de RCD 58
Características exigibles al hormigón seco compactado reciclado de RCD 60
Características exigibles a la grava-cemento reciclada de RCD 61
Características exigibles a la grava reciclada de RCD 64
Características exigibles al material reciclado de RCD para cama de tubería 66
Características exigibles al árido reciclado de RCD para material drenante 67
ANEXO III. Fichas modelo para materiales reciclados de RCD 70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema del cimiento del firme 10

Ilustración 2. Tipos de secciones estructurales recomendadas para el uso de áridos de rcd 15

Ilustración 3. Sección tipo de pavimento con adoquines para via peatonal 33

Ilustración 4. Definicion de explanada 42

Ilustración 5. Sección tipo propuesta para drenaje bajo solera de hormigón 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. características mecánicas exigibles a cada material 13

Tabla 2. Características de los materiales 15

Tabla 3. Coeficiente de proporcionalidad 16

Tabla 4. Leyes de fatiga usadas para los materiales tratados con cemento 17

Tabla 5. Categorías de tráfico pesado 17

Tabla 6. Categorías del cimiento del firme 18

Tabla 7. Espesores de capas 26

Tabla 8. Espesores de tongadas 26

Tabla 9. Categorías de explanada 29

Tabla 10. Asignación de cada tipología de vía ciclista a la red de carreteras 38

Tabla 11. Anchuras mínimas y resguardos 39

Tabla 12. Anchuras recomendadas en función del tipo de red y del sentido de circulación 40

Tabla 13. Tipología de firme según los tipos de vías ciclistas adoptados 41

1 INTRODUCCIÓN

Desde su publicación en abril de 2010, “Las Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Especificaciones Técnicas para el uso de materiales reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD)” publicadas por GIASA (actualmente Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía) han facilitado de una manera muy importante la puesta en valor de áridos RCD, sin embargo aún siguen existiendo importantes barreras técnicas para el empleo de estos materiales reciclados.

Los proyectistas deben contar con el respaldo de guías de diseño o recomendaciones de cálculo para sus proyectos, tales como la Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía (ICAFIR) y la Instrucción de Firmes 6.1-IC del Ministerio de Fomento en el caso de firmes, y la Instrucción 5.2-IC en el caso de drenaje superficial de obras viarias. Sin embargo, estas normativas no contemplan el uso de áridos reciclados, dejando al proyectista y, en su caso, a la Dirección de Obra toda la responsabilidad sobre el modo de uso de estos materiales, aun cumpliendo las características del pliego de RCD.

No cabe duda de que los áridos de RCD no son áridos naturales, pues presentan importantes diferencias en sus características físicas, químicas y mecánicas, pero ello no debe suponer un inconveniente siempre y cuando la unidad de obra en la que se introduzcan presente las mismas características funcionales y estructurales que la diseñada con áridos naturales.

El presente catálogo se redacta con la finalidad de eliminar esta barrera técnica a través de la presentación de soluciones constructivas bien avaladas por la experiencia o bien calculadas teniendo en cuenta las características particulares de los áridos RCD.

2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de este catálogo son las unidades de obra, dentro de obras viarias, donde actualmente se emplean áridos RCD, pero sin una normativa técnica específica para ello, como pueden ser:

- Firmes de obras viarias.
- Firmes de caminos rurales.
- Acerado y vías peatonales.
- Firmes de vías ciclistas.
- Obras de drenaje y zanjas.

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

3 DEFINICIONES

Capacidad de soporte es la aptitud de un suelo, terraplén,, desmonte 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.

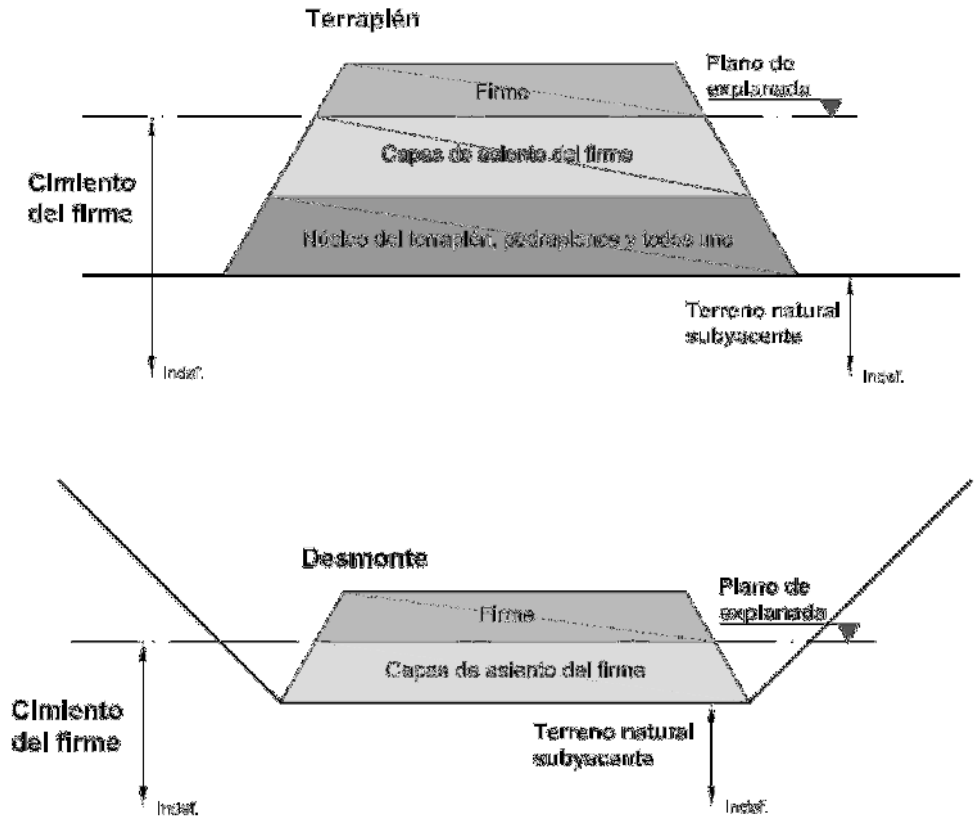


ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DEL CIMIENTO DEL FIRME

Coeficiente 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 cimiento 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.

Explanación, 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 homogéneo 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 utilizada como capa estructural en firmes de carretera en central. Si se fabrica in situ con equipos de reciclado o estabilizadoras 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 resumen los resultados de los ensayos de caracterización de áridos reciclados. En particular, la tabla refleja las características mecánicas exigibles a cada material y para cada uso. El resto de características tales como la composición y las propiedades físico-químicas se recogen en el Anexo II.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EXIGIBLES A CADA MATERIAL

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 III	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 III	T3: LA<40 T4: LA<40	T4: LA<40	LA<40			
ZARM II	Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD	Ver Anexo III	T4: LA<40	T4: LA<40	LA<45			
ZARA	Zahorra artificial reciclada asfáltica	Ver Anexo III	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40	T4: LA<40	LA<40			
SR-SEL	Suelo seleccionado reciclado de RCD	Ver Anexo III				CBR≥3	CBR≥5	
SR TOL	Suelo tolerable reciclado de RCD	Ver Anexo III				CBR≥3		
SCR	Suelo-cemento reciclado de RCD	Ver Anexo III	T2, T3, T4: fc=2,5 a 4,5MPa		fc>1,5MPa			
HCR	Hormigón seco compactado reciclado de RCD	Ver Anexo III						
GCR20	Grava-cemento reciclada de RCD	Ver Anexo III	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40					
GCR32	Grava-cemento reciclada de RCD	Ver Anexo III	T2: LA<35 T3: LA<40 T4: LA<40					

5 FIRMES DE OBRAS VIARIAS

5.1. INTRODUCCIÓN

El presente catálogo define 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.

Las acciones, condiciones de contorno y metodología de cálculo corresponden a la especificada en la Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía (ICAFIR), edición 2007.

Para facilitar el uso al proyectista se presenta una tabla de secciones tipo en las que compara la sección de materiales convencionales según la normativa vigente (ICAFIR e Instrucción 6.1-IC) con la sección equivalente usando áridos reciclados.

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 ICAFIR 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

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.

5.2.2. 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:

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Material	Árido natural	Árido reciclado equivalente	Módulo de elasticidad (E)	Coeficiente de Poisson (v)
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

En el resto de materiales que componen el paquete de firme no se ha considerado el empleo de áridos de RCD, por lo que se ha empleado las características 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

La asignación de los módulos elásticos para el material se ha realizado siguiendo el procedimiento que establece la ICAFIR. De esta forma se ha considerado 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 vendrá dado por la siguiente expresión que recoge ICAFIR:

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

Donde:

E_i: módulo de la tongada "i"

E_{i-1}: módulo de la tongada subyacente a "i"

c_i: coeficiente de proporcionalidad entre módulos de tongadas sucesivas

TABLA 3. COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD

Material de la tongada superior	Coeficiente c_i
Suelos S1 y S2	2.0
Suelos S3, S4 y zahorra natural	2.5
Zahorra artificial	3.0

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 ε_z. 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).

