

Estado del arte tecnológico y normativo de los áridos reciclados

Iñigo Vegas. Jaime Moreno. TECNALIA

Bilbao - 23/06/2020



Áridos Reciclados

Generalidades.



- ~1,4 millón de toneladas de RCD al año en la CAPV (2018).
- ~ 76% recuperación y valorización en 2018.
- Principal salida: árido reciclado hormigón (ARh) y mixto (ARm) para carreteras.
- Primer estudio exhaustivo en 2009: Estudio pre-normativo de AR para su uso en capas de firmes de carreteras.

Código	Componentes principales	ARh	ARm
Rc	Hormigón y mortero	Rc ≥ 50%	
Ru	Áridos sueltos, piedras	Rcug ≥ 90%	Rcug ≥ 70%
Rb	Ladrillos, tejas y cerámicos	Rb ≤ 10%	Rb ≤ 30%
Ra	Materiales bituminosos	Ra ≤ 10%	Ra ≤ 10%
Rg	Vidrio		
X	Otros (tierra, arcilla, metales, madera, yeso, plásticos...)	Rx ≤ 1%	Rx ≤ 1%

Áridos Reciclados

Proceso de valorización.

3 grandes etapas básicas:

1) Tratamiento previo (triaje y machaqueo primario) del material recepcionado



RCD Mezclado

2) Tratamiento de RCD mixtos recibidos libres de impropios voluminosos y compuestos por mezclas de inertes, plásticos, maderas, papeles, metales etc.:

- Alimentación
- Cribado de finos;
- Separación de ligeros por aire;
- Triaje manual;
- Separación magnética.



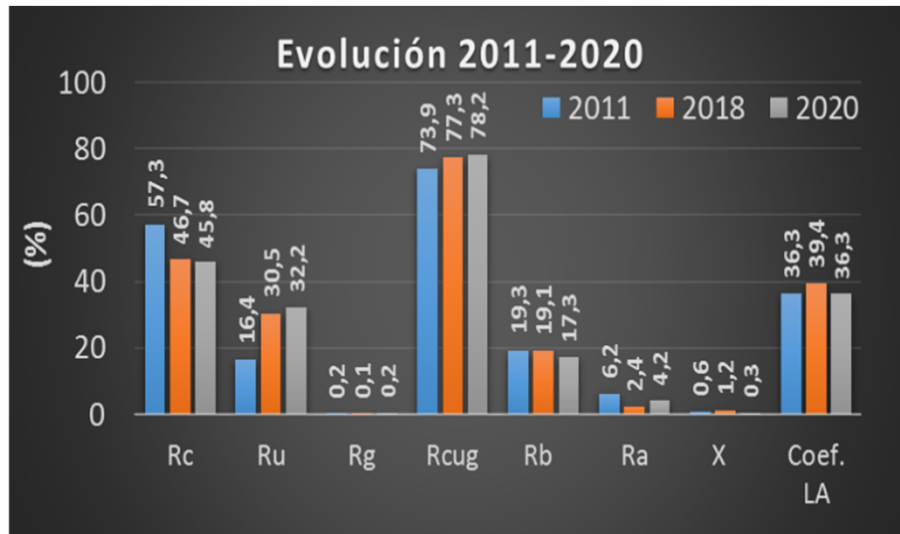
RCD
Hormigón
limpio

3. Tratamiento final mediante separación magnética, machaqueo y cribado, clasificando el material por granulometría y composición



