



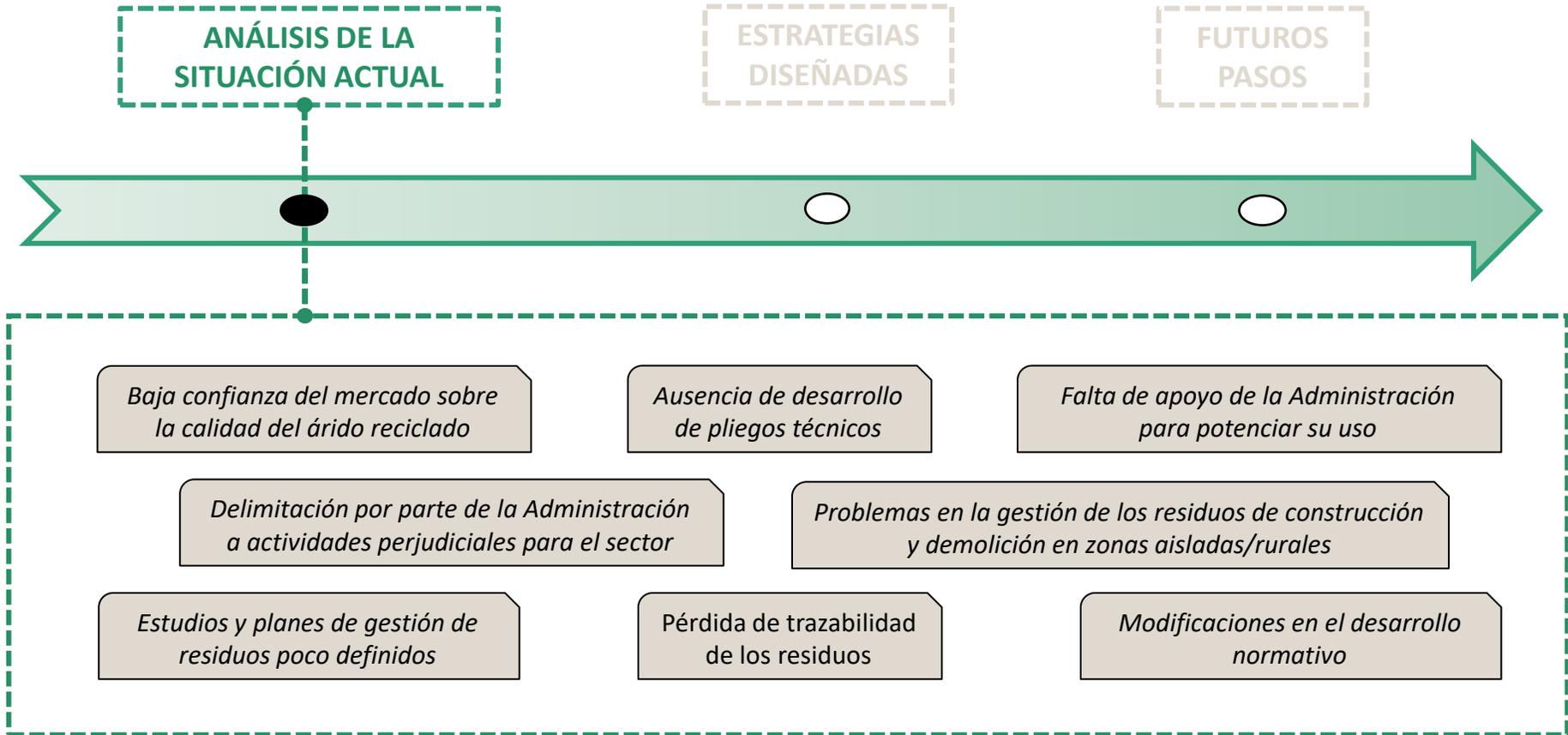
Diseño y desarrollo de una estrategia de valorización de los residuos de construcción y demolición



La economía circular de los RCD como estrategia
para la adaptación al cambio climático
EFA 336/19

24 mayo 2022

PROCESO 01/03



PROCESO 02/03

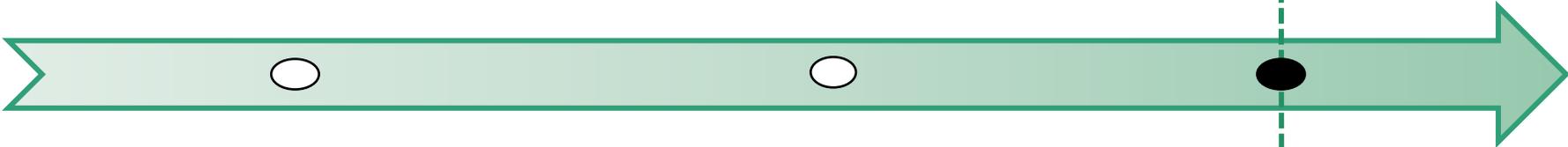


PROCESO 03/03

ANÁLISIS DE LA
SITUACIÓN ACTUAL

ESTRATEGIAS
DISEÑADAS

FUTUROS
PASOS



Simulación de una restauración de espacios degradados mediante cubetas experimentales



Desarrollo de parte de la vía ciclista de la Eurovelo 3 realizada por el proyecto Poctefa Bicimugi