En los cálculos realizados, se ha tomado como referencia la ley de fatiga presentada en ICAFIR:

$$\varepsilon_z = 2{,}16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0{,}28}$$

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 de tracción (σ_r) en materiales tratados con cemento
- La máxima deformación de tracción (ε_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, se ha considerado la siguiente ley de fatiga el cálculo de las secciones con mezclas bituminosas:

$$\varepsilon_r = 6{,}920 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0.27243}$$

Para las secciones con materiales tratados con cemento se han empleado las leyes propuestas en ICAFIR:

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

Tipo de mezcla	Ley de fatiga
Suelocemento SC-3	$\sigma_r(MPa) = 0{,}43 \cdot (1 - 0{,}065 \cdot logN)$
Suelocemento SC-4	$\sigma_r(MPa) = 0{,}72 \cdot (1 - 0{,}065 \cdot logN)$
Gravacemento	$\sigma_r(MPa) = 1{,}03 \cdot (1 - 0{,}065 \cdot logN)$

En el caso del Hormigón compactado reciclado (HRC) se ha usado también la ley de fatiga de la Gravacemento. Al estar basadas estas leyes en la resistencia a máxima flexotracción del material y al ser presumiblemente ésta mayor en el HRC que en la grava-cemento, 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 ICAFIR (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).

TABLA 5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

Categoría	IMDPA
T00	≥ 4000
T0	≥ 2000 y < 4000
T1	≥ 800 y < 2000
T2	≥ 200 y < 800
T3A	≥ 100 y < 200
T3B	≥ 50 y < 100
T4A	≥ 25 y < 50
T4B	< 25

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,** de ahí que las secciones tipo consideradas en esta guía queden restringidas a tráficos T2 a T4.

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

Se definen tres categorías de cimiento del firme, de acuerdo con ICAFIR, en función de su capacidad de soporte la cual se definirá mediante el módulo equivalente E_e calculado de acuerdo al procedimiento descrito en la ICAFIR (apartado 4.7.3). Cuando el núcleo de terraplén o terreno natural subyacente no cumplan los criterios señalados para cada categoría de cimiento se proyectarán las correspondientes capas de asiento.

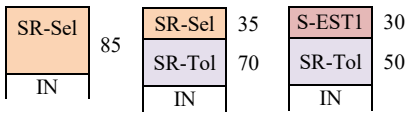
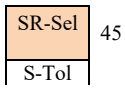
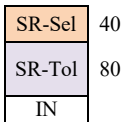
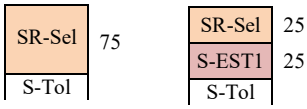
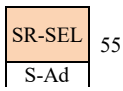
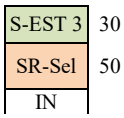
La categoría de cimiento se seleccionará teniendo en cuenta la categoría de tráfico de proyecto elegido, el terreno subyacente existente, los suelos disponibles y el coste total de la solución.

TABLA 6. CATEGORÍAS DEL CIMIENTO DEL FIRME

Categoría del cimiento	Módulo equivalente, Ee (MPa)	Categoría válidas de trafico de proyecto
BAJA	≥ 60	T4
MEDIA	≥ 100	T3 Y T4
ALTA	≥ 160	T00 A T2

El suelo seleccionado reciclado y el suelo tolerable reciclado estudiados en este catálogo 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 y tolerables en la formación de explanadas o cimientos del firme.

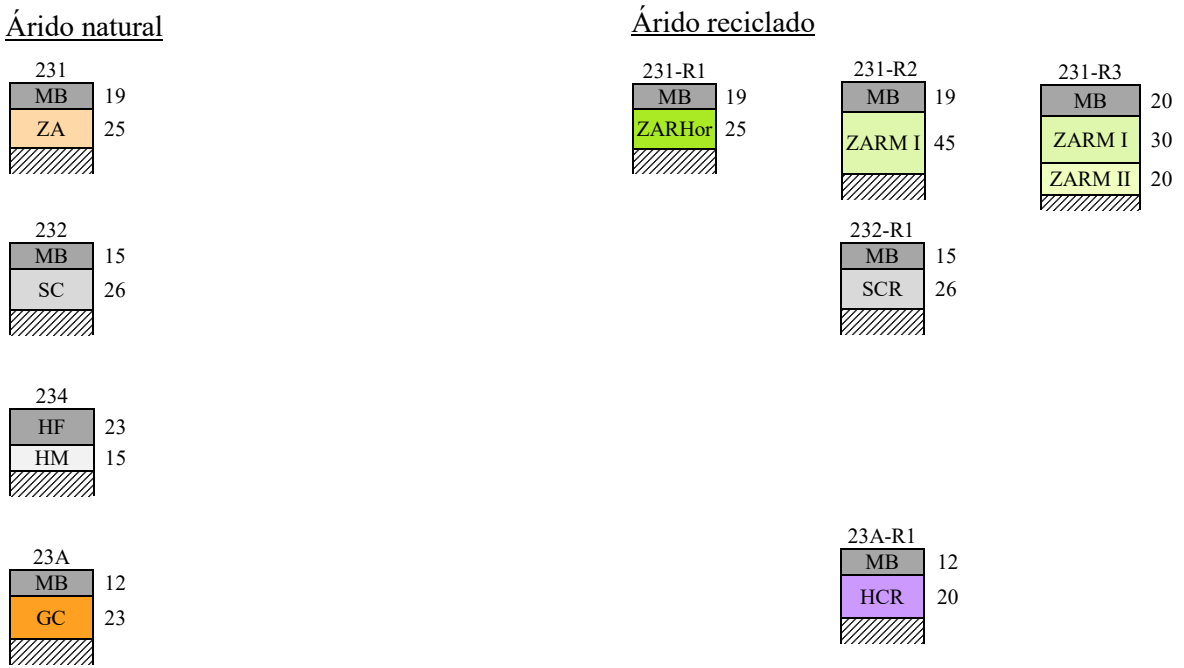
A continuación se presenta para cada categoría de explanada y en función del tipo de suelo de la explanación o de la tierra, algunas de las soluciones propuestas incluyendo el suelo tolerable reciclado y el suelo seleccionado reciclado.

		TIPO DE SUELO DE LA EXPLANACIÓN O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE		
		Suelos inadecuados y marginales	**Suelos tolerables**	**Suelos adecuados**
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E 1			
	E 2			
	E 3			

IN: suelo inadecuado; S-Tol: Suelo tolerable; S-Ad: Suelo adecuado; SR-Tol: suelo reciclado tolerable 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;

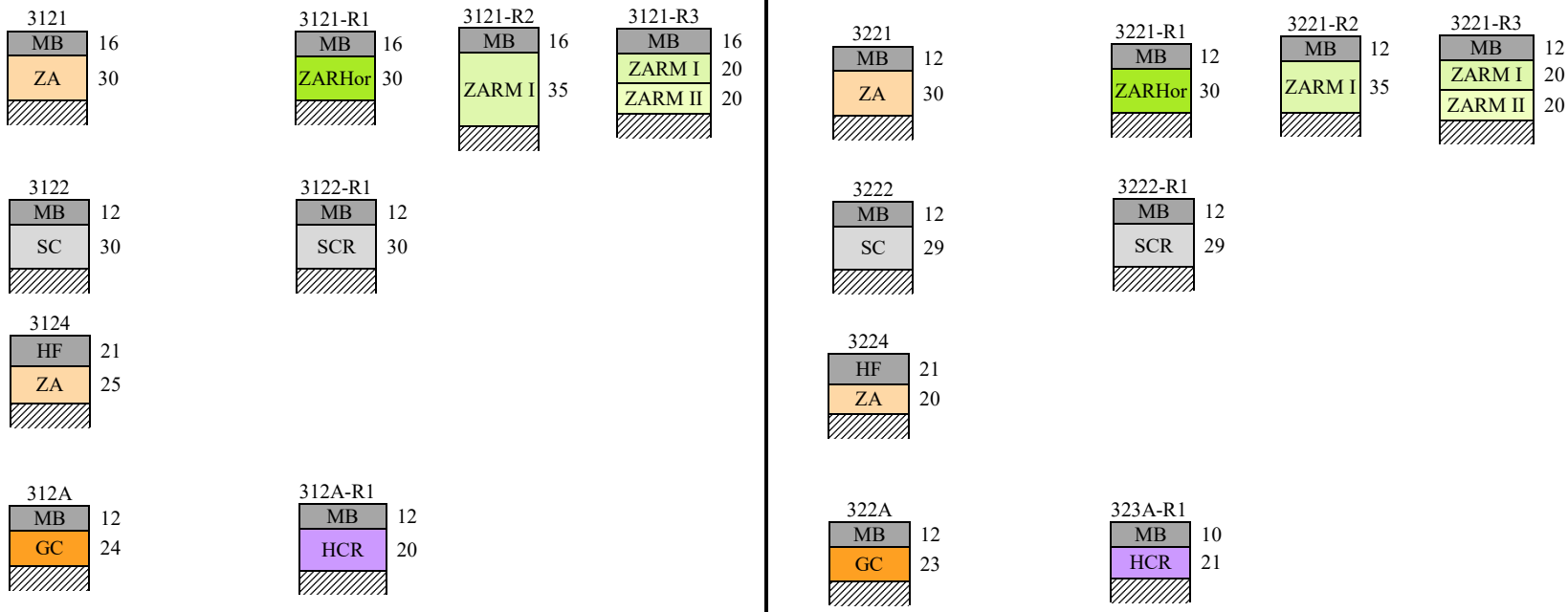
5.5. SECCIONES TIPO EN FIRMES DE CARRETERA

A continuación se muestra para cada categoría de tráfico y de explanada las secciones de firmes permitidas según ICAFIR y sus equivalentes con árido reciclado.

