



**MASTER PROFESIONAL EN INGENIERÍA Y GESTIÓN
MEDIOAMBIENTAL 2010-2011**

**PROYECTO SOBRE RESÍDUOS: UTILIZACIÓN DE
ESCORIAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS.**

AUTOR: ANA MÉNDEZ PIÑA

TUTOR: MANUEL JOSÉ GÓMEZ GARCÍA

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	pg 3
2. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ESCORIAS Y USOS DE LAS MISMAS.....	pg 5
Escoria de Alto Horno	
Escoria de Acería LD	
Escoria de Horno de Arco Eléctrico	
Escorias del Tratamiento del Cobre	
3. USOS EN ANDALUCÍA EN LA ACTUALIDAD.....	pg 31
Caso de Acerinox, Siderúrgica Sevillana y Atlantic Copper.	
4. REVISIÓN DE LA NORMATIVA.....	pg 38
<i>Ley 22/2011 de Resíduos</i>	
<i>Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Obras para Carretera, PG-3</i>	
<i>Decreto 34/2003, de 18 de febrero, del PAis Vasco</i>	
<i>Decreto 32/2009, de 24 de febrero, sobre la valorización de escorias siderúrgicas, Cataluña.</i>	
5. EJEMPLOS DE USO EN ESPAÑA.....	pg 59
6. ESTUDIO DE CASO EN ESPAÑA Y EN PAISES EUROPEOS.....	pg 64
7. PROPUESTA DE VALORIZACIÓN.....	pg 76
8. CONCLUSIONES.....	pg 78
9. BIBLIOGRAFÍA.....	pg 80
VALORACIÓN DEL PROYECTO.....	pg 82

1.INTRODUCCIÓN:

En el trabajo que se va a desarrollar a continuación, se van a definir y a demostrar el USO DE ESCORIAS COMO SUSTITUTO DE ÁRIDOS.

En primer lugar se definirá el concepto de escoria desde distintas perspectivas y a continuación se describirán los tipos de escorias que se producen en España y sus usos.

Se catalogarán según el Código LER.

Se describirán los casos de 3 empresas andaluzas productoras de escoria y el uso que le dan a este subproducto.

A continuación se revisará la normativa a aplicar donde se desarrolla el uso de estos áridos, y un breve resumen de la nueva Ley de Residuos.

Se hará una propuesta para su valorización, definiendo cómo se puede promover su uso por parte de la Administración, lobbies encontrados sobre su uso y cómo influir en el mercado para que aumente este uso.

En el punto siguiente, se describen varios usos y estudios sobre el uso de las escorias en España.

El punto 6, desarrolla el uso que se le da en Europa a las escorias de hierro y siderúrgicas. Finalmente se dan una serie de conclusiones generales y una mención de la bibliografía utilizada.

DEFINICIÓN DICCIONARIO:

Las escorias son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. Aunque la escoria suele utilizarse como un mecanismo de eliminación de residuos en la fundición del metal, también pueden servir para otros propósitos, como ayudar en el control de la temperatura durante la fundición y minimizar la reoxidación del metal líquido final antes de pasar al molde.

En la naturaleza, los minerales de metales como el hierro, el cobre, el aluminio y otros metales se encuentran en estados impuros, a menudo oxidados y mezclados con silicatos de otros metales.

Durante la fundición, cuando la mena está expuesta a altas temperaturas, estas impurezas se separan del metal fundido y se pueden retirar. La colección de compuestos que se retira es la escoria.

Los procesos de fundición ferrosos y no ferrosos producen distintas escorias. Por ejemplo, la fundición del cobre y el plomo, no ferrosa, está diseñada para eliminar el hierro y la sílice que suelen darse en estos minerales, y se separa en forma de escoria basada en silicato de hierro. Por otro lado, la escoria de las acerías, en las que se produce una fundición ferrosa, se diseña para minimizar la pérdida de hierro y por tanto contiene principalmente calcio, magnesio y aluminio.

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha. A menudo se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga.

DEFINICIÓN DE UNESID (UNIÓN DE EMPRESAS SIDERÚRGICAS)

La escoria siderúrgica es un subproducto generado durante el proceso siderúrgico con unas propiedades específicas que, al ser tratada, lo convierten en un material muy valioso para otros usos, tales como la construcción de carreteras y otras obras públicas. Las escorias siderúrgicas se utilizan igualmente en la fabricación del cemento, así como otras nuevas aplicaciones emergentes, que van desde el tratamiento de aguas hasta la reconstrucción de zonas marítimas para la recuperación de la vegetación marina o los arrecifes de coral.

Subproducto:

Mecanismo que habilita la Directiva Marco de Residuos publicada en 2008 para que una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, pueda ser considerada como subproducto y no como residuo si se cumplen las siguientes condiciones: es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente; la sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal; la sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción; y el uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y no producirá impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.