Requisitos técnicos propuestos para los áridos reciclados y análogos

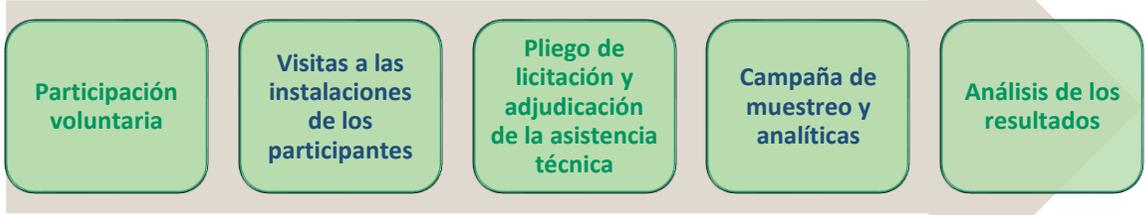


**La economía circular de los RCD como estrategia
para la adaptación al cambio climático**

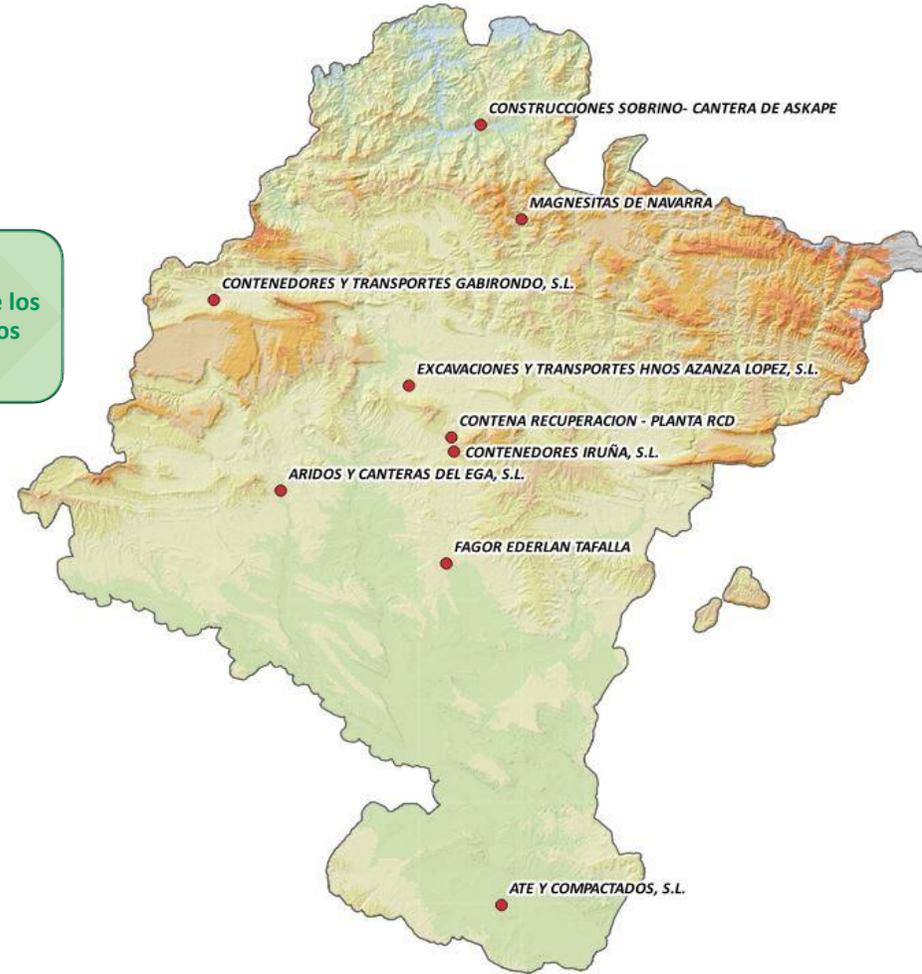
EFA 336/19

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

PROCEDIMIENTO



Entidades participantes en el proyecto RCdiGreen



Comercializados y residuos análogos

Árido reciclado comercializado (1 a 20)

Árido reciclado de plantas de zonas rurales (21 a 25)

Residuos análogos (23 y 26)

Baja o nula comercialización

Residuos procedentes del precribado (27 a 29)

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS COMERCIALIZADOS Y RESIDUOS ANÁLOGOS INERTES

APLICACIONES A ESTUDIO

- HORMIGÓN
 - *EHE-08 y Código Estructural*
 - ZAHORRAS PARA FIRMES
 - GRAVACEMENTO
 - SUELOCEMENTO
 - TERRAPLENES
- } PG-3

PARÁMETROS CRÍTICOS

- Absorción
- Coeficiente de los Ángeles
- Pérdida de peso en sulfato magnésico.
- Contenido de sulfatos, yesos y sales solubles.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS COMERCIALIZADOS Y RESIDUOS ANÁLOGOS INERTES

CONCLUSIONES:

- En general, los áridos reciclados presentan una **buena consistencia** determinada en general por su **característica no plástica**.
- **Hormigón y zahorras**
 - Para el empleo del árido reciclado en hormigón y en capas de firmes de carreteras como zahorras se establece un límite para la **pérdida de peso con sulfato magnésico** que no cumplen las muestras, que va vinculado a alta concentración de ladrillos, tejas y cerámicos (**Rb**)
- **Zahorras**
 - en algunas muestras el contenido de **azufre y sales solubles en agua** son incompatibles con las exigencias establecidas en el PG-3. Aun así, de forma general, estos valores no distan demasiado de los límites exigidos con lo que fomentar una **mejor separación en origen de los RCD** pueden contribuir a disminuir la concentración de estas sustancias y hacer válidos estos materiales.
- **Hormigón, zahorras o gravacemento**
 - Las características geométricas para áridos gruesos para usos como hormigón, zahorras o gravacemento en firmes de carreteras son adecuadas tanto por el **índice de lajas** como por el **porcentaje de partículas trituradas**. Esto asegura la **capacidad resistente** del árido reciclado para estos usos.
 - Hay un alto porcentaje de muestras cuyos resultados sobre el **Coefficiente de los Ángeles**, basado en el ensayo UNE EN 1097-2, no cumplen con las exigencias establecidas para las aplicaciones de hormigón, zahorras o gravacemento. Sin embargo, diferentes estudios han identificado que esta propiedad, que a priori resulta negativa, con el paso de tiempo no es tan relevante ya que el mortero de cemento adherido en la superficie de los áridos reciclados favorece a un proceso de “autocementación” mejorando la **capacidad portante** de estos materiales.
 - Además, un contenido de hormigón comparativamente más alto que el de piedra natural está también correlacionado con una menor resistencia a la fragmentación (**Rc vs Ru**)

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS COMERCIALIZADOS Y RESIDUOS ANÁLOGOS INERTES

CONCLUSIONES:

- **Terraplenes**

- El empleo del material en terraplenes es la aplicación que mejor se ha podido caracterizar por el número de resultados disponibles para ella. La mayoría de las muestras presentan buenas condiciones para su uso bien sea como suelo seleccionado, adecuado o tolerable salvo por el **contenido de sales solubles o yesos**. Un alto contenido de estas sustancias con la presencia del agua puede originar disoluciones del material y, por tanto, inestabilidades del terraplén. Aun así, estos materiales pueden emplearse si se toman las medidas y comprobaciones necesarias para evitar este fenómeno.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS COMERCIALIZADOS Y RESIDUOS ANÁLOGOS INERTES

Atendiendo a la clasificación de las fracciones del árido grueso basado en la norma UNE-EN 933-11:

TIPO DE ÁRIDO	Rc+Ru+Ra (%)	Rc+Ru (%)	Rc (%)	Ra (%)	Rb (%)	X (%)	FL (cm ³ /kg)	Yeso
Árido grueso reciclado para hormigón ¹	-	≥ 95	-	≤ 1	-	≤ 0,5	-	-
Zahorra reciclada de hormigón (ZarHor)	-	≥ 90	-	-	-	< 1	< 1	-
Zahorra reciclada mixta I (ZarM I)	≥ 70	≥ 55	-	≤ 5	-	< 1	< 1	-
Zahorra reciclada mixta II (ZarM II)	≥ 70	≥ 55	-	≤ 5	-	< 2	< 2	-
Suelo seleccionado reciclado (SR Sel)	-	-	-	-	-	< 3	< 2 ²	< 1
Suelo tolerable reciclado (SR Tol)	-	-	-	-	-	< 5	< 2 ²	< 2
Suelo adecuado reciclado (SR Ad)	-	-	-	-	-	< 4	< 2 ²	< 1
Suelocemento reciclado (SCR40)	-	≥ 90	-	≤ 5	≤ 10	< 1	< 1	-
	-	≥ 70	-	≤ 5	≤ 30	< 1	< 1	-
	-	< 70	-	≤ 5	> 30	< 1	< 1	-
Suelocemento reciclado (SCR20)	-	≥ 90	-	≤ 5	≤ 10	< 1	< 1	-
	-	≥ 70	-	≤ 5	≤ 30	< 1	< 1	-
	-	< 70	-	≤ 5	> 30	< 1	< 1	-
Gravacemento reciclado GCR32	-	≥ 90	-	≤ 5	≤ 5	< 1	< 2	-
Gravacemento reciclado GCR20	-	≥ 90	-	≤ 5	≤ 5	< 1	< 2	-

¹ Además, la proporción de partículas ligeras deberá ser ≤ 2%.

² En caso de no estar cubierto por otras capas, el límite se reducirá a < 0,5 cm³/ kg.

Rc: Hormigón, productos de hormigón, morteros.

Ru: Áridos no tratados, piedra natural, áridos tratados con conglomerantes hidráulicos

Rb: Ladrillos, tejas y cerámicos

Ra: Materiales bituminosos

FL: Material flotante en volumen.

X: Otros. (Generalmente yesos)

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS COMERCIALIZADOS Y RESIDUOS ANÁLOGOS INERTES

CONCLUSIONES:

Atendiendo a la clasificación de las fracciones del árido grueso basado en la norma UNE-EN 933-11:

Suelo reciclado	Muestra 21	Muestra 22	Muestra 24	Muestra 25	
Seleccionado	1	3	0	3	<3
adecuado	1	3	0	3	<4
tolerable	1	3	0	3	<5

Rc: Hormigón, productos de hormigón, morteros.

Ru: Áridos no tratados, piedra natural, áridos tratados con conglomerantes hidráulicos

Rb: Ladrillos, tejas y cerámicos

Ra: Materiales bituminosos

FL: Material flotante en volumen.

X: Otros. (Generalmente yesos)

- **Aplicaciones según UNE-EN 933-11:**
 - Zahorras Mixtas tipo I y II
 - Suelocemento
 - Suelos reciclados (seleccionados, adecuados y/o tolerables)

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS DE BAJA O NULA COMERCIALIZACIÓN

APLICACIONES A ESTUDIO

- RESTAURACIÓN DE HUECOS MINEROS
 - Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)

PARÁMETROS CRÍTICOS

- Contenido de yesos y sales solubles.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS ANÁLOGOS

ÁRIDOS DE BAJA O NULA COMERCIALIZACIÓN

CONCLUSIONES

Hormigón, zahorras o gravacemento

Los materiales de baja comercialización no tienen una condición adecuada para utilizarse en hormigón, gravacemento o zahorras como era de esperar.

Terraplenes

Sin embargo, salvo por las condiciones de **sales solubles y yesos**, estos materiales se podrían clasificar como suelos adecuados o tolerables. Por tanto, se podría decir que estos materiales tienen un gran potencial para usarse como rellenos tipo terraplén siempre y cuando se tomen las medidas oportunas para que el contenido de sales solubles no produzca inestabilidades.

Atendiendo a la clasificación de las fracciones del árido grueso basado en la norma UNE-EN 933-11: Suelos reciclados (seleccionados, adecuados y/o tolerables)

REQUISITOS TÉCNICOS

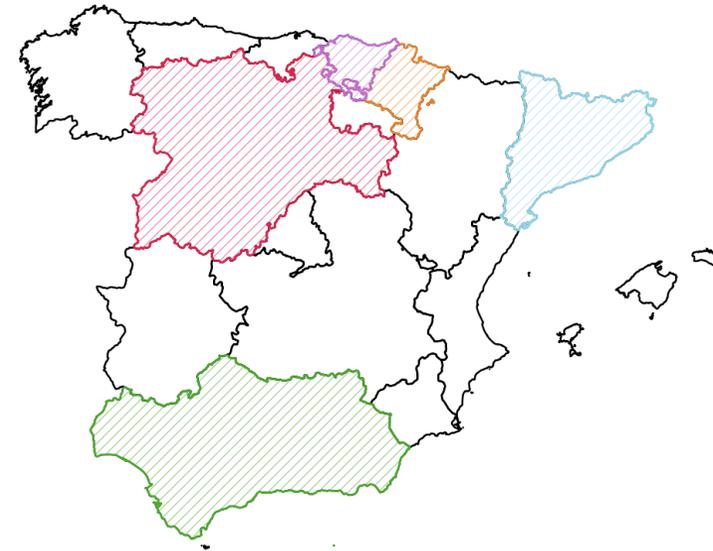
APLICACIÓN	NORMATIVA/ GUÍA
Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> - Código Estructural. - Instrucción del hormigón estructural (EHE -08): Anejo 15 y 18. - Guía de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD). <i>Para hormigones en masa.</i> - Conclusiones del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). <i>Para hormigones elaborados con áridos mixtos.</i>
Carreteras	<ul style="list-style-type: none"> - Norma 6.1 IC Secciones de Firme. Instrucción de Carretera. - Norma 6.3 IC de Rehabilitación de firmes. - Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3). - Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras y Puentes (PG-4). - Guía de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD). - <i>Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados.</i> - <i>Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD's.</i> - <i>Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco + Orden del 12 de enero de 2015 del País Vasco.</i>
Caminos	<ul style="list-style-type: none"> - Recomendaciones para la redacción de los proyectos de ejecución de obras para la normalización de los aspectos constructivos de los Caminos Naturales e Itinerarios No Motorizados en España. - Guía de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD). - Manual de pavimentos de hormigón para vías de baja intensidad de tráfico. - Guía de Empleo, Proyecto y Ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. - <i>Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados.</i> - <i>Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD's.</i>
Vías ciclistas	<ul style="list-style-type: none"> - Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos de motor y seguridad vial. - Recomendaciones para la redacción de los proyectos de ejecución de obras para la normalización de los aspectos constructivos de los Caminos Naturales e Itinerarios No Motorizados en España. - Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructura, balizamiento, conservación y mantenimiento de carril bici, de la Dirección General de Tráfico. - <i>Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados.</i> - <i>Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD's.</i> - <i>Manual para el diseño de vías ciclistas de Cataluña.</i> - <i>Recomendaciones para el diseño de firmes de vías ciclistas + Orden del 12 de enero de 2015 del País Vasco</i> - <i>Guía de políticas de movilidad ciclista para municipios de Gipuzkoa, Navarra y Pirineos Atlánticos.</i> - <i>1ª Fase del Plan de Ciclabilidad 2017 de Pamplona.</i>
Espacios degradados	<ul style="list-style-type: none"> - Real Decreto 975/2009. - Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD).