Propiedades Áridos Reciclados

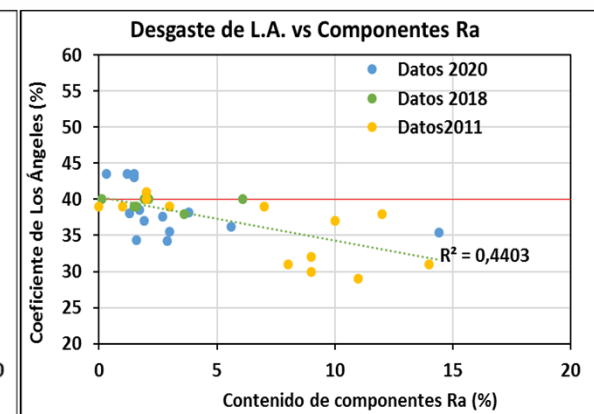
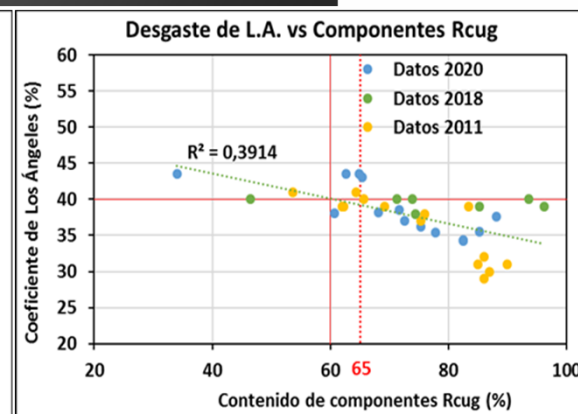
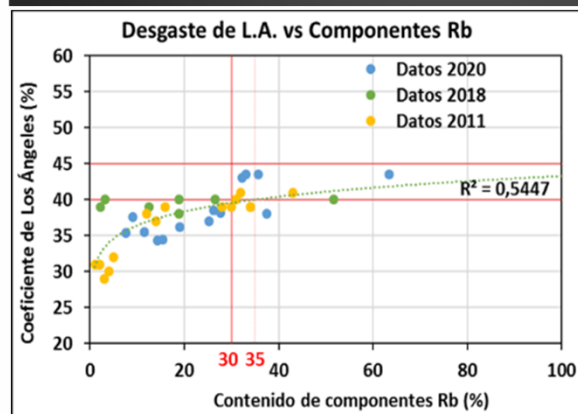
Histórico de composición de los AR mixtos



Tendencia

↓
Cerámico Rb
Hormigón Rc
Impurezas X
Asfalto Ra

↗
Árido natural Ru y Rcug
Coeficiente de LA

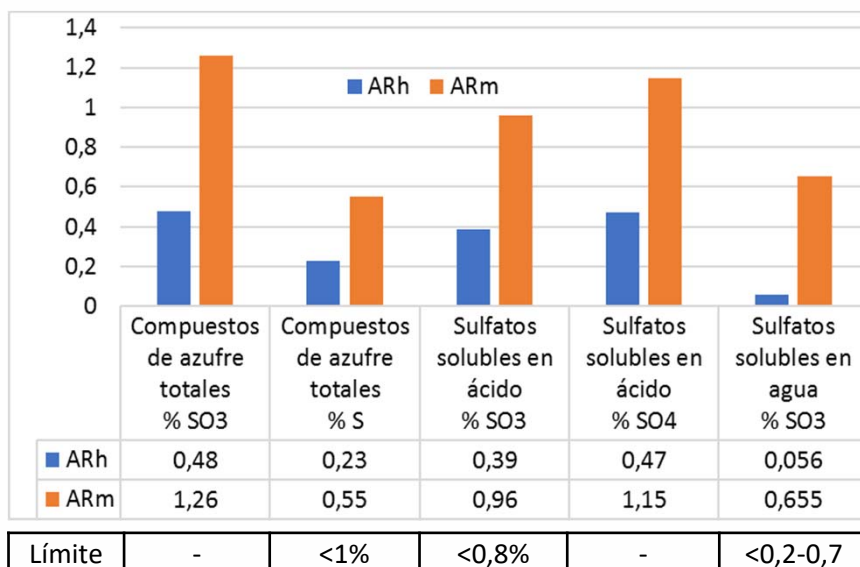
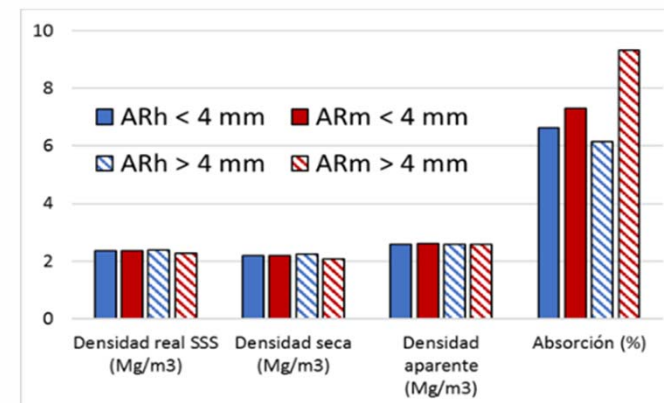