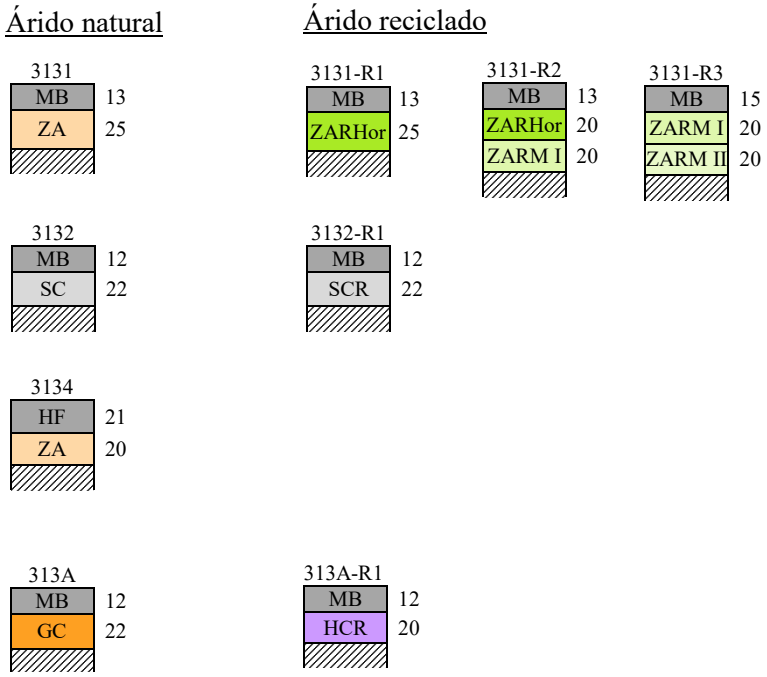
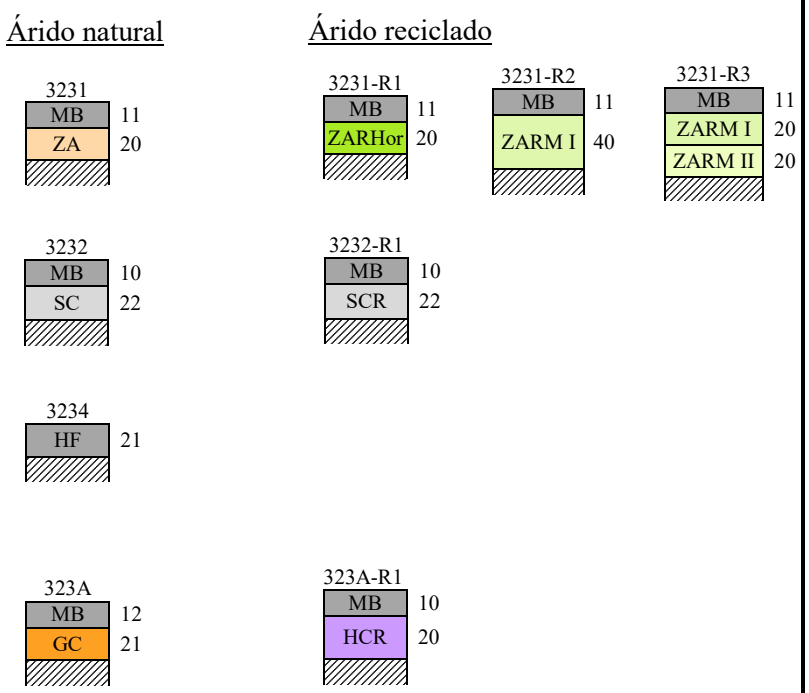
		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO
		T2
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E3	

MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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; HRC: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.

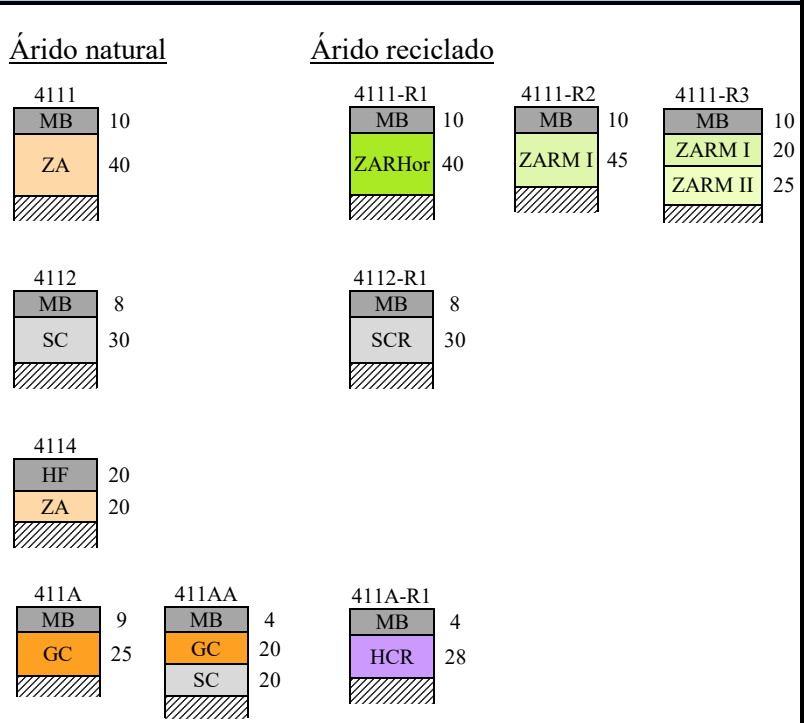
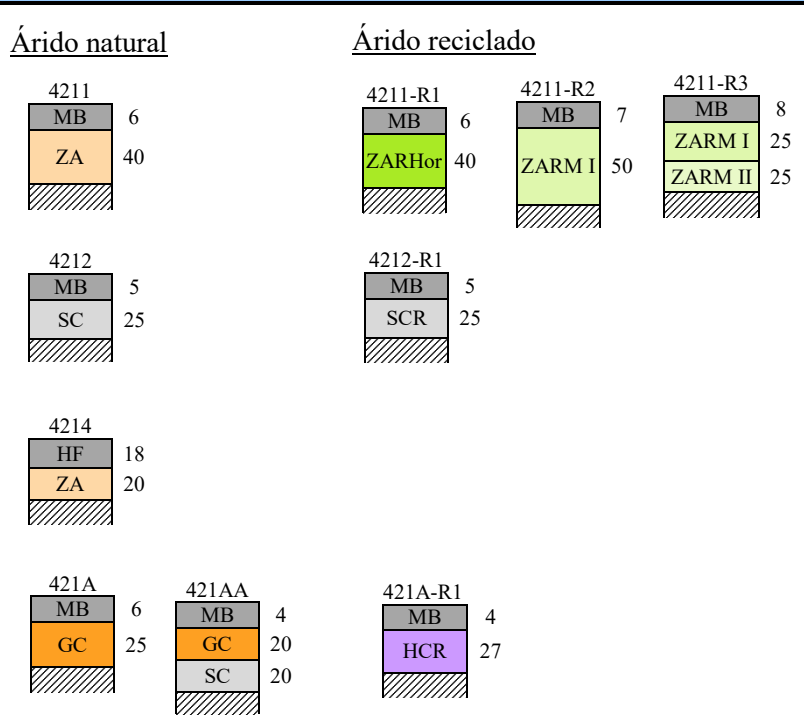
		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
		T3A	T3B
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E2	Árido natural / Árido reciclado	Árido natural / Árido reciclado