TIPIFICACIÓN ESCORIA: EN EL CATALOGO DE RESIDUOS (CÓDIGO LER)

Las escorias están incluidas en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 10 correspondiente a “Residuos inorgánicos de procesos térmicos” con el siguiente código:

10 02 Resúdos de la industria del hierro y del acero:

10 02 01 Resúdos del tratamiento de escorias

10 02 02 Escorias no tratadas

En el presente estudio se describirán los distintos tipos de escorias que se producen en nuestro país.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ESCORIAS Y USOS DE LAS MISMAS:

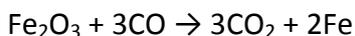
TIPOS DE ESCORIA.

A) ESCORIA DE HORNO ALTO (BLAST FURNACE SLAG):

1. ORIGEN:

Dentro de una fábrica de siderurgia integral (planta industrial dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro), el horno alto es la instalación base para la obtención de arrabio, el cual, a su vez constituye la materia prima para la fabricación de acero. El horno alto es un horno de cuba en el que se introduce un gas reductor a presión (generalmente CO) por la parte inferior, y una carga de materia constituida por minerales de hierro, coque y fundentes por la parte superior, separándose dos productos: el hierro y las impurezas con los fundentes (ESCORIA PRIMARIA), que van evolucionando en su composición hasta llegar a la parte baja del horno (crisol), formándose los dos productos finales: arrabio y escoria

Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0,5 y 3% de silicio, del 0,25% al 2,5% de manganeso, del 0,04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre.

La escoria que sale por la piquera del alto horno a una temperatura cercana a 1500 °C, puede ser sometida a distintas técnicas de enfriamiento, obteniéndose materiales con características de utilización claramente diferenciadas: escoria cristalizada, escoria vitrificada (granulada o peletizada) y escoria dilatada.

Volumen y distribución:

Los únicos altos hornos existentes en España se encuentran en Gijón (Asturias)



Producción de arrabio (año 2005)	Producción total de escorias	Consumo de escorias	% Utilizado
4.187.000 t	1.283.000 t	Escorias granuladas: 614.000 t	48%
		Escorias cristalizadas: 669.000 t	52%

En la actualidad se utilizan casi la totalidad de escorias que se producen (desde la creación de la empresa EDESA que las comercializa y realiza los distintos tratamientos).

Valorización:

La composición química de la escoria fundida de alto horno es la siguiente

TABLA: COMPOSICIÓN QUÍMICA ESCORIAS DE ALTO HORNO

Ca O	38 – 42 %
SiO ₂	32 – 37 %
MgO	7 – 9 %
Al ₂ O ₃	10 – 14 %
S	<1 %
Fe O	0,4 – 0,8 %

Mn O	0,2 – 0,6 %
TiO ₂	0,3 – 0,5 %
Índice de basicidad (Ib)	≤ 1,2 %
Índice basicidad simple (Ibs)	≤ 1,3 %
Producción de escoria arrabio	306 kg/t de arrabio

Procesamiento:

Dependiendo del tipo de enfriamiento que va a tener la escoria que sale por la piqueta del horno, se van a obtener materiales con características de utilización claramente diferenciadas.

Escoria cristalizada: se obtiene por enfriamiento lento de la escoria líquida en grandes fosos. La materia cristaliza formando distintos componentes quedando únicamente una pequeña parte de ella en estado vítreo. Una vez enfriada, la escoria se transporta mediante camiones a la planta de trituración y cribado para su preparación en las granulometrías adecuadas.



ESCORIA CRISTALIZADA

Propiedades de la escoria cristalizada:

Físicas: material pétreo de características similares a las rocas ígneas de origen volcánico. Material de gran porosidad (que favorece el drenaje y la reactividad química). De textura rugosa.

Químicas: constituidas en un 95% por los siguientes óxidos: cal, sílice, alúmina y magnesia. Para la escoria procedente de un determinado horno, la composición es bastante constante con el tiempo. La principal característica a tener en cuenta es la denominada INESTABILIDAD debida al disilicato de calcio (este compuesto no se forma en cantidades significativas si la relación entre CaO y MgO a SiO₂ permanece por debajo de ciertos límites., y la inestabilidad debida a la reacción de los compuestos de

hierro. Habrá que tener definidos estos parámetros para el uso que se la vaya a dar a la escoria.

Mecánicas: es un material con una gran estabilidad mecánica, facilidad de compactación y excelente comportamiento drenante.

Características de la Escoria Clasificada ZA-25 de EDERSA: se utilizan para bases y sub-bases de carreteras



Escoria clasificada 60/110 EDERSA:

Se utiliza como material drenante y en la industria del vidrio y los aislantes térmicos



Aplicaciones escorias cristalizadas:

Obras de tierra y terraplenes:

Mismos criterios que en la aplicación de material convencional. Podría ser necesario algún tipo de machaqueo primario. Tratamiento caro debido a la gran dureza de este material.