Propiedades Áridos Reciclados

Prestaciones

Índice de lajas	
Promedio ARh	13,9
Promedio ARm	15,4
Promedio	15,0
Límite Cod. Estr.	35
Límite PG-3	30-40

Desgaste de LA	
Promedio ARh	35,4
Promedio ARm	38,9
Promedio	37,2
Límite Cod. Estr.	40
Límite PG-3	30-40



Fortalezas:

- Cumplen prestaciones físicas, mecánicas y químicas en el caso de los ARh para todo tipo de aplicaciones.
- Buen comportamiento mecánico de los ARm por su capacidad cementante.

Parámetros críticos de los ARm:

- Coeficiente LA
- Limpieza del árido (EA)
- Sulfatos, TPH, STD

Tramos reales ejecutados- Áridos Reciclados

Aplicaciones no ligadas

EXPLANADA MEJORADA EJECUTADA CON ÁRIDO RECICLADO: DEL CORREDOR DEL TXORIERRI (2010)



Categoría de tráfico de proyecto resultó ser T00.
35 cm de explanada mejorada realizada con AR.
Uso de **600 toneladas de AR.**

Propiedades mecánicas mejoradas:

- Aumento del índice CBR del 52% entre el 4º y el 28º día
- Módulo dinámico del mismo orden que el árido natural



Tramos reales ejecutados- Áridos Reciclados

Aplicaciones ligadas

Árido reciclado de hormigón y mixto. 50-55t por cada tramo.

Áridos con marcado CE



Fabricación de gravacemento en central. 2t/amasada



Extendido: 25 cm con un sobreespesor del 10%



Prefisuración en fresco cada 3 metros con una profundidad de 2/3 de la capa



Mezclas de gravacemento a partir de AR mixto y AR hormigón (2014).

2 subtramos en calzada en Miramón (Ayuntamiento de Donostia). Capa hidráulica de gravacemento de 7 metros de ancho, 50 metros de largo y 25 cm de espesor.

- Ganancia de capacidad portante debido a la capacidad cementante de los AR.
- Respuesta mecánica (deflexiones) similar al AN.
 - Módulo del mismo orden que el AN.

Compactación alcanzando 98-100% de la densidad máxima del Proctor.



Control de unidad terminada y seguimiento.



Tramos reales ejecutados- Áridos Reciclados

Aplicaciones ligadas – Ejemplos a nivel nacional

Múltiples experiencias de suelocemento y gravacemento ejecutados in situ por vía seca (SACYR, Serviá Cantó, etc.).



Validación técnica.

Mejora de la capacidad portante con contenidos crecientes en Rc.

La humedad de compactación aumenta.



Condiciones necesarias para el éxito

Ejecución y puesta en obra de AR:

Preparación de AR:

- Reducir el coeficiente de limpieza eliminando finos y suelo natural.
- Rebajar al máximo el contenido en yeso para reducir sulfatos y otras impurezas
- Se recomienda aportar la humedad necesaria al AR en planta.
- Disponer de diferentes cortes granulométricos para aplicaciones ligadas
- Control de la calidad y de la trazabilidad. A medio plazo mediante el empleo de herramientas digitales de análisis de calidades in-situ y plataformas de trazabilidad.
- Control del proceso de amasado para minimizar la creación de finos.