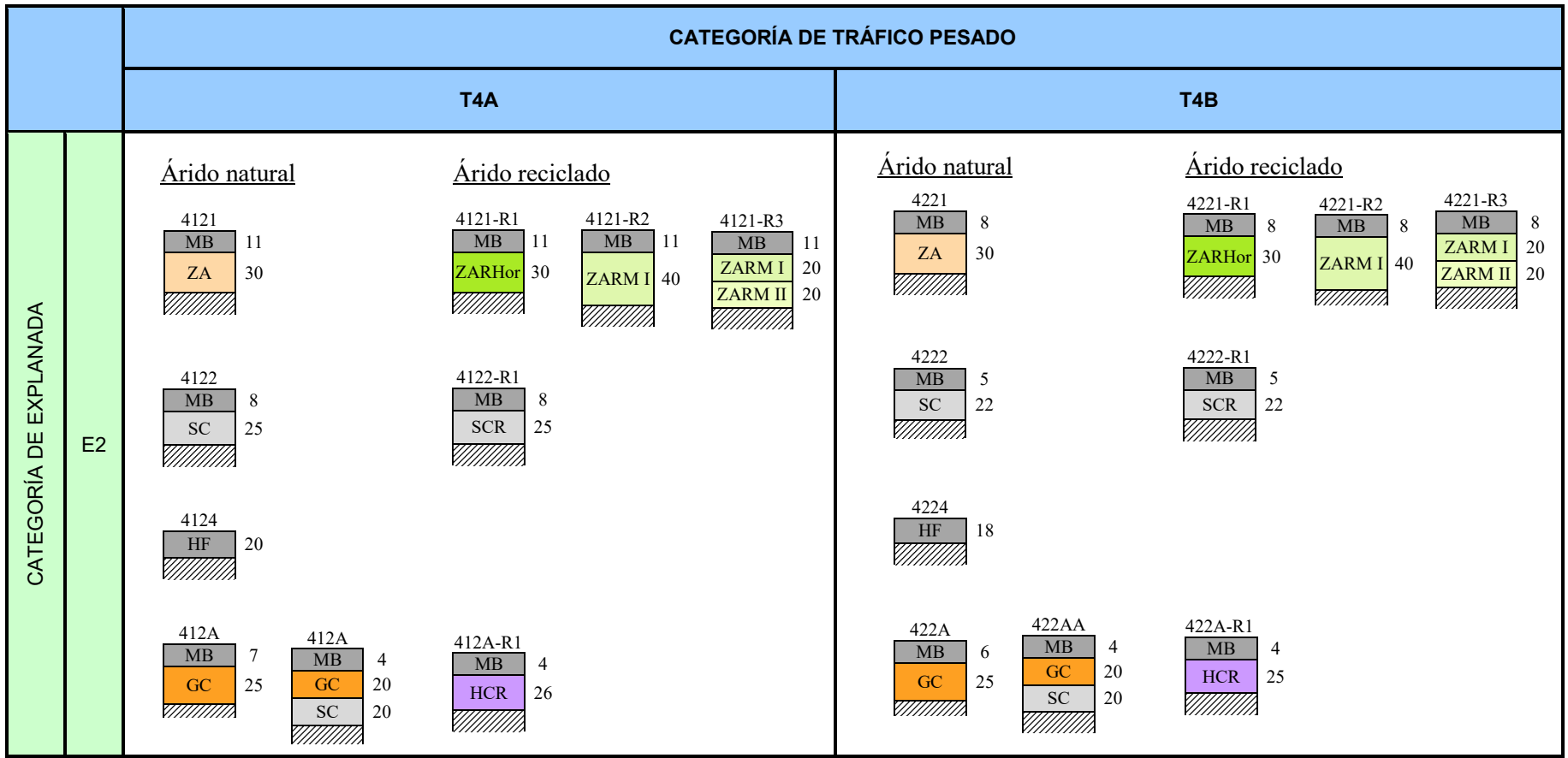
MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
		T3A	T3B
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E3		

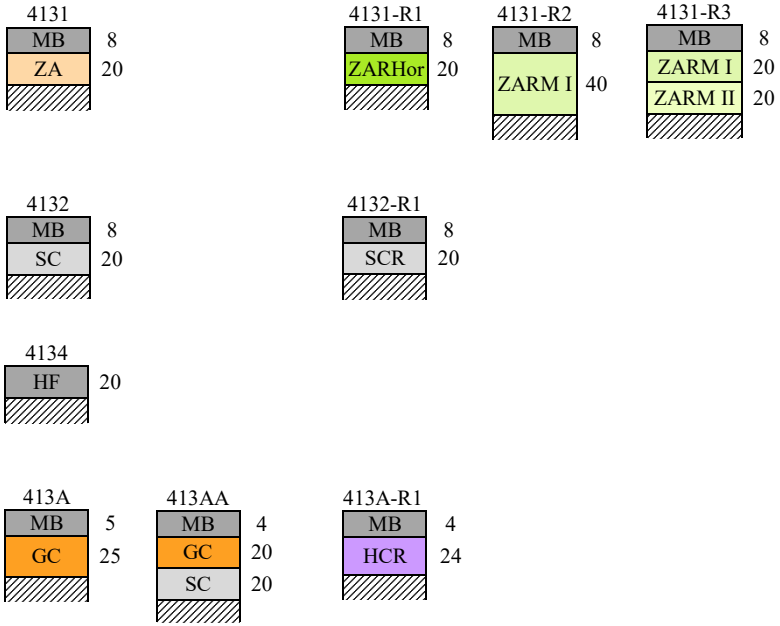
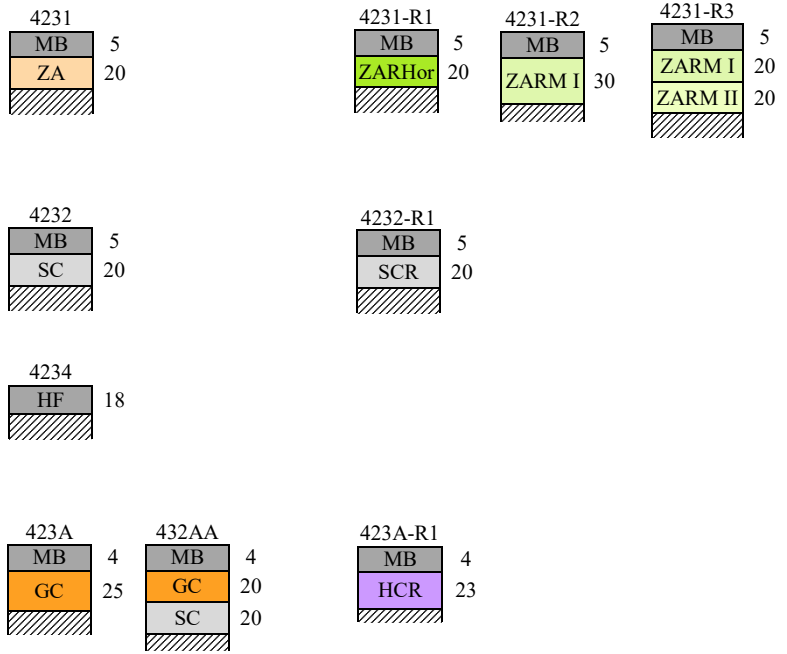
MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; ZARM II: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo II de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD; SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
		T4A	T4B
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1		

MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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.



MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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.

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2"></th><th colspan="2">CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO</th></tr>
<tr><th>T4A</th><th>T4B</th></tr>
<tr><td rowspan="2">CATEGORÍA DE EXPLANADA</td><td>E3</td><td><u>Árido natural</u> <u>Árido reciclado</u>
 
</td><td><u>Árido natural</u> <u>Árido reciclado</u>
 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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.</td></tr>
</table>

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 ICAFIR y la Norma 6.1-I.C:

TABLA 7. ESPESORES DE CAPAS

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

TABLA 8. ESPESORES DE TONGADAS

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

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 CAMINOS 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 24. 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 y14.
3. T423 con un IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio comprendido entre 1 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 esta guía 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.

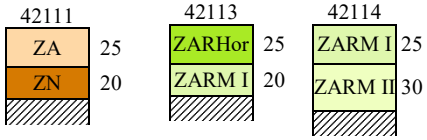
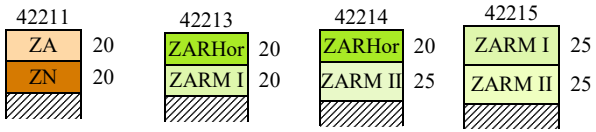
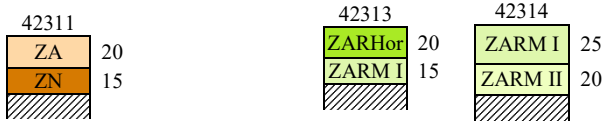
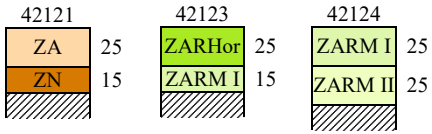
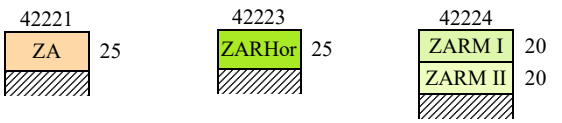
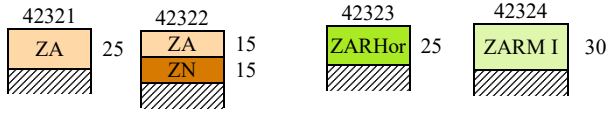
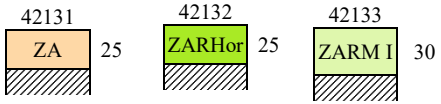
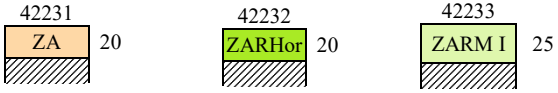
TABLA 9. CATEGORÍAS DE EXPLANADA

Categoría	CBR
E1	$5 \leq CBR < 10$
E2	$10 \leq CBR < 20$
E3	$CBR \geq 20$

En el caso de que la explanación (desmonte) 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.