Para este caso, el uso de las escorias estaría desaprovechado por sus buenas características mecánicas, que la hacen más adecuadas para usos en firmes.

Carreteras:

La escoria cristalizada de horno alto es un material que puede utilizarse como *árido artificial en la construcción de carreteras*. La principal ventaja de la utilización de estas escorias se deriva de la gran cantidad de poros internos que poseen, que les confieren una gran permeabilidad, por lo que es un material muy adecuado para la construcción de capas granulares de subbase o drenantes.

Su principal desventaja es su baja resistencia a la fragmentación que hace que se tienda a no utilizarlas en capas que reciban fuertes sollicitaciones de tráfico, prefiriéndose su uso en capas inferiores del firme. En ciertas ocasiones y dependiendo de la composición química de la escoria, pueden producirse fenómenos de descomposición, falta de durabilidad y de expansión que lleguen a arruinar las obras. Para solventar estos problemas, se imponen especificaciones adicionales en la normativa europea sobre uso de áridos en carreteras que tienen en cuenta estas composiciones.

Otra aplicación es como *árido en capas tratadas con conglomerantes*, y en los que presenta ventajas frente a materiales de cantera o gravera, en los que cualquier exceso de agua de amasado puede originar acolchamiento en la compactación. Un ejemplo de esta utilización es el material “todo escoria”, en el que se emplea la escoria cristalizada machacada como *árido de granulometría continua y densa* y la escoria granulada (que veremos a continuación, también procedente de alto horno) como conglomerante o unión. Sus campos de aplicación son en bases y subbases en carreteras, arcenes y refuerzos de firmes.

Edificación y obra pública:

Árido para hormigón:

La escoria cristalizada se puede utilizar como *árido* tanto para la fabricación de hormigones como de morteros. Para este uso, se tiene que comprobar que las escorias cristalizadas carecen de compuestos que afecten a la estabilidad de volumen.

La instrucción de hormigón estructural, EHE, permite la utilización de escorias siderúrgicas apropiadas, siempre y cuando se compruebe previamente que so estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos.

Este caso se ampliará en el capítulo referente a normativas.

ESCORIA GRANULADA

La escoria granulada se obtiene por enfriamiento brusco de la escoria líquida, dejándola caer sobre un potente chorro de agua fría, de forma que expanda y sirviendo el propio chorro como vehículo de transporte hasta las balsas de

decantación. Este proceso se denomina granulación, porque la escoria se descompone en pequeñas partículas más o menos alveolares con aristas cortantes, obteniéndose un producto similar a una arena. La granulación vitrifica la escoria, convirtiéndola en un sólido cuyas moléculas no han tenido tiempo de orientarse al estado cristalino por la rapidez del enfriamiento.



Foto: escoria granulada

Propiedades de la escoria granulada:

Propiedades físicas: se presentan como una arena 0/6 mm. Para su empleo en la industria del cemento (empleo principal) se debe secar y posteriormente moler hasta obtener una finura similar a la del cemento Portland.

Propiedades químicas:

La composición química de la escoria granulada es idéntica a la de la escoria cristalizada, al obtenerse la escoria granulada por enfriamiento brusco de la misma escoria líquida con agua a presión.

La escoria granulada, al conservar su calor de cristalización, tiene una gran riqueza energética y una hidraulicidad latente que permite formar, en contacto con el agua, una serie de productos hidratados que cristalizan dando origen a un cuerpo sólido y estable frente a la acción del agua.

Aplicaciones escorias granuladas:

Fabricación de cemento:

Una de las aplicaciones más extendidas de la escoria granulada es la fabricación de cemento.

Según la norma UNE-EN 197-1(14), las escorias de horno alto deben cumplir las siguientes condiciones:

Deben estar constituidas, al menos en dos tercios de su masa, por fase vítrea.

Así mismo deben estar compuestas, al menos en dos tercios de su masa, por CaO, MgO y SiO₂. El resto debe estar formado por compuestos de óxido aluminico (Al₂O₃) y pequeñas cantidades de otros óxidos.

La relación (CaO% + MgO%) / SiO₂% debe ser mayor que 1.

Uso como componente en la fabricación de cemento:

Una vez producida la escoria granulada, para su empleo en la industria del cemento (empleo principal) se debe secar y posteriormente moler hasta obtener una finura similar a la del cemento Portland. Las escorias se secan al llegar a fábrica en tambores rotatorios. El molido se lleva a cabo, junto con el clinker y el yeso, para la producción de cemento y de forma aislada para las escorias de adición al hormigón. Se realiza en molinos de bolas, prensas de rodillos o con un sistema combinado de molino y prensa. El molino de bolas consiste en un tambor de acero, horizontal y giratorio que contiene una carga muy importante de bolas de acero con un tamaño entre 25 y 50 mm, posteriormente, el material molido es arrastrado por una corriente de aire, cuya velocidad regulable, permite que el tamaño de las partículas extraídas sea mayor o menor.