Puesta en obra (absorción y naturaleza frágil):

- Parámetros a tener en cuenta: Absorción y naturaleza frágil.
- Utilizar AR pre-saturados (en obra o planta) y añadir la humedad de trabajabilidad en obra.
- Control exhaustivo del espesor y la humedad en el momento de compactación.
- Compactación en un corto plazo para evitar que las mezclas se sequen.
- Dotar de sistema de curado para suelocemento y gravacemento para evitar la pérdida de agua.
- Controlar de forma precisa la compactación para evitar una generación de finos excesiva:
 - Buen comportamiento a compactación con número de pasadas habitual (3-5 dobles).
 - Densidad óptima menor y humedad óptima mayor.
 - Compactación fragmenta las partículas generando más finos y mejorando LA.

Usos permitidos - Áridos Reciclados

Usos permitidos en la CAPV

ARh	>4mm	Hormigón estructural	Código estructural
		Hormigón no estructural	
ARm		Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)	<p>PG-3: - Art. 513. "Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)".</p> <p>Norma de dimensionamiento de firmes de la CAPV: - Anejo 8. "Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)".</p>
		Terraplenes y explanadas mejoradas	<p>PG-3: - Art. 330. "Terraplenes".</p> <p>Norma de dimensionamiento de firmes de la CAPV: - Anejo 6. "Áridos procedentes de residuos de construcción y demolición como suelos seleccionados para terraplenes y explanadas mejoradas".</p>
		Zahorras	<p>PG-3: - Art. 510. "Zahorras".</p> <p>Norma de dimensionamiento de firmes de la CAPV: - Anejo 8. "Áridos procedentes de residuos de construcción y demolición para zahorras."</p>

Áridos Fresados de carretera

Generalidades.

Árido Fresado de carreteras



~80.000 toneladas de árido fresado al año en la CAPV. (1000 t/km // 2500 t./ km. autovía // 400 m3/km)

Principal salida: Mezclas bituminosas calientes, templadas y frías.

→ Grandes limitaciones normativas para su uso.



- Reciclaje marginal → problemas de almacenamiento y vertido.
 - Búsqueda de nuevas aplicaciones: Estudio exhaustivo 2018-2019: Estudio de propiedades de áridos fresados para su uso en mezclas bituminosas y aplicaciones no ligadas en carreteras.
 - Objetivo: ampliar las aplicaciones y usos de esta corriente.

Usos permitidos - Áridos Fresados

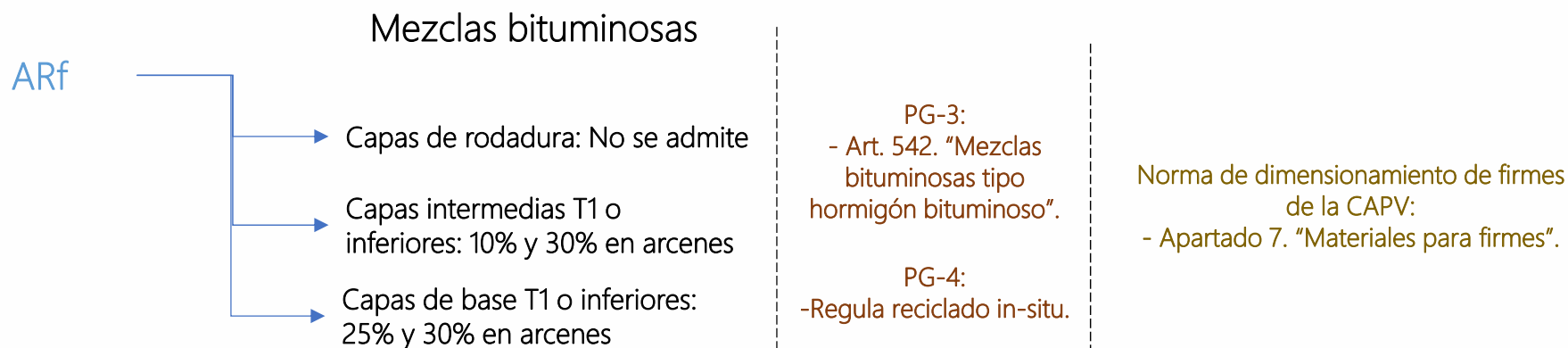
Normativa aplicable y usos permitidos en la CAPV

Marco regulatorio estatal

- PG-3: Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes.
- Orden Circular 40/2017 de Reciclado de Firmes y Pavimentos Bituminosos (PG-4).