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.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T421	T422	T423
E1			
E2			
E3			

ZA: Zahorra artificial; ZN: Zahorra Natural; 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 discurra por el trazado de una antigua infraestructura, ya sea carretera, camino 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 VIAS 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 de RCD, 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 la presente guía 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 esta guía 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
  - Tolerable
- Tipo de explanada
  - Media (E_{v2}>75MPa)
  - Baja (E_{v2}>45MPa)
- Tipo de firme
  - Rígido

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

7.4. SECCIONES TIPO EN ACERADOS Y VÍAS PEATONALES

En las diferentes normativas autonómicas, Andalucía, Aragón y País Vasco entre otras, 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:

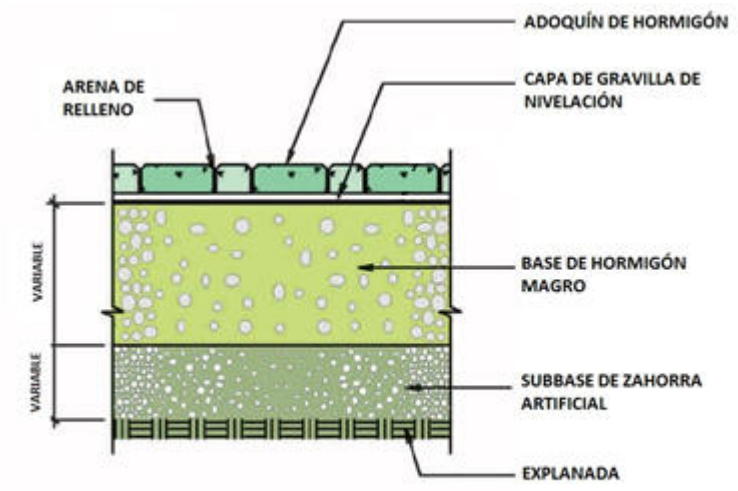


ILUSTRACIÓN 3. SECCIÓN TIPO DE PAVIMENTO CON ADOQUINES PARA VIA PEATONAL

Las secciones tipo que se presentan en esta guía 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.

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3">TIPO DE TRÁFICO</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">PEATONAL RESTRINGIDO</td><td>USO COMBINADO (PEATONAL+TRÁFICO LIGERO)</td></tr>
<tr><td colspan="2">CAPA SUPERIOR</td><td>ADOQUÍN
ARENA

ADOQUÍN
MORTERO

BALDOSA
MORTERO</td><td>ADOQUÍN
MORTERO

BALDOSA
MORTERO</td><td>ADOQUÍN
ARENA

ADOQUÍN
MORTERO

BALDOSA
MORTERO</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CAPAS INFERIORES</td><td>SOBRE EXPLANADA BAJA
Ev2 > 45 MPa.</td><td>F. Rígido

HMR 10
HCR 10

HMR 10
ZARHor 15

HMR 10
SCR 20

HMR 10
ZARM I 15

F. Semi-Rígido

HCR 15

SCR 25</td><td>F. Flexible

ZARM I 25

ZARHor 25</td><td>F. Rígido

HF 15
HCR 15

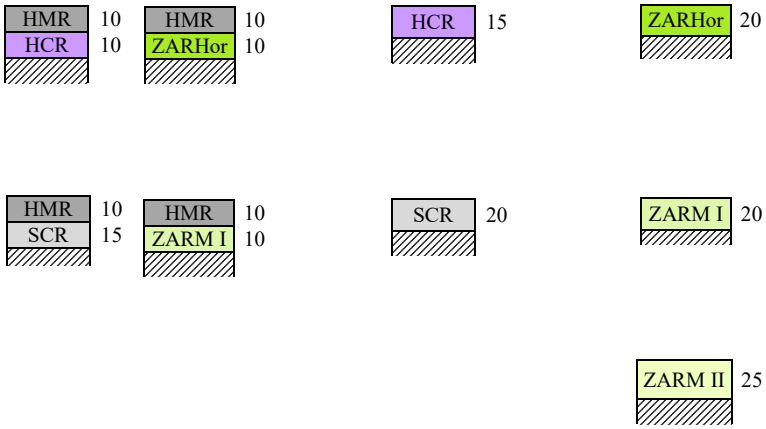
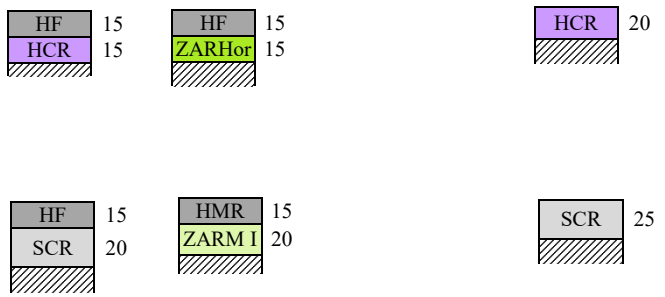
HF 15
ZARHor 20

HF 15
SCR 25

1.1.1.1.1.1.1
HF 15
ZARM I 25

F. Semi-Rígido

HCR 25</td></tr>
<tr><td colspan="3">SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD; HMR: Hormigón magro reciclado; HF: Hormigón de firme; ZARHor: Zahorra artificial reciclada de hormigón; ZARM I: Zahorra artificial reciclada mixta Tipo I de RCD; HCR: Hormigón seco compactado reciclado de RCD;</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3">TIPO DE TRÁFICO</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">PEATONAL RESTRINGIDO</td><td>USO COMBINADO (PEATONAL+TRÁFICO LIGERO)</td></tr>
<tr><td colspan="2">CAPA SUPERIOR</td><td colspan="2">ADOQUÍN ARENA | ADOQUÍN MORTERO | BALDOSA MORTERO</td><td>ADOQUÍN ARENA | ADOQUÍN MORTERO | BALDOSA MORTERO</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CAPAS INFERIORES</td><td>SOBRE EXPLANADA MEDIA Ev2 >75 MPa.</td><td colspan="2">F. Rígido | F. Semi-Rígido | F. Flexible</td><td>F. Rígido | F. Semi-Rígido</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

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

Las soluciones del catálogo de unidades de obra para vías ciclistas está fundamentado en las "Recomendaciones de diseño para vías ciclistas" elaborado por la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, en Junio de 2013.

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 segrega 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.

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

			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		Urbana (ciclo-calle)			X
		Interurbana	X	X	

8.3. CRITERIOS DE PROYECTO

8.2.1. GEOMETRÍA

Dentro de los criterios de proyecto se seguirá las "Recomendaciones de diseño para las vías ciclista en Andalucía" de la Consejería de Fomento y Vivienda que establece unos criterios 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 Autonómica: 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:

TABLA 11. ANCHURAS MÍNIMAS Y RESGUARDOS

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

Secciones transversales tipo

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

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

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

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 Manuel 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 subbbase, 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 del presente catálogo, para los materiales reciclados procedentes de RCD.

Los firmes en el presente catálogo siguen la metodología de las “Recomendaciones de diseño para las vías ciclistas en Andalucía” y por tanto 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.

TABLA 13. TIPOLOGÍA DE FIRME SEGÚN LOS TIPOS DE VÍAS CICLISTAS ADOPTADOS

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							

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.

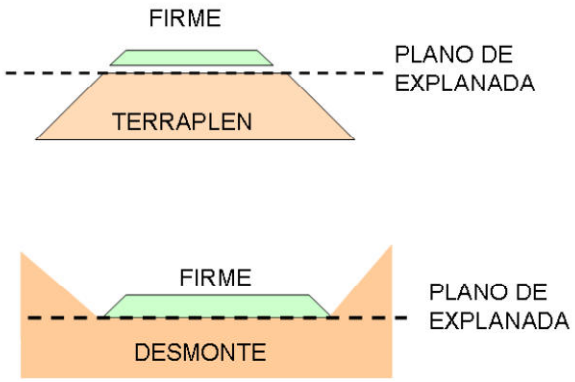


ILUSTRACIÓN 4. DEFINICION DE EXPLANADA

De acuerdo con las "Recomendaciones de diseño para vías ciclistas en Andalucía" (2013) 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

8.3.2. FORMACIÓN DE LAS EXPLANADAS

Las cargas transmitidas por la bicicleta son prácticamente despreciables, sin embargo es importante dotar de capacidad 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 los 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.

MATERIALES A DISPONER SEGÚN SUELO DE APOYO Y EXPLANADA A CONSEGUIR

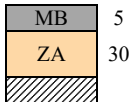
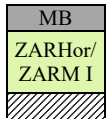
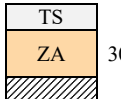
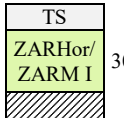
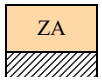
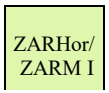
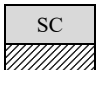
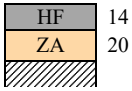
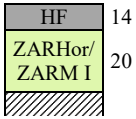
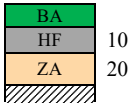
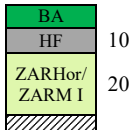
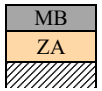
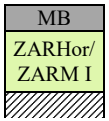
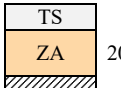
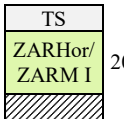
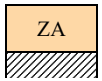
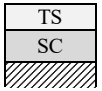
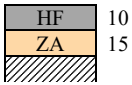
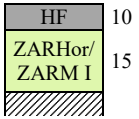
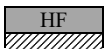
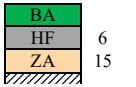
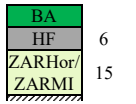
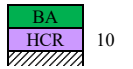
SUELOS NATURALES DE APOYO		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES CBR>2	SUELOS TOLERABLES	SUELOS ADECUADOS	SUELOS SELECCIONADOS
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1, BAJA	SA 100 / SUELO INAD SR-TOL 100 / SUELO INAD-MARGINAL SS 20 / SA 25 / SUELO INAD SR- SEL 20 / SR-TOL 25 / SUELO INAD-MARGINAL	SA 50 / SUELO TOLERABLE SR-TOL 50 / SUELO TOLERABLE SS 30 / SUELO TOLERABLE SR- SEL 30 / SUELO TOLERABLE	**CUMPLE SIEMPRE** **NO ES NECESARIO SUSTITUIR TERRENO**	
	E2, MEDIA	SS 7 / SUELO INAD SR- SEL 75 / SUELO INAD-MARGINAL SS 35 / SA 50 / SUELO INAD SR- SEL 35 / SR-TOL 50 / SUELO INAD-MARGINAL	SS 50 / SUELO TOLERABLE SR- SEL 50 / SUELO TOLERABLE SS 35 / SA 40 / SUELO TOLERABLE SR- SEL 35 / SR-TOL 40 / SUELO TOLERABLE	SS 30 / SUELO ADECUADO SR- SEL 30 / SUELO ADECUADO ZARM II 25 / SUELO ADECUADO	**CUMPLE SIEMPRE** **NO ES NECESARIO SUSTITUIR TERRENO**