En España estos cementos se clasifican, en función del contenido de escoria en:

Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	6 a 20%
	CEM II/B-S	21 a 35%
Cemento Portland mixto	CEM II/A-M	6 a 20%
	CEM II/B-M	21 a 35%
Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	36 a 65%
	CEM III/B	66 a 80%
	CEM III/C	81 a 95%
Cemento compuesto	CEM V/A	18 a 30%
	CEM V/B	31 a 50%
Cementos para usos especiales	ESP VI-1	45 a 75%

TABLA: Tipos de cementos con escorias

Adición al hormigón:

No están permitidas como adición para al hormigón según EHE, aunque existen una serie de normas UNE experimentales sobre recomendaciones a uso de escorias granuladas utilizadas en fabricación de hormigones y morteros fabricados con cementos portland tipo I (sin adiciones).

Como regla general, el uso de escorias molidas como adición al hormigón, mejora la trabajabilidad y condiciones de puesta en obra respecto al hormigón que no las incorpora, permitiendo una mejor compactación. Así mismo, se incrementa el plazo de trabajabilidad de la mezcla al aumentar el tiempo de principio de fraguado, aproximadamente 1,5 horas.

Además, la adición de escorias mejora la resistencia de los hormigones frente a los ataques causados por agentes y medios agresivos externos (sulfatos, cloruros, carbonatación, etc.).

Mencionar otro tipo de escorias de alto horno según la forma de obtención: (no he encontrado usos, por lo que sólo las menciono):

Escoria peletizada:

Se obtiene dejando caer la escoria fundida sobre un tambor giratorio, regado con agua, que lanza la escoria al aire, formando una pila al caer al suelo. Mediante los oportunos ajustes en los equipos de peletización (velocidad del tambor, relación agua/escoria, etc.) es posible controlar las proporciones producidas de los tamaños de partículas, así como su grado de vitrificación.

Escoria expandida:

Se obtiene añadiendo a la escoria fundida una pequeña cantidad de agua. El vapor producido por el contacto del agua con la escoria, produce una espuma plástica que, una vez enfriada y tras un proceso de machaqueo, proporciona un árido ligero de estructura celular.

Por esta baja densidad se utiliza como árido en bloques de hormigón ligero y en estructuras de hormigón ligeras.

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES:

Las escorias de horno alto vienen incluidas en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 10 correspondiente a “Residuos inorgánicos de procesos térmicos” con el siguiente código:

10 02 Residuos de la industria del hierro y el acero

10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias, y están caracterizadas como residuos no peligrosos

10 02 02 Escorias no tratadas, y están caracterizadas como residuos no peligrosos

Ventajas del uso de escorias de alto horno:

Disminución parcial o total del volumen de los residuos existentes en las escombreras, liberando el terreno ocupado por los acopios para otros usos.

La valorización de residuos y materias primas secundarias mediante su empleo en la construcción contribuye a la conservación de los recursos naturales.

Ahorro energético y reducción de las emisiones a la atmósfera generadas en el proceso de fabricación del cemento.

Disminución de las materias primas utilizadas para la fabricación de cemento.

Obtención de cementos y hormigones de características mejoradas para determinadas aplicaciones.

Disminución de las emisiones de gases con efecto invernadero (CO₂): la utilización de escoria de Alto Horno granulada para la fabricación de cemento puede reducir hasta 700 kg de CO₂ por tonelada de cemento fabricado

5.- ASPECTOS ECONÓMICOS

Aunque el precio de las escorias puede ser muy variable, según algunas bases de datos de precios de la construcción, en el año 2007 éste osciló entre 70-90 euros/tonelada .

A continuación se muestran algunos precios de los cementos en los que se utilizan escorias granuladas, junto con el precio del cemento común sin adiciones CEM I del año 2007.

Tabla: Precios de distintos cementos que incorporan escorias granuladas

	TIPO DE CEMENTO	%EN ESCORIAS GRANULADAS	PRECIO
Cemento Pórtland común	CEM I	0%	104,05
Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	6 a 20%	100,31
	CEM II/B-S	21 a 35%	-
Cemento de horno alto	CEM III/A	36 a 65%	116,36
	CEM III/B	66 a 80%	116,36
	CEM III/C	81a 95%	-

B) ESCORIA DE ACERIA LD (BASIC OXIGEN FURNACE SLAGS- BOF SLAGS-)



Origen:

Las escorias de acería LD se originan en el proceso de afinado del arrabio obtenido en el alto horno, eliminándose por oxidación, en todo o en parte, las impurezas existentes.