Marco regulatorio CAPV

- Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.
- Recomendaciones para el diseño de firmes de vías ciclistas del País Vasco.



Conformidad - Áridos Fresados

Prestaciones

Parámetros físicos y químicos:

Muestra	E.A. (-)	Índice de lajas (%)	CBR	LA (%)	PSV (%)	% S	%SO3 en ácido	%SO3 en agua	%MO
Árido fresado (media)	71	16,5	40	23	50	<0,20	0,11	0,020	2,8
Límite	>40	<20-30	>10-40	<20-30 <35-40	>44-56	<1%	<0,8%	<0,2	<1-5

Parámetros ambientales: Incumplen el valor total de TPH, no obstante las subfracciones estarían dentro de los límites. TPH (mg/kg.m.s) Límite de 500 (Ordem 12.01.15) frente a 4500 de los áridos fresados.

Conformidad

Aplicaciones ligadas:

Categoría de tráfico	T00	T0	T1	T2	T3 y arcenes	T4	Vías ciclistas
Rodadura	LA y PSV	LA y PSV	LA y PSV	LA y PSV			
Intermedia							N.P.
Base							N.P.

Material apto en la mayoría de escenarios.

Parámetro crítico: LA y PSV debido a contaminación de capas inferiores
 → Mejorar operaciones de fresado, trazabilidad y almacenamiento.

Aplicaciones no ligadas:

Técnicamente, los materiales fresados de carreteras cumplen con las especificaciones establecidas por la norma estatal y autonómica para su utilización como zahorras y como suelos seleccionados en terraplenes, explanadas y rellenos localizados.

Ambientalmente, incumplen valor total de TPH pero cumplen con las subfracciones.

Áridos Siderúrgicos

Generalidades.

- Las escorias negras se producen en una proporción que oscila entre 85 y 150 kg/tonelada de acero (en función de la calidad de la chatarra). Actualmente, 400.000t/año en la CAPV.
- Están constituidas, mayoritariamente, por cal, sílice, magnesia, alúmina y óxidos de hierro.
- No presentan propiedades hidráulicas y puzolánicas latentes, por lo que su mayor potencial aprovechamiento reside en su valorización para obtener un material granular denominado como árido siderúrgico para aplicaciones de infraestructura civil y edificación.
- El proceso de valorización de la escoria negra, que da lugar a su transformación en árido siderúrgico, consta de diversas etapas para garantizar su estabilidad volumétrica y tamaño del material granular resultante para su uso comercial en las diferentes aplicaciones.

Áridos Siderúrgicos

Proceso de valorización.



Machaqueo y cribado



Enfriamiento



Fabricación de acero
(Horno eléctrico de arco)



Valorización: riego y volteo

TRAZABILIDAD Y CONTROL DE CALIDAD



- ✓ Caracterización físico-mecánica y química (EHE 08)
- ✓ Control de la expansividad ($\leq 0,3\%$)

Propiedades Áridos Siderúrgicos

Árido siderúrgico



Árido Calizo



(Escala en cm)

- ↑ Resistencia a la fragmentación
- ↑ Densidad (15%-30%)
- ↑ Absorción (x3)
- ↑ Índice de lajas
- ↑ Concavidades e irregularidades en superficie

✓ Volumétricamente estables

✓ Cumplen requisitos áridos EHE 08


→ La expansividad, un parámetro crítico: valores de expansión admisibles variables en función de la aplicación ligada o no ligada.