SA: Suelo adecuado; SS: Suelo Seleccionado; 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; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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. RELLENOS DRENANTES Y ZANJAS URBANAS

9.1. INTRODUCCIÓN

Para el empleo de áridos de RCD en zanjas urbanas y rellenos drenantes, se sigue la misma metodología establecida a lo largo de toda la guía. 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 esta guía consisten en el relleno de zanjas urbanas y el drenaje bajo losas y soleras de hormigón.

9.2. CRITERIOS DE PROYECTO

9.2.1. 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.

9.2.2. RELLENO DE ZANJAS URBANAS

La instalación de servicios enterrados en ámbito urbano comprende unas 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 esta guía, con el objeto de ser lo más general posible, 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.

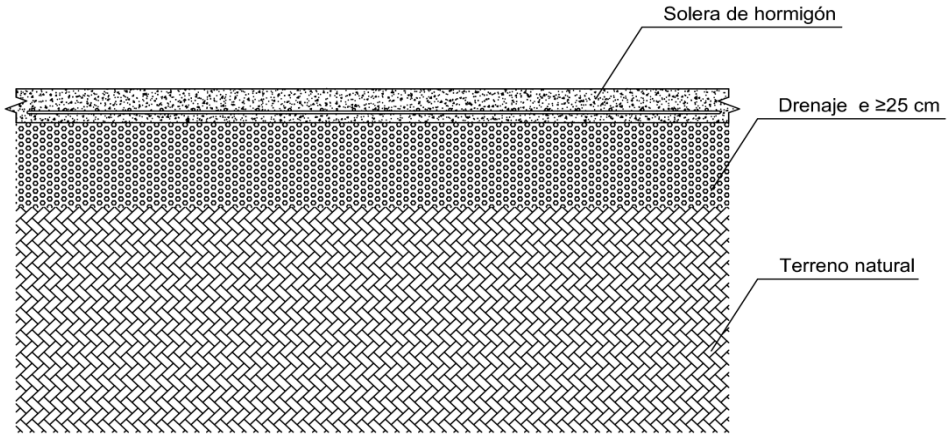


ILUSTRACIÓN 5. SECCIÓN TIPO PROPUESTA PARA DRENAJE BAJO SOLERA DE HORMIGÓN

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

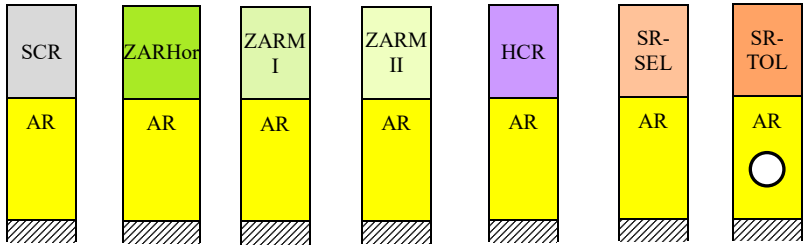
(zona peatonal o bajo calzada), ya que estos son los principales factores que influyen en el diseño geométrico y resistente de la zanja.

SECCIONES TIPO DE ZANJAS EN ÁMBITO URBANO

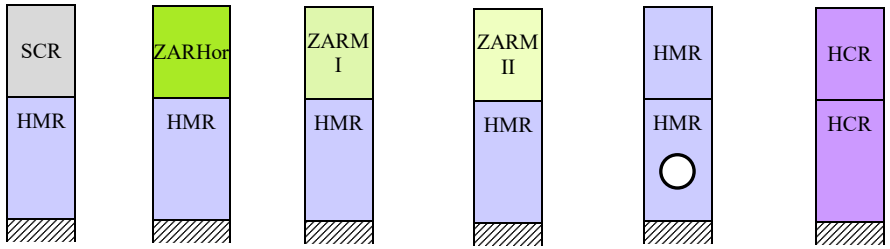
TUBERÍAS FLEXIBLES

ZONA DE ZANJA

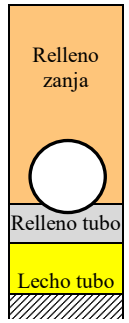
BAJO ZONA PEATONAL



BAJO CALZADA



TUBERÍAS RÍGIDAS



	POLÍMEROS	FUNDICIÓN	HORMIGÓN
RELLENO ZANJA	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II HCR SCR	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II HCR SCR	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II HCR SCR
RELLENO TUBO	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II AR	ZARHor* SR-TOL* ZARM I* HMR SR-S* ZARM II* AR	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II AR
LECHO TUBO	HMR AR	ZARHor* SR-TOL* ZARM I* HMR SR-S* ZARM II* HCR SCR* AR	ZARHor SR-TOL ZARM I HMR SR-SEL ZARM II HCR SCR AR

*limitado su uso por índice de lajas y tamaño máximo

MB: Mezcla bituminosa; ZA: Zahorra artificial; SC: Suelo-cemento; HM: Hormigón magro; GC: Grava-cemento; 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; AR: arena; SR-SEL: Suelo seleccionado reciclado de RCD; SR-TOL: Suelo tolerable reciclado de RCD; HMR: hormigón magro reciclado de RCD

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.

ANEXO I. 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
Composición UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-	≥ 70 %	≥ 70 %	≥ 90 %
	Rc+Ru	≥ 90%	≥ 55 %	≥ 55 %	-
	Rc	-	-	-	-
	Ra	-	-	-	≥ 50 %
	Rb	-	-	-	-
	X	< 1 %		< 2 %	< 1 %
	FL	<1 cm^3/kg		<2 cm^3/kg	<1 cm^3/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**
Granulometría 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
Índice de lajas 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	<10	

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(3)	> 30(3)	> 25(3)	> 35(3)
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			<40	
	Carril bici y vías peatonales urbanas				<45	

(3) *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 % (1)	
Comp. totales de azufre (SO_3) (2) UNE-EN 1744-1	1,3%		1,8%	1,3%
Sulf. Sol. Agua (SO_4) UNE-EN 1744-1	< 0,7% (SO_4) < 0,5 (SO_4) en contacto con materiales ligados con cemento			
Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos UNE-EN 1367-2	≤ 18%			

(1) *Siempre que se justifique que la materia orgánica provenga de materiales bituminosos*
(2) *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_3.*

.

NOTA:

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

- Marcado CE
- Ficha AGRECA 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-TOL
Composición UNE-EN 933-11	**Componentes ppales**	-	
	X	< 3%	< 5%
	FL [1]	< 2 cm^3/kg	
	Yeso	< 1 %	< 2 %

[1] *Se rebajará a 0,5 cm^3/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-TOL
Granulometría	UNE-EN 933-1	# 20 > 70 % y # 0,40 < 15% ó #2 < 80%, #0,40 < 75% #0,08 < 25% LL < 30 IP < 10	# 20 > 70 % ó # 0,080 > 35%
Tamaño máximo		$D_{máx} \leq 100$ mm	-

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

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

[2] *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-TOL
Materia orgánica UNE 103204	<0,2 % si procede de tierras de excavación	< 2 %
	<1% si procede de RCD	
	<2 % si procede de bituminoso	
Sales solubles NLT-114/99	< 2 %	< 4 %
Contenido en yeso NLT-115	<2%	< 5%

NOTA:

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

- Marcado CE
- Ficha AGRECA 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^3/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 % (1)	
Compuestos totales de azufre (SO_3) UNE-EN 1744-1	< 1 %	
Sulf. sol. ácido (SO_3) UNE-EN 1744-1 UNE 103201 (2)	< 0,8 %	
Reactividad UNE 146508 EX (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)	NO REACTIVO	

(1) *Siempre que se justifique que la materia orgánica provenga de materiales bituminosos se podrá elevar al 2%*
(2) *Si Sulf. solubles (UNE 103201) > 0,5% en SO_3, el uso de cemento SR es OBLIGATORIO*

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

		Resistencia media a compresión (MPa) a 7 días	
	Zona	**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 AGRECA 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

Clasificación(1)	ZARHor, ZARM I

(1) *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
Granulometría 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
Resistencia a compresión UNE 12390-3	≥ 10MPa

NOTA:

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

- Marcado CE
- Ficha AGRECA 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
Composición UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-
	Rc+Ru	≥90 %
	Rb	≤ 5 %
	X	< 1 %
	Ra	≤ 5 %
	FL	< 2 cm^2/kg
Equivalente de arena UNE-EN 933-8		> 40 (1) > 35 (2)

(1) *Para GC-20*
(2) *Para GC-32*

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

		GC-32	GC-20
Granulometría 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
Materia Orgánica UNE 103204	Aumento tiempo de fraguado	<120 min
	Perdida resist. Compresión (28 dias)	< 20 %
Comp. totales de azufre (SO_3) UNE-EN 1744-1		< 1 %
Sulf. Sol. Ácido (SO_3) [1] UNE-EN 1744-1		<0.8 %
Reactividad UNE 146508 EX (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)		NO REACTIVO

[1] *Si Sulfatos solubles en ácido (UNE 103201) > 0,5% en SO_3, el uso de cemento SR es OBLIGATORIO*

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

			Categoría de tráfico	
			T2	**T3-T4**
Partículas trituradas UNE EN 933-5 y 933-5	**Partículas total y parcialmente trituradas** (%)	Calzada	≥ 50	≥ 30
		Arcén	≥ 30	
	Partículas totalmente redondeadas (%)	Calzada	≤ 10	≤30
		Arcén	≤ 30	
Plasticidad 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	
Desgaste los Ángeles 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**
Grava-cemento	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 AGRECA 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
Composición UNE-EN 933-11	Rc+Ru+Ra	-	≥ 70 %
	Rc+Ru	-	
	Rb	≤ 5 %	
	X	< 1 %	
	Ra	≤ 1 %	≤ 5 %
	FL	-	-
Partículas ligeras UNE-EN 1744-1		< 1 %	< 2 %
Absorción UNE-EN 1087-6	≥ 4 mm	< 7 %	< 9 %
Granulometría UNE EN 933-1	< 4 mm	≤ 5 %	
Terrones de arcilla UNE-EN 7133		≤ 0,6 %	

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

		Hormigón estructural	Hormigón no estructural
Sulfatos solubles en ácido (SO_3) UNE-EN 1744-1		< 0,80 %	< 1 %
Compuestos totales en azufre (SO_3) UNE-EN 1744-1		< 1 %	
Materia orgánica UNE-EN 1744-1	Aumento tiempo de fraguado	< 120 min	
	Pérdida resist. Compresión (28 días)	< 20 %	
Reactividad UNE 146508 Ex (áridos silíceos) UNE 146507-2 EX (áridos calizos)		NO REACTIVO	
Cloruros totales (Cl^-)(1) 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
Índice de lajas UNE-EN 933-3	< 35	< 40
Desgaste Los Ángeles UNE-EN 1097-2	< 40	< 40
Resistencia a heladas UNE-EN 1367-2	< 18 %	< 18 %

NOTA:

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

- Marcado CE
- Ficha AGRECA 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
Impurezas máximas (X) UNE-EN 933-11			< 1 %
Azufre total (SO_3) UNE-EN 1744-1			< 1,5 %
Sulfatos solubles en ácido UNE-EN 1774-1 (Ap. 12)			< 1 %
Cloruros UNE-EN 196-2			< 0,1 % (1)
Contenido de finos (< 0,063 mm) UNE-EN 933-1			≤ 4 %
Tamaño nominal máximo UNE-EN 933-1	**Diam. Nominal tubería rígida**	100	10
		100-150	15
		150-300	-
		300-550	-
		>550	-
	Diam. Nominal tubería flexible	100	10
		100-150	15
		150-300	-
		300-550	-
		>550	-
Plasticidad	**Límite líquido** UNE 103103		< 30
	Índice Plasticidad 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 AGRECA 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
Composición		X	< 1% (1)
UNE-EN 933-11		FL	< 2 cm^3/kg (1)
Granulometría UNE-EN 933-1		Tamaño máximo	80 mm
		Pasante por el 0,063 mm	< 5%
Condiciones de filtro (2)	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
Sistema previsto de evacuación del agua	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 mechinales	F85/diámetro del mechinal	> 1
Coeficiente de uniformidad	En rellenos drenantes localizados	Coeficiente de uniformidad (F60/F10)	< 20
	En drenes ciegos	Coeficiente de uniformidad (F60/F10)	< 4
Plasticidad UNE 103103 y UNE 103104			No plástico
Equivalente de arena UNE EN 933-8			> 30
Índice de lajas UNE-EN 933-3			< 35 (3)
Azufre total (SO_3) UNE-EN 1744-1		Materiales en contacto con hormigón	< 0,5% (4)
		En el resto de casos	1.30%

Los Ángeles UNE EN 1097-2	Carga de tráfico igual o inferior a T4	< 50
	Carga de tráfico T2 y T3	< 45 (5)

(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:

- Marcado CE
- Ficha AGRECA o similar

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

ANEXO III. FICHAS MODELO PARA MATERIALES RECICLADOS DE RCD

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXX

Denominación: Zahorra artificial reciclada de hormigón ZARHor
Tipo material: Árido para capas granulares
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rc -	Ra -	Rb -	X	FL
-	≥ 90 %	-	-	-	< 1%	< 1 cm3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

	Tamiz (mm)								
Tipo	**40**	**32**	**20**	**12.5**	**8**	**4**	**2**	**0.5**	**0.25**	**0.063**
0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
0/20		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD 0/20		100	65-100	47-78	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

Índice CBR **> 40**
UNE 103502

Índice de lajas **< 35**
UNE-EN 933-3

Partículas trituradas y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

T2	**> 70**
T3	**> 50**
T4	**> 50**

Partículas totalmente redondeadas **< 10 %**
UNE-EN 933-5

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

T2	**< 35**
T3	**< 40**
T4	**< 40**
Caminos rurales, carril bici y vías peatonales	**< 40**

Equivalente de arena (EA) **> 35***
UNE-EN 933-8
**o equivalente de arena > 30 y simultáneamente el azul de metileno (UNE-EN 933-9) < 10*

Plasticidad **N.P.**
UNE 103103 / UNE 103104

Contenido en materia orgánica **< 1 %**
UNE 103204

Comp. Totales de azufre (SO_3) **< 1.3 %**
UNE 1744-1. Punto 11

Sulf. Solubles en agua (SO_4) **< 0.7 %**
UNE-EN 1744-1. Punto 10.2 **< 0.5* %**
* *en contacto con materiales ligados con cemento*

Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos **≤ 18 %**
UNE-EN 1367-2

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXX

Denominación: Zahorra artificial reciclada mixta tipo I de RCD ZARM I
Tipo material: Árido para capas granulares
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rc -	Ra -	Rb -	X	FL
≥ 70 %	≥ 55 %	-	-	-	< 1%	< 1 cm3/k

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

Tamiz (mm)	40	32	20	12.5	8	4	2	0.5	0.25	0.063
0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
0/20		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD 0/20		100	65-100	47-78	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

Índice CBR — **> 40**
UNE 103502

Índice de lajas — **< 35**
UNE-EN 933-3

Partículas trituradas y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

T2	**> 70**
T3	**> 50**
T4	**> 50**

Partículas totalmente redondeadas — **< 10 %**
UNE-EN 933-5

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

T3	**< 40**
T4	**< 40**
Carril bici y vías peatonales	**< 40**

Equivalente de arena — **> 30***
UNE-EN 933-8
**o equivalente de arena > 25 y simultáneamente el azul de metileno (UNE-EN 933-9) < 10*

Plasticidad — **N.P.**
UNE 103103 / UNE 103104

Contenido en materia orgánica — **< 1 %**
UNE 103204

Comp. Totales de azufre (SO_3) — **< 1.3 %**
UNE 1744-1. Punto 11

Sulf. Solubles en agua (SO_4) — **< 0.7 %**
UNE-EN 1744-1. Punto 10.2 — **< 0.5* %**
* *en contacto con materiales ligados con cemento*

Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos — **≤ 18 %**
UNE-EN 1367-2

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXX

Denominación: Zahorra artificial reciclada mixta tipo II de RCD ZARM II
Tipo material: Árido para capas granulares
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rc -	Ra -	Rb -	X	FL
≥ 70 %	≥ 55 %	-	-	-	< 2%	< 2 cm3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

Tamiz (mm)	56	45	40	32	20	12.5	8	4	2	0.5	0.25	0.063
0/40	100	85-100	75-99	68-95	56-85	44-74	35-63	22-46	15-35	7-23	4-18	0-9
0/32	-	100	87-100	75-99	62-91	50-79	40-68	27-51	20-40	7-26	4-20	0-11
0/22	-	-	-	100	71-97	55-84	45-75	32-61	25-50	10-32	5-24	0-11

Índice CBR **> 20**
UNE 103502

Índice de lajas **< 35**
UNE-EN 933-3

Partículas trituradas y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

T3	**> 50**
T4	**> 50**

Partículas totalmente redondeadas **< 50 %**
UNE-EN 933-5

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

T4	**< 40**
Carril bici y vías peatonales	**< 45**

Equivalente de arena **> 25***
UNE-EN 933-8
**o equivalente de arena > 20 y simultáneamente el azul de metileno (UNE-EN 933-9) < 10*

Plasticidad
UNE 103103 / UNE 103104

LL	**< 25**
IP	**< 6**

Contenido en materia orgánica **< 2* %**
UNE 103204
**siempre que se justifique que proviene de materiales bituminosos*