En el procedimiento Linz-Donawitz (LD) para la transformación de la fundición de hierro procedente del horno alto en acero, el afino se lleva a cabo inyectando oxígeno a presión en el baño que contiene las materias primas y las adiciones para la formación de escoria (fundamentalmente cal, dolomía y espato). El oxígeno, se insufla mediante una lanza refrigerada hasta conseguir eliminar del arrabio el exceso de carbono y las impurezas que lo acompañan. El carbono se elimina por oxidación en forma de gas (CO y CO₂) y el resto de impurezas en forma de escoria semipastosa que sobrenada por encima del acero, lo que permite separarla de este y enviarla a un foso donde se riega hasta alcanzar temperaturas inferiores a 50°C.

La escoria tiene, por tanto, como misión fundamental atrapar las impurezas, principalmente fósforo y azufre.

Finalizada la operación, el acero colado es transportado para su completo afinado y ajuste de composición química y temperatura. En estas operaciones finales se añaden las ferroaleaciones (manganeso, cromo, níquel, etc.), según el acero que se quiera fabricar.

Procesamiento:

La escoria, que se encuentra en forma semipastosa sobrenadando por encima de acero, se separa de éste y se envía a un foso, donde se riega hasta alcanzar temperaturas inferiores a 50°C, y se transporta a la planta de procesado. Allí se separan, mediante electroimanes, las chatarras superiores a 80 mm, pasando el material restante a la instalación de machaqueo. Mediante machacadoras de

mandíbulas y molinos de conos se reducen a tamaños inferiores a 50 mm. De esta escoria se elimina de nuevo el hierro mediante electroimanes y se clasifica en distintos tamaños. El procesado se completa, en su caso, con el envejecimiento de la escoria en parque, regándola con agua para conseguir hidratar los elementos inestables.

Volumen y distribución:

Los únicos hornos altos en nuestro país se encuentran en Gijón (Asturias) y pertenecen a ARCELOR ESPAÑA, S.A., que es también la propietaria de las dos acerías de tipo LD existentes, localizadas en Avilés y Gijón. La producción total de escorias de acería LD durante el año 2.005 se estimó en 585.000 t, de las cuales 485.000 t corresponden a la acería LD de Avilés y 100.000 t a la de Gijón.

Valorización:

Propiedades:

Propiedades Físicas:

La escoria de acería LD es un material de tipo granular, de color gris claro en estado seco que tiene una cierta porosidad y textura rugosa. Las partículas tienen forma cúbica, con escasa presencia de lascas.

La escoria de acería LD se caracteriza por ser un árido muy limpio, pesado, anguloso, poco pulimentable y de gran dureza.

Propiedades químicas:

La escoria de acería LD tiene una composición química muy diferente de la de las escorias de alto horno; en particular, contiene menos alúmina y sílice y bastante más cal, una parte de ella en forma libre; además, contiene una importante proporción de óxidos de hierro. El contenido en CaO está comprendido entre el 45 y 50%, siendo ésta, quizá, la propiedad química más importante desde el punto de vista de su utilización en la construcción de carreteras, pues hace que las escorias presenten alta higroscopicidad, lo que favorece la hidratación de la cal y su posterior expansión. Las escorias de acería contienen más hierro, tanto en su forma libre como combinada en óxidos, que las escorias de alto horno, lo que incrementa la densidad de este material. Por el contrario, el contenido de azufre total es bajo. El pH de las escorias de acería LD es alcalino. Desde el punto de vista mineralógico las escorias LD presenta en su composición diferentes fases: silicatos bi, tricálcico, la wustita combinación de óxido de hierro, manganeso (FeO y MnO), ferrito bicálcico y cal, más o menos impregnada de óxidos metálicos, responsable de la presencia de cal libre.

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe TOTAL	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Mo	As	Cd	B
48,00	16,00	1,20	5,20	16,04	5,90	0,20	0,50	0,03	0,08	<1 ppm	< 0,5 ppm	0,17

Tabla: Composición química media de la escoria de acería LD

Inestabilidad volumétrica

La presencia en la escoria de cal libre, y de magnesia en menor medida, constituye un factor potencial de inestabilidad. Estos óxidos tienden a hidratarse desprendiendo calor y produciendo un hinchamiento que puede provocar la disgregación del material, evolucionando la granulometría de la escoria hacia tamaños más pequeños. Este fenómeno puede producirse en el transcurso de pocas semanas o de varios meses, según se produzca la hidratación de la cal o magnesia libre.

El procedimiento más utilizado para reducir al mínimo los fenómenos de inestabilidad volumétrica es el de envejecer la escoria en parte, machacada y en su estado final, regándola con agua natural, salada, acidulada o agua caliente para conseguir hidratar los elementos inestables. Se ha comprobado que el envejecimiento al aire sin riego de agua no ofrece garantías y que los montones deben tener una altura máxima de 1,5 – 2 m.