NORMAS ARMONIZADAS
(Comité Europeo de Normalización))



Normas UNE-EN (España)
Comercialización de áridos:
MARCADO CE



REQUISITOS TÉCNICOS PARA CAMINOS

ESTRUCTURA

- Explanada. ➔
- Firme. ➔ ≤ 25 vehículos pesados/ días

TIPO DE EXPLANADA SEGÚN CBR	
E1	$5 \leq \text{CBR} < 10$
E2	$10 \leq \text{CBR} < 20$
E3	$\text{CBR} \geq 20$



TIPOS DE CAMINOS

- Caminos sobre vías de ferrocarril.
- Caminos sobre vías existentes en buen estado.
- Caminos sobre vías existentes en mal estado o insuficientes.
- Caminos de nueva traza.



DRENAJE

- Pendientes de evacuación entre 1-3%. Nunca inferior a 1%.
- Sistemas de drenaje: cunetas, drenes subterráneos...

REQUISITOS TÉCNICOS PARA CAMINOS

CAMINOS A BASE DE CAPAS GRANULARES



EXPLANADAS	Suelo reciclado seleccionado: SR Sel.
	Suelo reciclado tolerable: SR Tol.
	Suelo reciclado adecuado: SR Ad.
FIRMES	Zahorra reciclada de hormigón: ZarHor.
	Zahorra reciclada mixta I: ZarM I.
	Zahorra reciclada mixta II: ZarM II.



PROPIEDAD	ENSAYO	LÍMITES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL		
		SUELO TOLERABLE	SUELO ADECUADO	SUELO SELECCIONADO*
Materia Orgánica (MO)	UNE 103204	< 2%	Procedente de tierras de excavación: < 1% Procedente de RCD: < 1% Procedente de residuos bituminosos: < 2%	Procedente de tierras de excavación: < 0,2% Procedente de RCD: < 1% Procedente de residuos bituminosos: < 2%
Sales solubles (SS)	NLT 114	< 4%	< 2%	< 2%
	NLT 115	< 5%	< 2%	< 2%
Tamaño máximo del árido	UNE 103101	-	≤ 100 mm	≤ 100 mm
Cernido de tamiz	UNE 103101	# 20 > 70 % ó # 0,080 ≥ 35 %	# 20 > 70 % ó # 0,080 ≥ 35 %	# 20 > 70 % ó # 0,080 ≥ 35 %
		-	#2 < 80% y #0,080 < 35%	# 0,40 ≤ 15
Límite líquido (LL)	UNE 103103	LL < 65	LL < 40	-
Índice de Plasticidad (IP)	UNE 103104	Si LL > 40, IP > 0,73 (LL-20)	Si LL > 30, IP > 4	-
Hinchamiento libre	UNE 103601	< 3%	-	-
Asiento en ensayo de colapso	NLT 254	< 1%	-	-

* También se considera suelo seleccionado si se cumplen todas estas condiciones:

- Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento (# 2 < 80%).
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento (# 0,40 < 75%).
- Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento (# 0,080 < 25%).
- Límite líquido menor de treinta (LL < 30), según UNE 103103.
- Índice de plasticidad menor de diez (IP < 10), según UNE 103103 y UNE 103104.

REQUISITOS TÉCNICOS PARA CAMINOS

CAMINOS A BASE DE CAPAS GRANULARES

ZAR Hor y ZARM I

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	0/32	0/20	Drenante 0/20
40	100	-	-
32	88-100	100	100
20	65-90	75-100	65-100
12,5	52-76	60-86	47-78
8	40-63	45-73	31-54
4	26-45	31-54	14-37
2	15-32	20-40	0-15
0,5	7-21	9-24	0-6
0,25	4-16	5-18	0-4
0,063	0-9	0-9	0-2

ZARM II

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	0/40	0/32	0/22
56	100	-	-
45	85-100	100	-
40	75-99	87-100	-
32	68-95	75-99	100
20	56-85	62-91	71-97
12,5	44-74	50-79	55-84
8	35-63	40-68	45-75
4	22-46	27-51	32-61
2	15-35	20-40	25-50
0,5	7-23	7-26	10-32
0,25	4-18	4-20	5-24
0,063	0-9	0-11	0-11

ÁRIDO GRUESO

REQUISITOS	NORMA DE ENSAYO	ZarHor	ZarM I	ZarM II
Granulometría	UNE-EN 933-1	#0,063 < 2/3 del cernido #0,25		
Contenido de finos	UNE-EN 933-1	#0,063 < 1 %		
Absorción	UNE-EN 933-1	< 7	< 9	< 11
Pérdida de masa en el ensayo de estabilidad a los sulfatos	UNE-EN 1367-2	≤ 18%		
Contenido de SO ₃ en agua	UNE-EN 1744-1	SO ₃ < 0,7 % ²		
Contenido total de azufre	UNE-EN 1744-1	S < 1 % ³		
Materia orgánica	UNE 103204	< 1%	< 2% ¹	
Proporción de partículas totalmente y parcialmente trituradas	UNE-EN 933-5	≥ 70 Arcenes: ≥ 50 ≥ 50 (incluidos arcenes)		
Proporción de partículas redondeadas	UNE-EN 933-5	≤ 10 (incluidos arcenes)		
Índice de lajas	UNE-EN 933-3	< 35		
Coefficiente de los Ángeles	UNE-EN 1097-2	< 40		

¹ Siempre y cuando justifique que la materia orgánica provenga de materiales bituminosos

² SO₃ < 0,5 % en contacto con materiales ligados con cemento

³ S < 0,5 % en contacto con materiales ligados con cemento

ÁRIDO FINO

REQUISITO	NORMA DE ENSAYO	ZarHor	ZarM I	ZarM II
Equivalente de arena ¹	Anexo A de la norma UNE-EN 933-8	> 35	> 30	> 30
Absorción	UNE- 933-1	< 10	< 12	< 14
Índice de plasticidad	UNE 103103 y UNE 103104	No plástico	No plástico	< 6
Límite líquido	UNE 103103	No plástico	No plástico	< 25

¹ Según el PG-3, de no cumplirse los requisitos especificados en la tabla, su valor de azul de metileno (Anexo A de la norma UNE-EN 933-9), para la fracción 0/0,125 deberá ser inferior a diez gramos por kilogramo (MBF < 10 g/kg) y, simultáneamente, el equivalente de arena (SE_a) no deberá ser inferior en más de cinco (5) unidades a los valores indicados en la tabla.