Comp. Totales de azufre (SO_3) **< 1.8 %**
UNE 1744-1. Punto 11

Sulf. Solubles en agua (SO_4) **< 0.7 %**
UNE-EN 1744-1. Punto 10.2 **< 0.5* %**
**en contacto con materiales ligados con cemento*

Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos **≤ 18 %**
UNE-EN 1367-2

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXX

Denominación: Zahorra artificial reciclada asfáltica ZARA
Tipo material: Árido para capas granulares
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rc -	Ra -	Rb -	X	FL
≥ 90 %	-	-	≥ 50 %	-	< 1%	< 1 cm3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

	Tamiz (mm)									
Tipo	**40**	**32**	**20**	**12.5**	**8**	**4**	**2**	**0.5**	**0.25**	**0.063**
0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
0/20		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD 0/20		100	65-100	47-78	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

Índice CBR — **> 30**
UNE 103502

Índice de lajas — **< 35**
UNE-EN 933-3

Partículas trituradas y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

T2	**> 70**
T3	**> 50**
T4	**> 50**

Partículas totalmente redondeadas — **< 10 %**
UNE-EN 933-5

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

T2	**< 35**
T3	**< 40**
T4	**< 40**
Carril bici y pistas peatonales	**< 40**

Equivalente de arena — **> 35***
UNE-EN 933-8
*o equivalente de arena > 30 y simultáneamente el azul de metileno (UNE-EN 933-9) < 10

Plasticidad — **N.P.**
UNE 103103 / UNE 103104

Contenido en materia orgánica — **< 2 %**
UNE 103204

Comp. Totales de azufre (SO_3) — **< 1.3 %**
UNE 1744-1. Punto 11

Sulf. Solubles en agua (SO_4) — **< 0.7 %**
UNE-EN 1744-1. Punto 10.2 — **< 0.5 % en contacto con hormigón**

Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos — **≤ 18 %**
UNE-EN 1367-2

Absorción
UNE-EN 933-1

< 4 mm	**< 10%**
> 4 mm	**< 7 %**

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXXX

Denominación: Suelo seleccionado reciclado de RCD SR-SEL
Tipo material: Suelo seleccionado
Uso previsto: Explanadas de firmes de carreteras, relleno de zanjas, explanada en vías ciclistas y caminos rurales.

Composición
UNE-EN 933-11

X	FI	Yeso
< 3%	< 2* cm^3/kg	< 1%

** se rebajará a 0,5 cm^3 /kg cuando el suelo no vaya a ser cubierto por ninguna otra capa*

Granulometría
UNE-EN 933-1

Dmax	**≤ 100**
#20	**> 70 %**
#0.40	**< 15 %**

Plasticidad de las partículas
UNE 103103 / UNE 103104

En caso contrario:	
#2	**< 80 %**
#0.40	**< 75 %**
#0.080	**< 25 %**
LL	**< 30**
IP	**< 10**

Contenido en materia orgánica
UNE 103204

< 0,2 % si procede de tierras de excavación
< 1 % si procede de RCD
< 2 % si contiene bituminoso

Sales Solubles
NLT 114

< 2 %

Contenido en yeso
NLT 115

< 2 %

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXX

Denominación: Suelo tolerable reciclado de RCD SR-TOL
Tipo material: Suelo tolerable
Uso previsto: Explanadas de firmes de carreteras, relleno de zanjas, explanada en vías ciclistas y caminos rurales.

Composición
UNE-EN 933-11

X	FI	Yeso
< 5%	< 2* cm^3/kg	< 2%

**se rebajará a 0,5 cm^3 /kg cuando el suelo no vaya a ser cubierto por ninguna otra capa*

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

#20	**> 70 %**
ó	
#0.080	**> 35 %**

Asiento ens. Colapso **< 1* %**
NLT 254
**para muestra remoldeada según el ensayo Próctor Normal UNE 103500 y presión de 0,2 Mpa*

Hinchamiento libre **< 3* %**
UNE 103601
**para muestra remoldeada según el ensayo Próctor Normal UNE 103500*

Plasticidad
UNE 103103 / UNE 103104

LL	**< 65**
si LL>40	**IP > 0,73 (LL-20)**

Contenido en materia orgánica **< 2 %**
UNE 103204

Sales solubles **< 4 %**
NLT 114

Contenido en yeso **< 5 %**
NLT 115

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXXX

Denominación: Suelo-cemento reciclado SCR
Tipo material: Árido para suelocemento
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición
UNE-EN 933-11

X	FL
< 1 %	< 1 cm^3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

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

Plasticidad
UNE 103103 / UNE 103104

LL	**< 30**
IP	**< 12**

Contenido en materia orgánica **< 1 %**
UNE 103204 **< 2* %**

* siempre que se justifique que la m.o. proviene de materiales bituminosos

Compuestos totales de azufre (SO_3) **< 1 %**
UNE-EN 1744-1

Sulf. Sol. Ácido (SO_3) **< 0,8 %**
UNE-EN 1744-1

Reactividad **NO REACTIVO**
UNE-EN 146508
UNE-EN 146507-2

Resistencia a compresión media a 7 dias

	Mín.	Máx.
Calzada y arcén	2,5	4,5

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXXX

Denominación: Hormigón seco compactado HCR
Tipo material: Áridos reciclados de RCD
Uso previsto: Firmes de carreteras y obras varias, acerados, vías ciclistas y peatonales y relleno de zanjas.

Tipo de material Hormigón seco con árido de RCD

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

Tamiz (mm)	50	8	2	0,5	0,063
% paso	100%	52-78%	30-47%	16-27%	9- 19%

Resistencia a compresión **≥ 10 Mpa**
UNE 12390-3

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX

CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXX

Denominación: Gravacemento reciclada GCR32
Tipo material: Árido grueso para gravacemento
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rb	Ra	X	FL
-	≥ 90 %	≤ 5 %	≤ 5 %	< 1 %	< 2 cm^3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

Tamiz (mm)	40	32	20	12,5	8	4	2	0.5	0.063
% paso	100	88-100	67-91	52-77	38-63	25-48	16-37	6-21	1-7

Partículas total y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

	T2	T3-T4
Calzada	≥ 50	≥ 30
Arcén	≥ 30	

Partículas totalmente redondeadas
UNE-EN 933-5

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 10	≤ 30
Arcén	≤ 30	

Índice de lajas
UNE-EN 933-3

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 30	≤ 35
Arcén	≤ 40	

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 35	≤ 40
Arcén	≤ 40	

Equivalente de arena **> 35**
UNE-EN 933-8

Plasticidad
UNE 103103 / UNE 103104

T2	N.P.
T3-T4	LL < 25
	IP < 6

Materia orgánica **Aumento tiempo de fraguado < 120 min.**
UNE 103204

Comp. Totales de azufre (SO_3) **< 1 %**
UNE 1744-1

Sulf. Solubles en ácido (SO_3) **< 0.8 %**
UNE-EN 1744-1

Reactividad **NO REACTIVO**
UNE-EN 146508
UNE-EN 146507-2

Contenido mínimo de cemento

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

Resistencia a compresión media a 7 dias

	Mín.	Máx.
Calzada	4,5	7,0
Arcén	4,5	6,0

Sello de Marcado CE o AGRECA, según corresponda

EMPRESA
DIRECCIÓN
XXXXXXXX
CENTRO DE PRODUCCIÓN
XXXXXXXXXX

Denominación: Gravacemento reciclada GCR20
Tipo material: Árido grueso para gravacemento
Uso previsto: Firmes de carreteras, vias ciclistas y peatonales, relleno de zanjas

Composición

Rc+Ru+Ra	Rc+Ru	Rb	Ra	X	FL
-	≥ 90 %	≤ 5 %	≤ 5 %	< 1 %	< 2 cm^3/kg

Granulometría de las partículas
UNE-EN 933-1

Tamiz (mm)	40	32	20	12,5	8	4	2	0.5	0.063
% paso	-	100	80-100	62-84	44-68	28-51	19-39	7-22	1-7

Partículas total y parcialmente trituradas
UNE-EN 933-5

	T2	T3-T4
Calzada	≥ 50	≥ 30
Arcén	≥ 30	

Partículas totalmente redondeadas
UNE-EN 933-5

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 10	≤ 30
Arcén	≤ 30	

Índice de lajas
UNE-EN 933-3

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 30	≤ 35
Arcén	≤ 40	

Desgaste de los Ángeles
UNE-EN 1097-2

	T2	T3-T4
Calzada	≤ 35	≤ 40
Arcén	≤ 40	

Equivalente de arena **> 40**
UNE-EN 933-8

Plasticidad
UNE 103103 / UNE 103104

T2	N.P.
T3-T4	LL < 25
	IP < 6

Materia orgánica **Aumento tiempo de fraguado < 120 min.**
UNE 103204

Comp. Totales de azufre (SO_3) **< 1 %**
UNE 1744-1

Sulf. Solubles en ácido (SO_3) **< 0.8 %**
UNE-EN 1744-1

Reactividad **NO REACTIVO**
UNE-EN 146508
UNE-EN 146507-2

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

Resistencia a compresión media a 7 dias

	Mín.	Máx.
Calzada	4,5	7,0
Arcén	4,5	6,0