El contenido de la cal libre puede variar para distintas escorias entre el 1% y el 15%. Los límites por debajo de los cuales puede considerarse segura la utilización de la escoria dependen de para qué se vaya a emplear. Si se utiliza en capas granulares, los límites oscilan, según los países, entre el 4% y el 7%; para aplicaciones en capas bituminosas, en las que los áridos quedan impermeabilizados por una película de betún, algunos países permiten el empleo de escoria sea cual sea el contenido de cal.

Es muy importante poder caracterizar en laboratorio las escorias de acería en relación con su posible expansión. El año 1990, el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX puso a punto la norma NLT-361/91, “Determinación del grado de envejecimiento en escorias de acería”

Propiedades mecánicas:

Las escorias de acería tienen muy buena angulosidad y una elevada dureza (6-7 en la escala de Mohs), así como una elevada resistencia al corte y a la abrasión

APLICACIONES

Las escorias de acería LD están siendo utilizadas en nuestro país y en otros países con acerías como: Alemania, Austria, Bélgica, Canadá, Francia, Inglaterra, Japón y USA. En Japón, la tasa de reciclado es cercana al 100% (fuente: Nippon Slag Association)

Las aplicaciones más importantes de la escoria de acería LD son en agricultura y en obra civil como árido de calidad.

Obras de tierra y terraplenes

El escombros de acería LD se utiliza en la construcción de rellenos y terraplenes.

Carreteras

En la técnica de carreteras, las escorias de acerías LD se utilizan como áridos para bases y subbases granulares, mezclas bituminosas, lechadas o tratamiento superficiales. Este material no debe emplearse en capas tratadas con conglomerantes hidráulicos o en aplicaciones donde vaya rígidamente confinado en las que pequeñas expansiones producirán deterioros importantes.

En su aplicación como árido en capas granulares, y especialmente en bases de carreteras, debe someterse el material a un proceso de envejecimiento previo, con la granulometría con la que vaya a ser empleado, de forma que el contenido de cal libre no rebase un porcentaje entre el 4% y 5%; antes de su utilización deberá controlarse la estabilidad volumétrica de la escoria mediante un ensayo de hinchamiento.

La aplicación más clara en la técnica de carreteras es como *árido en capas de rodadura en mezclas bituminosas o tratamientos superficiales*, donde no sólo saca el mayor partido a su gran dureza y alto coeficiente de pulimento acelerado, sino que el riesgo de desperfectos por expansión se reduce sensiblemente. El proceso de dosificación en laboratorios de las mezclas bituminosas con escorias, así como su fabricación y puesta en obra, es análogo al de las mezclas convencionales. No obstante, se pueden resaltar varios aspectos que las diferencia.

Las mezclas bituminosas fabricadas con estos áridos han demostrado que su adhesividad al ligante es buena (superior al obtenido generalmente con áridos silíceos), el coeficiente de resistencia al deslizamiento se conserva mejor que en otros áridos y la resistencia mecánica de las mezclas es superior a la obtenida con los áridos silíceos de referencia.

El elevado peso específico de las partículas hace que la incidencia del transporte en la unidad terminada sea mayor que en las mezclas convencionales. Este problema, así como una cierta dificultad de compactación, puede reducirse en gran parte utilizando únicamente una porción de árido de acería en la granulometría final, especialmente los

áridos más gruesos que son que más contribuyen a dotar de esqueleto mineral a la mezcla y proporcionan microtextura para la mejora de la resistencia al deslizamiento en capas de rodadura.

Debido al elevado peso específico de la escoria de acería, hay que adoptar precauciones a la hora de dosificar el porcentaje de betún en las mezclas, siendo recomendable, para poder comparar dosificaciones, referirlas a porcentaje sobre volumen de áridos.

La mayor porosidad de las escorias respecto a los áridos convencionales hace que para conseguir unos contenidos adecuados de huecos en mezcla se deba ir a una dosificación superior de ligante que en la mezcla de referencia.

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES:

Las escorias LD que son sometidas a los tratamientos de enfriamiento y recuperación magnética, pero que no se reciclan internamente en las instalaciones productoras o no se procede a su comercialización, tienen la consideración en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 10 correspondiente a “Residuos de procesos térmicos” en el subapartado 10 02 correspondiente a “Residuos de la industria del hierro y del acero”, con el siguiente código:

10 02 01 “Residuos del tratamiento de escorias” y están caracterizados como residuos no peligroso

Ventajas:

Las escorias de acerías LD están compuestas principalmente por Ca, Si, Fe, Mg y Mn junto con cantidades menores de otros elementos. No están presentes en las escorias producidas en España cantidades representativas de elementos considerados como nocivos en las legislaciones ambientales, como el arsénico, el cadmio, el cobalto y el mercurio

En nuestro país existe una amplia experiencia en la utilización de la escoria de acería LD como corrector de suelos de cultivos. La escoria no solo es capaz de aportar una serie de micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas sino que también mejora la densidad, porosidad y permeabilidad de los suelos.