REQUISITOS TÉCNICOS PARA CAMINOS

CAMINOS CON FIRMES DE HORMIGÓN RECICLADO

TIPO DE HORMIGÓN

- HF-4,0 (HM-30): Resistencia a flexotracción a los 28 días de 4,0 MPa.
- HF-3,5 (HM-25): Resistencia a flexotracción a los 28 días de 3,5 MPa, sólo si se aumenta el espesor de la capa en 2 cm.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Su uso en capas de rodaduras de caminos no exigirán índice de regularidad.
- Se deberán disponer de juntas.
- La superficie de la capa terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones.
- Los áridos reciclados empleados no deberán ser reactivos con el cemento, ni contendrán sulfuros oxidables, sulfato cálcico o compuestos ferrosos inestables, que originen fenómenos expansivos en la masa del hormigón.
- Los áridos reciclados no serán susceptibles ante ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo.



FUENTE: Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición

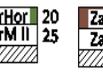
REQUISITOS TÉCNICOS PARA CAMINOS

FIRMES PROPUESTOS

INTENSIDADES MEDIAS DIARIAS DE VEHÍCULOS PESADOS (IMDp) ¹	T421	T422	T423
	15-24	5-14	1-4



TIPO DE EXPLANADA SEGÚN CBR	
E1	$5 \leq \text{CBR} < 10$
E2	$10 \leq \text{CBR} < 20$
E3	$\text{CBR} \geq 20$

FIRMES PROPUESTOS PARA CAMINOS				
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
		T421	T422	T423
TIPOLOGÍA DE EXPLANADA	E1	 	 	 
		 	 	
	E2	 	 	 
		 	 	
	E3	 	 	 

REQUISITOS TÉCNICOS PARA VÍAS CICLISTAS

TIPOS DE VÍAS CICLISTAS

- Carril de nueva creación.
- Carril adyacente a una carretera.
- Carril sobre una plataforma existente.

ESTRUCTURA

- Explanada. ➔
- Firme.

CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA	Ev2 (NORMA NLT3- 357/98)
E1	≥ 60 MPa
E2	≥ 120 MPa



TIPO DE FIRME	CARACTERÍSTICAS	USOS
FL-1	Firme flexible con mezcla bituminosa	Carriles bici urbanos, interurbanos y rurales de nueva creación.
FL-2	Firme flexible con tratamiento superficial con gravilla	Carriles bici urbanos, interurbanos y rurales de nueva creación y en caminos rurales sobre caminos existentes.
FL-3	Firme flexible con zahorra artificial	Carriles de bici rurales sobre caminos existentes o sobre antiguas plataformas de ferrocarril (vías verdes).
SR-1	Firme semirrígido con mezclas bituminosas	Carriles bici urbanos, interurbanos y rurales de nueva creación.
SR-2	Firme semirrígido con tratamiento superficial con gravilla	Carriles bici urbanos, interurbanos y rurales de nueva creación y en caminos rurales sobre caminos existentes.
SR-3	Firme semirrígido con suelo-cemento o albero-cal	Carriles de bici rurales sobre caminos existentes o sobre antiguas plataformas de ferrocarril (vías verdes).
RIG-1	Firme rígido con hormigón	Carriles bici urbanos, interurbanos y rurales de nueva creación y en caminos rurales sobre caminos existentes.
RIG-2	Firme rígido con baldosa o adoquín	Carriles bici, generalmente urbanos, que comparta acera con los peatones.

DRENAJE

- Pendientes de evacuación recomendada del 2%.

REQUISITOS TÉCNICOS PARA VÍAS CICLISTAS

MATERIALES

Explanadas	Suelo reciclado seleccionado.
	Suelo reciclado tolerable.
	Zahorra reciclada mixta II: ZarM II.
Firmes	Árido reciclado grueso para hormigón
	Suelocemento reciclado SCR20 y SCR40.
	Gravacemento reciclada GCR32 y GCR20.
	Zahorra reciclada de hormigón: ZarHor.
	Zahorra reciclada mixta I: ZarM I.

EXPLANADAS PROPUESTAS PARA VIAS CICLISTAS			
TIPOLOGÍA DE EXPLANADA	TIPOLOGÍA DE TERRENO SUBYACENTE*		
	SUELOS INADECUADOS	SUELOS TOLERABLES	SUELOS ADECUADOS
	E1	 S-Inad	
E2			

FIRMES PROPUESTOS PARA VIAS CICLISTAS									
TIPO	FLEXIBLES			SEMIRRÍGIDOS			RÍGIDOS		
SUBTIPO	FL-1	FL-2	FL-3	SR-1	SR-2	SR-3	R-1	R-2	
TIPOLOGÍA DE EXPLANADA	E1								
									
	E2								
									

REQUISITOS TÉCNICOS PARA RESTAURACIÓN

NORMATIVA/GUÍAS

- Real Decreto 975/2009.
- Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD).
- DF 23/2011

REQUISITOS TÉCNICOS PARA RESTAURACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS

MATERIALES

REGULARIZACIÓN

- Zahorra reciclada de hormigón y zahorra reciclado mixta tipo I.

IMPERMEABILIZACIÓN

- Capa artificial de impermeabilización.