(Ver Anejo 3 y Guía de aplicación del Decreto de actividades de valorización de escorias negras de fabricación de acero en hornos de arco eléctrico y su utilización como árido siderúrgico)

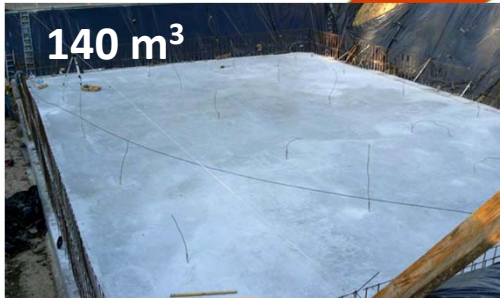
GUÍA DE APLICACIÓN
DEL DECRETO DE ACTIVIDADES
DE VALORIZACIÓN DE ESCORIAS
NEGRAS DE FABRICACIÓN DE ACERO
EN HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO
Y SU UTILIZACIÓN COMO ÁRIDO
SIDERÚRGICO



Tramos reales ejecutados- Áridos Reciclados

- Losa y muros de sótano del edificio  (2008-2010)
- Losa Industrial del Grupo Antzibar (Lazcano)(2010)
- Tramo de acera en Barakaldo (2010)
- Bloques de hormigón en el Puerto de Bilbao (2014-2016)
- Ampliación del muelle de Punta Sollana en el Puerto de Bilbao (2015-2016)

Losa y muros de sotano



2008-2010



Cement: 375kg/m³
7days: 35-40MPa
28 days: ~50MPa (↑ 30-35%)
180 days: ~ 60MPa (↑ 20-25%)

Losa nave industrial Grupo Antzibar (Lazcano)

2010

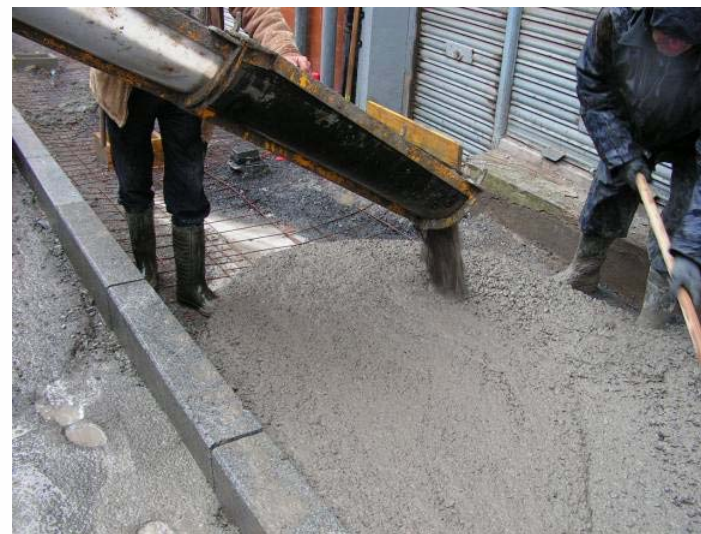


42 m³ hormigón siderúrgico (HA-25/F/25/IIa)

- Cemento: 290 kg/m³
- Resistencia a compresión (7 days): 35MPa

Acera (Barakaldo)

2010



8 m³ hormigón siderúrgico HA-25/F/25/IIa

- Cemento: 290 kg/m³
- Resistencia a compresión: 7d: 29MPa y 28d: ↑↑ 25%

Bloques (Puerto Bilbao)

2014-2016



20.800u of 8t ($3\text{m}^3/\text{u}$)
3.083u of 75t ($28\text{m}^3/\text{u}$)



149.000 m^3

Punta Sollana (Puerto Bilbao)



2015-2016

38.000 m³

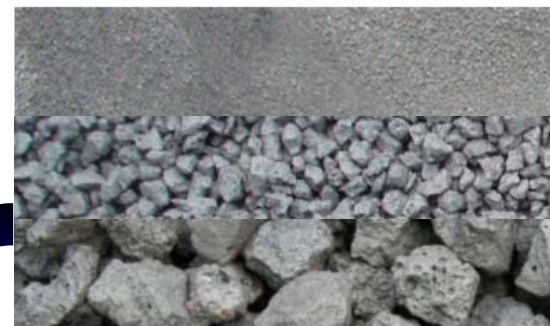
Cement: 300kg/m³

R_{28d}: 40-45MPa

Condiciones necesarias para el éxito

Hormigón siderúrgico.