Ejemplo de uso de escoria como corrector de suelo:

Realizada en el *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas* (CENIM: es un Centro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), perteneciente al Área de Ciencia y Tecnología de Materiales). El CENIM realiza labores en el campo general de la

Metalurgia de carácter científico prioritariamente aunque tiene también una componente de desarrollo tecnológico y de cooperación con la Industria y Centros Tecnológicos. De esta manera, la investigación básica se une a desarrollos innovadores de materiales y de procesos con el objetivo de obtener nuevos materiales metálicos con mejores propiedades.

Uno de los programas de mayor repercusión fue la aplicación en agricultura de las escorias siderúrgicas. Los resultados obtenidos permitían aumentar la producción agrícola y la calidad de las cosechas, debido a que la escoria no sólo era capaz de modificar el pH del suelo, sino que, además, aportaba una serie de micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

El aprovechamiento de las escorias LD, produce un ahorro importante de otros recursos naturales que serían necesarios para las distintas aplicaciones a las cuales se destina.

La escorias es producida simultáneamente con el acero, y permitir su aprovechamiento evita la Gestión de las mismas por otro medio, como por ejemplo, destino vertedero.

Inconvenientes:

Los lixiviados de las escorias de acerías pueden llegar a tener un pH superior a 11. No obstante si se usa en áreas en contacto con aguas de flujo lento o estancadas, se debe airear el agua para evitar que debido al pH de la escoria, pueda afectar a la fauna y la flora. En otros casos, no se ve afectado por su uso.

En la bibliografía técnica se han recogido casos de obstrucción de tuberías del sistema de drenaje del firme, al precipitarse el carbonato cálcico procedente de la combinación de los lixiviados de la escoria con el dióxido de carbono del aire.

Las escorias de acería, especialmente las producidas en el procedimiento basado en el empleo de oxígeno, tienen cal libre (CaO) y magnesia (MgO). Estos óxidos pueden reaccionar con el agua y formar hidróxidos en una reacción expansiva. La expansibilidad hidráulica de las escorias de acería es más frecuente que la que puede producirse en las escorias de alto horno por la presencia de sulfatos solubles. La primera expansión en el tiempo corresponde a la hidratación de la cal, y tiene lugar en el plazo de semanas, mientras que la hidratación del óxido de magnesio se efectúa a más largo plazo, y después de la anterior. Para reducir el riesgo de expansión de las escorias de acería, en EE.UU. se recomienda una maduración o envejecimiento de entre 3 y 12 meses. A este respecto conviene señalar que, en nuestro país, la práctica habitual con las escorias 5/10 y 10/20 es regar con agua y dejar madurar de 3 a 6 meses.

C) ESCORIA DE ACERÍA DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (ELECTRIC ARC FURNACE SLAGS- EAF SLAGS-)



Origen:

El proceso de fabricación del acero, tanto común como especial, en las acerías de horno de arco eléctrico se compone de dos etapas: una primera denominada metalurgia primaria o fusión, donde se produce la fusión de las materias primas que se realiza en hornos de arco eléctrico, y la segunda, denominada metalurgia secundaria o afino del baño fundido, que se inicia en el horno eléctrico y finaliza en el horno cuchara.

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno de arco eléctrico es la chatarra de hierro dulce o acero. Como elementos auxiliares se pueden cargar también pequeñas cantidades de fundición, de mineral de hierro y de ferroaleaciones.

La etapa de fusión incluye una serie de fases como la oxidación, dirigida a eliminar impurezas de manganeso y silicio, la defosforación y la formación de escoria espumante en la que se acumulan todas las impurezas. Al final de todas estas fases se extraen las **escorias negras**.

La etapa de afino incluye la desoxidación, que permite eliminar los óxidos metálicos del baño, la desulfuración y la descarburación del acero. El líquido fundido procedente del horno eléctrico se alimenta al horno-cuchara, se cubre con una escoria que se denomina escoria blanca y se agita continuamente con el soplado de gas inerte, normalmente argón. La escoria blanca permite la reducción de los óxidos metálicos presentes en el baño, durante la denominada fase de desoxidación. Paralelamente se realiza la desulfuración del líquido fundido, que se produce por simple contacto con la cal existente en la **escoria blanca**.