DRENAJE LIXIVIADOS

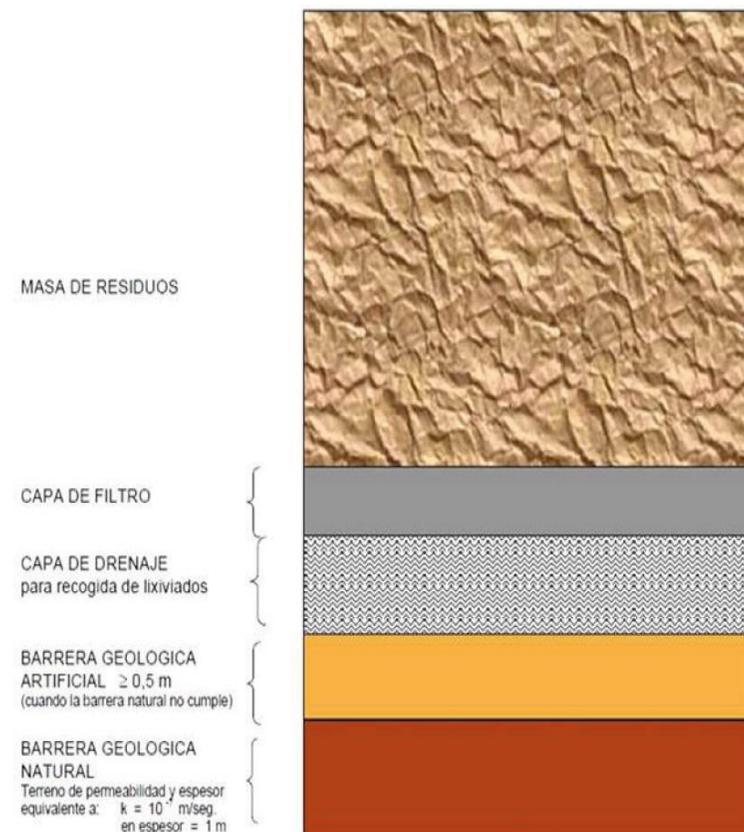
- Capa de drenaje: zahorra reciclada de hormigón o zahorra reciclada mixta tipo I.
- Capa de filtro.

RELLENO

- Suelo reciclado tolerable.

CAPA DE SELLADO O/Y COBERTURA

RESIDUOS INERTES



FUENTE: Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)

CCAA: reducir o modificar requisitos exigidos: Prueba piloto restauración



Requisitos ambientales propuestos para los áridos reciclados y análogos



Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)



**La economía circular de los RCD como estrategia
para la adaptación al cambio climático**

EFA 336/19

REQUISITOS AMBIENTALES: CONDICIONANTES PARA EL RIESGO AMBIENTAL



FUENTE

- Forma de contacto del árido reciclado con el agua.
- Condiciones adicionales por su exposición en el medio.
- Características del árido reciclado.



VÍA DE TRANSPORTE

- Dilución
- Dispersión
- Retención



MEDIO RECEPTOR

- Suelos (RD 9/2005+LF 14/2018)
- Aguas subterráneas
- Aguas superficiales + Aguas consumo humano

REQUISITOS AMBIENTALES EN EUROPA

PAÍS MIEMBRO	¿DISPONE DE CONDICIÓN FIN DE RESIDUO?	¿DISPONE DE REGULACIÓN PARA ÁRIDOS RECICLADOS?	¿DISPONE DE CRITERIO SOBRE EL CONTENIDO TOTAL DE CONTAMINANTES?	¿DISPONE DE CRITERIOS DE LIXIVIACIÓN?	TIPOS DE ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN REQUERIDOS
Austria	No	Guías	Sí	Sí	EN-12457-4 (L/S = 10 l/kg)
Bélgica	No	Sí, en la región Flamenca	Sí	Sí	CEN/TS 14405 (L/S = 10 l/kg)
República Checa	No	Basada en legislación de vertedero ¹	Sí	Sí	EN-12457-4 (L/S = 10 l/kg)
Dinamarca	No	Sí	Sí	Sí	EN-12457-1
Finlandia	No	Sí	Sí	Sí	CEN/TS 14405; EN 12457-3 (L/S = 10 l/kg)
Francia	No	Sí	Sí	Sí	EN 12457-2 y EN 12457-4 ²
Alemania	No	Guías y en preparación de nueva regulación	Sí	Sí	EN 12457-2 y DIN 19528
Hungría	No	Alguna	No	Sí	Desconocido
No	Sí	No	Sí	Sí	EN-12457-2 (L/S = 10 l/kg)
Países Bajos	Sí	Sí	Sí	Sí	CEN/TS 14405 (L/S = 10 l/kg)
Polonia	No	No	No	No	-
Portugal	No	Alguna guía	No	No	-
Eslovaquia	No	No	No	No	-
España	No	Sí, a nivel regional	No	Sí	EN-12457-4 y DIN 38414-S4
Suecia	No	Guías	Sí	Sí	CEN/TS 14405
Reino Unido	Sí	Guía, caso a caso	No	No	Variable sin una especificación concreta

¹ Considera la adopción de la guía Austriaca.

² Para pruebas de cumplimiento (CEN/TS 14405 para la caracterización básica)

REQUISITOS AMBIENTALES: CONTAMINANTES POTENCIALES

Aggregate	L/S dependence test (L/S = 10 l/kg)			pH dependence test (L/S = 10 l/kg)		
	Close to the limit	Partially exceeding	Consistently exceeding	Close to the limit	Partially exceeding	Consistently exceeding
Recycled concrete		Ba, Cr, Pb		Ba	Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V	Cr, SO4
Recycled bricks		SO4		Pb, Sb, Se	As, Cr	
Recycled glass		Cu, Pb	Sb	Ba	As, Cd, Cr, Ni	Pb, Sb
Mixed C&D waste		Cd, Cl, Pb		V	Cd, Cl, Cr, Pb, Sb, SO4, V	
Recycled asphalt				Se		
Blast furnace slag		SO4			Cr*, Sb**, Se**, SO4, V	
Basic oxygen furnace slag			V		Cd, Mo, Sb, Se,	V
Electric arc furnace slag					Ba	Cr, Mo, V
Phosphorous slag		Mo, Pb, Sb, Se			Cd, Sb, Se	
Coal fly ash		As, Ba, Cd, Cl, Cr, Mo, Ni, Pb, V, Zn	SO4		As, Cd, Cr, Mo, Ni, V	Sb, Se, SO4
Coal bottom ash	As	Cd, Cr, Mo, Ni		As	Cd, Cr, Ni, SO4	
MSW incinerator fly ash		As, Cu, Cr, Ni, Sb, Se, Zn	Cd, Cl, F, Mo, Pb, SO4		As, Ba, Cu, Ni	Cd, Cl, Cr, F, Mo, Pb, Sb, Se, SO4, Zn
MSW incinerator bottom ash	Cd, Se, Zn	Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, SO4	Cl, Cu		Cd, Cr, Ni, Pb, Se, Zn	Cl, Cu, Mo, Sb, SO4
Artificial aggregate	Cd, Mo, Pb, SO4, Zn	As, Cr, Mo, Se		Pb, Zn	As, Cr, Mo, Se	
Natural aggregate	Cd, Ni, V			As, Cd, Ni, Pb, Sb, Se, V		
Limestone						
Granulated tyres		Zn				

*: Seawater quenching

** : Older data, possibly overestimation

FUENTE: Study on methodological aspects regarding limit values for pollutants in aggregates in the context of the possible development of end-of-waste criteria under the EU Waste Framework Directive