- ❑ **ÁRIDOS SIDERÚRGICOS:** Trazabilidad y control de calidad., en especial control de la expansión.
- ❑ **AMASADO:** Control de la mayor demanda de agua mediante la combinación sinérgica de aditivos plastificantes, superplastificantes y aireantes. El uso de aireantes permiten, si la aplicación lo requiere, controlar la densidad del hormigón siderúrgico.
- ❑ **DURABILIDAD:**
 - ✓ Suficientemente Impermeables
 - ✓ Excelente comportamiento frente a Hielo/deshielo
 - ✓ Excelente resistencia frente a Carbonatación
 - ✓ Elevada resistencia a Sulfatos



Usos permitidos - Áridos Siderúrgicos

ESCENARIO 1. APLICACIONES LIGADAS

- 1.- Hormigón estructural: Ready mix, Prefabricados de hormigón, Cajones de hormigón para diques portuarios
- 2.- Hormigón no estructural (limpieza, relleno)
- 3.- Hormigón para carreteras: Pavimentos de hormigón, Hormigón magro vibrado
- 4.- Material tratado con cemento: Gravacemento (escoria cemento)
- 5.- Mezclas bituminosas en caliente: Hormigón bituminoso, Mezclas bituminosas para capa de rodadura, Mezclas drenantes y mezclas discontinuas
- 6.- Mezclas bituminosas en frío
- 7.- Tratamientos superficiales con gravilla
- 8.- Morteros

ESCENARIO 2. APLICACIONES NO LIGADAS BAJO COBERTURA NO TOTALMENTE IMPERMEABLE

- 1.- Zonas en talud (espaldones) de terraplenes.
- 2.- Rellenos
- 3.- Sub-balasto de vías férreas
- 4.- Apantallamientos sónicos para estructuras viarias.

ESCENARIO 3. APLICACIONES NO LIGADAS BAJO COBERTURA TOTALMENTE IMPERMEABLE

- 1.- Zahorras artificiales.
- 2.- Bases/subbases de vías peatonales, ciclistas y pistas deportivas.
- 3.- Explanadas mejoradas.
- 4.- Terraplenes, excepto zonas expuestas de talud (incluso cuando tengan coberturas de tierra natural).
- 5.- Zonas en talud (espaldones) de terraplenes.
- 6.- Rellenos
- 7.- Proyectos de urbanización (cubrición de vertederos y en la construcción de pistas provisionales).



www.ihobe.eus
www.ingurumena.eus

Autor-a@ihobe.eus



Anejo 1. Listado de plantas fijas de valorización de RCD

PLANTA DE TRATAMIENTO DE RCD'S	LOCALIZACIÓN
U.T.E. RCD GARDELEGUI 2005	Avda. de Los Olmos nº4, 01013 Vitoria-Gasteiz (Álava)
CONTAINERS SUSPERREGI, S. L.	Polígono Egiburuberrri, Bº Zamalbide, Errenteria (Gipuzkoa)
REDENOR, S. L	Troia ibilbidea 20, nave 7 B6, 20115 Astigarraga (Gipuzkoa)
Bizkaiko Txintxor Berzikategia (BTB)	Bº Orkonera, s/n, 48530 Ortuella (Bizkaia)
VOLBAS, S.L.	Alto de Enekuri, 48950 Erandio (Bizkaia)
Construcciones LASUEN, S. L	Barrio Astola nº 68, 48220 Abadiño (Bizkaia)
JUAN RAMON ANASAGASTI, S. L	Carretera Bermeo-Bakio, 48370 Bermeo (Bizkaia)
EKOTRADE, S.L.	Inaxio Berasarte Bidea, 20115 Astigarraga (Gipuzkoa)
CARLOS SANTAMARIA, S.L.	El Campillar, S/N, 01300 Laguardia-Biasteri (Álava)
GUTRAM S.L.	Camino El Nosedal nº 68, 48530 Ortuella (Bizkaia)

Anejo 2. Listado de plantas fijas de valorización de Árido Siderúrgico

PLANTA DE TRATAMIENTO AS	LOCALIZACIÓN
ELINFE S.L.	Bº Ugarte, 48970 – Basauri, Bizkaia
TRANSPORTES BOMBIN, S.A.	Parque Empresarial Abra Industrial, Parcela 2.2.3.1.B.2, 48500 Abanto, Bizkaia
GRUPO REDENA	Vega de Tapia Kalea, 7, 48903 Barakaldo, Bizkaia
HORMOR	Agotebidea 9, Zestoa, Gipuzkoa

Anejo 3. Usos permitidos – A.S.

	Aplicaciones		Norma	Condición
Escenario 1: APLICACIONES LIGADAS	Hormigón estructural	Ready mix	Artículo 28 de la EHE-08 Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1	Expansión <0,5%
		Prefabricados de hormigón		Expansión <0,3%
		Cajones de hormigón para diques portuarios		Expansión <0,3%
	Hormigón no estructural	Limpieza	Artículo 28 de la EHE-08 Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1	Expansión <0,5%
		Relleno		Expansión <0,5%
	Hormigón para carreteras	Pavimentos de hormigón	Artículo 28 de la EHE-08	
		Hormigón magro vibrado	Artículo 28 de la EHE-08	

Anejo 3. Usos permitidos – A.S.

	Aplicaciones		Norma	Condición
Escenario 1: APLICACIONES LIGADAS	Material tratado con cemento	Gravacemento	Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares	
	Mezclas bituminosas en caliente	Hormigón bituminoso	542 y 543 del PG-3 vigente o, Pliego de prescripciones técnicas particulares Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1 Norma NLT- 361 Norma UNE-EN 1744-1.	Expansión <0,35% (categoría V3,5) IGE <1%. Cal libre <0,5%
		Mezclas bituminosas para capa de rodadura		
		Mezclas drenantes		
		Mezclas discontinuas		
	Mezclas bituminosas en frío			
	Tratamientos superficiales con gravilla		Prescripciones Técnicas exigidas y se declare el origen de los materiales	
Morteros				

Anejo 3. Usos permitidos – A.S.

		Norma	Condiciones particulares
Escenario 2: APLICACIONES NO LIGADAS BAJO COBERTURA NO TOTALMENTE IMPERMEABLE	Zonas en talud (espaldones) de terraplenes		Declaración el origen de los materiales, como establece la legislación comunitaria
	Rellenos	Decreto 64	Relleno en trasdós de muro de contención debe cumplir el artículo 332 del PG3 Nivelación de terrenos y terraplenes debe cumplir expansión <5% según Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1
	Sub-balasto de vías férreas	Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares/2019	El 100% de las partículas retenidas por el tamiz 4, según la norma UNE-EN 933-5:1999, deberán ser procedentes de machaqueo.
	Apantallamientos sónicos para estructuras viarias		Como relleno para formación de diques o taludes de tierra, que irán colocados directamente sobre el terreno natural. Se interpondrá una capa de material granular compactado sobre el árido siderúrgico a modo de "semi" barrera.

Anejo 3. Usos permitidos – A.S.

		Norma	Condiciones particulares
Escenario 3: APLICACIONES NO LIGADAS BAJO COBERTURA TOTALMENTE IMPERMEABLE	Zahorras artificiales	Decreto 64/2019	Expansión <5% según Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1
	Bases/subbases de vías peatonales, ciclistas y pistas deportivas	Declaración el origen de los materiales, como establece la legislación comunitaria	Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes" (PG-3)
	Explanadas mejoradas	Fijación expresa de las condiciones para su tratamiento y	Expansión <5% según Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1
	Terraplenes, excepto zonas expuestas de talud.	aplicación en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares	Expansión <5% según Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1
	Rellenos		Relleno interior de cajones de hormigón cerrados Expansión <5% según Apdo 19.3 de la UNE EN 1744-1
	Proyectos de urbanización (cubrición de vertederos, construcción de pistas provisionales		