ALTA PRESENCIA DE
RESIDUOS CERÁMICOS



SULFATOS

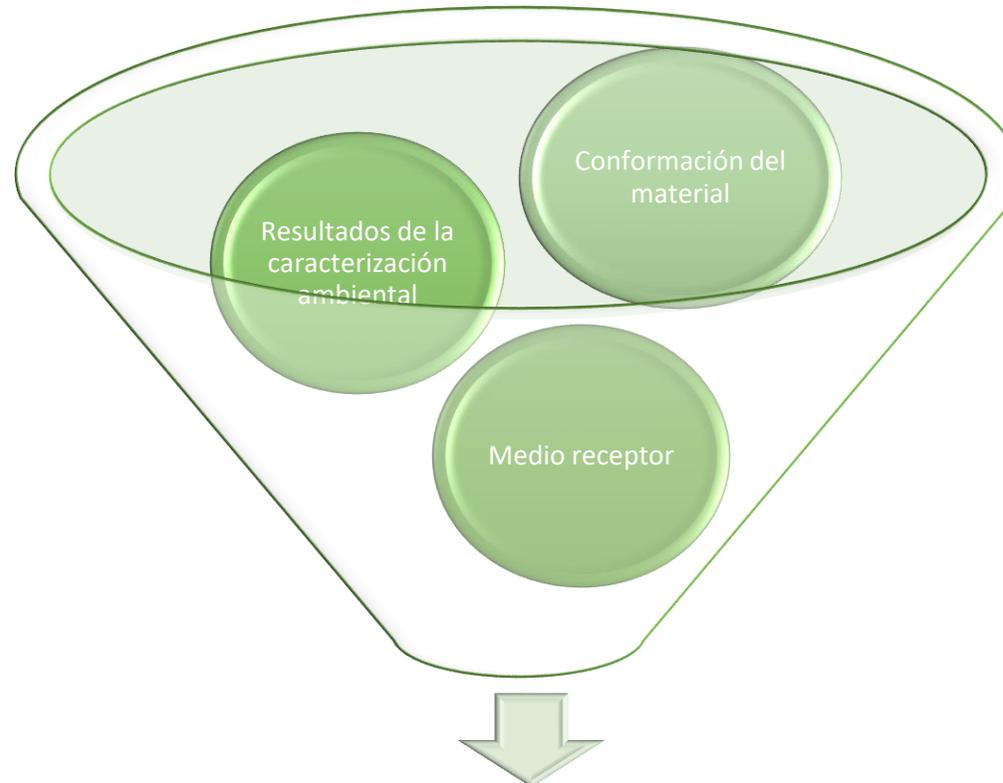
ALTA PRESENCIA DE RESIDUOS
PROCEDENTES DE HORMIGÓN



CROMO

En general, los contaminantes más habituales son **romo, plomo, mercurio, cobre, cadmio y sulfatos.**

REQUISITOS AMBIENTALES EN NAVARRA



Requisitos ambientales propuestos en Navarra

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN UNE-EN 12457-4 (mg/kg)

COMPON.	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
As	0,5	2	25	< 0,025	< 0,01	< 0,005	< 0,025	< 0,025	0,0342	< 0,025	0,0267	< 0,025
Ba	20	400	300	0,493	0,291	0,700	0,500	0,456	1,58	0,327	0,330	0,592
Cd	0,04	1	5	< 0,025	< 0,01	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Cr	0,5	10	70	0,126	0,0221	< 0,005	0,139	0,0816	< 0,005	0,133	0,0346	0,327
Cu	2	50	100	0,0679	0,0687	0,00622	0,0723	0,0273	0,0119	0,160	0,0873	0,277
Hg	0,01	0,2	2	< 0,01	< 0,004	< 0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mo	0,5	10	30	0,0459	0,0110	< 0,005	0,0459	0,0271	0,0133	0,0573	0,0461	0,0767
Ni	0,4	10	40	0,190	0,0382	0,0315	0,0823	0,0746	0,0343	0,107	0,0583	0,101
Pb	0,5	10	50	< 0,025	< 0,01	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Sb	0,06	0,7	5	< 0,025	< 0,01	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,005	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Se	0,1	0,5	7	< 0,25	< 0,1	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,25	< 0,1	< 0,1
Zn	4	50	200	0,412	0,0744	0,0659	0,113	0,193	0,0675	0,238	0,122	0,113
Cloruros	800	15000	25000	208	< 10	13,1	39,4	91,2	36,4	213	913	211
Fluoruros	10	150	500	2,83	2,87	< 2	3,74	3,28	4,74	5,37	2,88	3,57
Sulfatos	1000 ²	20000	50000	10800	7340	208	14200	13200	97,7	13800	14900	10500
Índice de fenoles	1	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
COD ³	500	800	1000	56,7	< 20	< 20	66,8	< 20	< 20	109	76,9	121
Sólidos Disueltos ⁴ a 180 °C	4000	60000	100000	20900	11400	780	24200	24100	< 600	23600	27600	19800

¹ Límites para la admisión de residuos inertes, no peligrosos y peligrosos en vertederos según el Real Decreto 646/2020.

² Aunque el residuo no cumpla este valor correspondiente al sulfato, podrá considerarse que cumple los criterios de admisión si la lixiviación no supera ninguno de los siguientes valores: 1500 mg/l en CO con una relación L/S = 0,1 l/kg y 6000 mg/kg con una relación L/S = 10 l/kg. Será necesario utilizar el ensayo de percolación para determinar el valor límite con una relación L/S = 0,1 l/kg en las condiciones iniciales de equilibrio, mientras que el valor con una relación L/S = 10 l/kg se podrá determinar, bien mediante una prueba de lixiviación por lotes, bien mediante un ensayo de percolación en condiciones próximas al equilibrio local.

³ Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg.

⁴ Los valores de sólidos totales disueltos podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

PARÁMETRO	LÍMITES INERTES	LÍMITES NO PELIGROSOS	LÍMITES PELIGROSOS	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Carbono Orgánico Total	30000 ¹	50000	60000	11400	11500	16700	11900	9480	5470	21400	11900	13300
Suma máxima BTEX ²	6	-	-	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos, 16 congéneres) ³	55	-	-	< 8	9,79	< 8	< 8	< 8	< 8	12,1	< 8	< 8
PCBs (Policlorobifenilos, 7 congéneres)	1	-	-	< 0,8	< 0,8	< 0,8	0,822	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Hidrocarburos C10-C40	500	-	-	31,7	71,3	< 25	54,9	< 25	< 25	128	< 25	405

¹ En el caso de la tierra, previa conformidad del órgano ambiental competente de la comunidad autónoma, podrá aplicarse un valor límite más alto siempre que el carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor máximo de 500 mg/kg a L/S= 10 l/kg, bien con el pH propio del residuo o con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

² Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos.

³ Suma de las siguientes sustancias: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno y Pireno.

CONSIDERACIONES DE LA CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

TIPO DE CONFORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Aplicación consolidada (Conformación 1)	Se considera dentro de este grupo a la mezcla del árido reciclado junto a un conglomerante (generalmente, cemento o bituminoso). Sus características deben ser acordes a las exigencias que establezca las normativas vigentes que regulen estos usos.
Aplicación no consolidada bajo cubierta impermeable (Conformación 2)	Se considera “cubierta impermeable” si está hecha de asfalto o mezclas bituminosas (espesor superior a 5 centímetros), gravacemento u hormigón, adoquines unidos por un material adherente o similares, y si tiene en todos los puntos una pendiente mínima del 1%. Incluye usos de no más de tres metros de altura en rellenos y bases de obras viales pavimentadas.
Aplicación no consolidada bajo cubierta permeable (Conformación 3)	Se considera “cubierta” si consta de al menos 30 centímetros de material natural o equivalente y tiene en todos los puntos de su capa externa una pendiente mínima del 5%.
Aplicaciones no ligadas sin recubrimiento (Conformación 4)	Incluye usos sin límite de espesor como capa inferior de pavimento u arcén en estructuras viales pavimentadas o sin pavimentar, relleno técnico relacionado con la infraestructura vial, zanjas, pistas de acceso a obras, pistas forestales, caminos agrícolas, etc., con el compactado pertinente que minimice su permeabilidad.

TIPO USO	CARACTERÍSTICA/MATERIAL	TIPO DE CONFORMACIÓN
Hormigón reciclado	-	1
Explanadas de carreteras	-	2
Firmes de carreteras	Zahorras recicladas	2
	Suelocemento reciclado	1
	Hormigón reciclado	1
Terraplenes de carreteras	Con una capa de coronación revegetada o ejecutada con otros materiales que ayuden a impedir el paso del agua	3
	Sin capa de cobertura que impida en cierta manera el paso del agua.	4
Caminos	Exista una cobertura impermeable como hormigón o adoquines	2
	No existe una cobertura impermeable	4
Carriles de bici	Exista una cobertura impermeable como hormigón o adoquines	2
	No existe una cobertura impermeable	4
Restauración de espacios degradados	Zahorras recicladas en la capa de regularización de la capa impermeable	3
	Material fino de RCD: Encapsulado con una capa de impermeabilización natural de 1 m o artificial de 0,5m con una impermeabilidad equivalente a una $k = 1 \times 10^{-7}$ m/seg y una capa de sellado con vegetación.	3
	Material fino de RCD: No encapsulado. No existe capa de impermeabilización ni de sellado	4

CONSIDERACIONES DEL MEDIO RECEPTOR

CLASIFICACIÓN	CRITERIOS
Zona altamente vulnerable (ZAV)	Zonas situadas en Dominio Público Hidráulico, riberas y márgenes en sus zonas de servidumbre (5m).
	Zonas con el nivel freático a menos de 2 m.
	Zonas situadas cercanas a embalses de abastecimiento situados aguas arriba, a menos de 500 m.
	Zonas donde su intervención pueda afectar a la captación de agua para abastecimiento con un volumen medio diario igual o superior a 10 m ³ o que abastezca a más de 50 personas o se encuentre en el perímetro de protección de aguas minerales y termales aprobado por la legislación vigente, específica, situados a menos de 100 m aguas abajo, o en la dirección del flujo de agua subterránea si se conoce.
Zona vulnerable (ZV)	Zonas con evidencia de peligro de deslizamientos, movimientos en masa o caída de bloques localizados a una distancia ≤ 100m.
	Zonas dentro de los humedales RAMSAR o del inventario de humedales de Navarra.
	Zonas localizadas en áreas de protección natural:
	RENA, la Red de Espacios Naturales Protegidos de Navarra.
	Natura 2000, red creada por la Unión Europea para la conservación de la diversidad biológica.
	Zonas situadas en áreas de inundación de periodo de retorno de 100 años.
Zonas localizadas en Lugares de Interés Geológico.	
Zona no vulnerable (ZNV)	Zonas que no tengan ningún criterio anterior.

TIPO DE ZONA	TIPO DE CONFORMACIÓN DEL MATERIAL			
	CONFORMACIÓN 1	CONFORMACIÓN 2	CONFORMACIÓN 3	CONFORMACIÓN 4
ZAV				
ZV				
ZNV				

LÍMITES PROPUESTOS EN FUNCIÓN DE LA CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

PARÁMETRO (mg/kg)	CONFORMACIÓN 1	CONFORMACIÓN 2	CONFORMACIÓN 3	CONFORMACIÓN 4
Cloruro	No aplica	10000	5000	1000
Fluoruro	No aplica	30	30	13
Sulfato	No aplica	10000	6000	6000
Arsénico (As)	No aplica	0,5	0,5	0,5
Bario (Ba)	No aplica	20	20	20
Cadmio (Cd)	No aplica	0,04	0,04	0,04
Cromo total (Cr tot)	No aplica	0,5	0,5	0,5
Cromo VI (Cr VI)	No aplica	-	-	-
Cobre (Cu)	No aplica	2	2	2
Mercurio (Hg)	No aplica	0,01	0,01	0,01
Molibdeno (Mo)	No aplica	0,5	0,5	0,5
Níquel (Ni)	No aplica	0,4	0,4	0,4
Plomo (Pb)	No aplica	0,5	0,5	0,5
Antimonio (Sb)	No aplica	0,06	0,06	0,06
Selenio (Se)	No aplica	0,1	0,1	0,1
Zinc (Zn)	No aplica	4	4	4
Sólidos totales disueltos (STD) ¹	No aplica	12000	12000	12000
Carbono orgánico disuelto (COD) ²	No aplica	500	500	500
Índice fenol	No aplica	1	1	1
Hidrocarburos aromático policíclico (HAP)	No aplica	50	50	50
Carbono orgánico total (COT)	No aplica	30000	30000	30000
BTEX	No aplica	6	6	6
PCB (Policlorobifenilos, 7 congéneres)	No aplica	1	1	1
Aceite mineral (C10 a C40)	No aplica	500	500	500
Aceite mineral (C10 a C21)	No aplica	-	-	300

¹ Los valores de sólidos totales disueltos (STD) podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

² Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg.



¡MUCHAS GRACIAS!
ESKERRIK ASKO!

Susana Aldaz Goñi
606676619

saldazgo@gan-nik.es