Volumen y distribución:

En España funcionan actualmente 24 acerías de horno eléctrico de arco (14 de ellas en el País Vasco), que produjeron en el año 2005 un total de 13,6 Mt de acero de las cuales:

Acero común o especial 12.420.000 t

Acero inoxidable..... ..1.103.000 t

con el siguiente reparto por comunidades (en el año 2005):

País Vasco 45,6%

Cataluña- Aragón 17,6%

Andalucía 11,9%

Galicia-Castilla León-Extremadura 10,1%

Cantabria8,6%

Madrid6,3%

Considerando la generación de escorias que se producen por tonelada de acero se obtienen las siguientes cantidades anuales de escorias de acerías de acero común o especial (UNESID año 2005)

12.420	Generación de escoria kg/t de acero		Producción de escorias(10 ³ t)
	Escoria negra	110-150	1.614.600
Escoria blanca	20-30	372.600	

Valorización:

Propiedades:

ESCORIAS NEGRAS:

Mediante el proceso de fusión en el horno de arco eléctrico se obtiene acero líquido y, nadando sobre su superficie, escoria negra, que se extrae por una de las puertas del horno.

La composición química de la escoria está condicionada por el tipo de chatarra utilizada, el control de las variables de operación, etc. Pueden considerarse como representativos los porcentajes siguientes:

Ca O (27-37 %)

Si O₂ (11-25%)

Fe O (3-25%)

Fe₂O₃ (2-22%)

Mg O (4-11%)

Cr₂ O₃ (0.6-4%)

Ti O₂(0.25- 1.6%)

Procesamiento para la obtención de escorias negras:

Los áridos procedentes de las escorias negras de acerías de hornos de arco eléctrico tienen una elevada densidad relativa, entre 3,3 y 3,8, muy por encima de la de los áridos naturales. Esta diferencia hay que tenerla en cuenta en las dosificaciones y al considerar los costes de transporte.

Debido a la presencia de óxidos de cal y magnesio libre en su composición, las escorias negras de acería tienen naturaleza expansiva. La cal libre se hidrata rápidamente y puede originar grandes cambios de volumen en pocas semanas, mientras que la hidratación del magnesio se produce mucho más lentamente.

Los lixiviados de estas escorias pueden tener un pH superior a 11, y por tanto, presentar problemas de corrosión en las tuberías de aluminio y acero que se coloquen en contacto directo con ellas.

Aplicaciones escorias negras:

Firmes de carreteras:

Las escorias negras, adecuadamente tratadas, cumplen con creces, generalmente, las especificaciones técnicas que exigen los pliegos de carreteras para áridos de capas granulares en coronación de explanadas, subbases y bases de carreteras. Tienen latente el riesgo de expansión y de hinchamiento, por lo que es muy importante evaluar su potencial expansivo y limitar su uso cuando sobrepase los valores establecidos. Debido a su porosidad, su angulosidad, y a la falta de finos, las escorias pueden resultar incómodas de extender y compactar, por lo que suelen combinarse con otros áridos para mejorar estos aspectos.

No deben utilizarse nunca en capas estabilizadas con cemento o junto a obra de fábrica u otros elementos que restrinjan las posibles expansiones. Se ha comprobado

que un adecuado tratamiento, y una clasificación y selección de las escorias en la planta, pueden proporcionar sin problemas áridos de calidad para ser utilizados en mezclas bituminosas. Estos áridos poseen un buen coeficiente de Los Ángeles y un excelente coeficiente de pulimento acelerado, que los hace especialmente utilizables en capas de rodadura. La composición química y el carácter básico de las escorias garantiza una buena adhesividad con los betunes convencionales. El principal problema que se plantea en la fabricación de mezclas con estos áridos es la falta de finos en la fracción más pequeña. Una dosificación de áridos adecuada, desde un punto de vista técnico, es la que combina árido grueso escoria y árido fino calizo.

Edificación y obra pública:

En el campo de la edificación y obra pública, las escorias negras podrían utilizarse en la industria del cemento (como aporte de hierro al clínker o como adición) y como árido para hormigón

Utilización en cementera:

En España, se ha realizado como experiencia piloto, el reciclaje de las escorias negras introduciéndolas en cementeras como aporte de hierro, silicio y cal al horno rotativo en el proceso de fabricación del clínker. La conclusión del estudio es que esta aplicación parece no presentar ninguna limitación desde el punto de vista técnico ni medioambiental. El control de la calidad medioambiental de las escorias en esta aplicación, se realiza mediante la determinación de metales presentes en el clínker elaborado y en las partículas en suspensión emitidas por chimenea.

En la composición química del clínker con escorias, los únicos elementos que sufren cambios son el cromo y el manganeso (que aumentan considerablemente su porcentaje). No obstante, y dado que la legislación española no recoge limitaciones para dichos elementos y que su presencia en el cemento no representa problemas para la calidad técnica de dicho material, no se precisa tenerlos en cuenta.

La dosificación adecuada del material, en base a la composición química, con objeto de obtener un producto final de características iguales al obtenido con la utilización de materia prima convencional, se estima aproximadamente en un 4%, sin aparecer problemas de calidad técnica del producto final.

Utilización de escorias negras como árido para morteros:

Para ello, el material necesita una molienda previa para obtener una granulometría similar a la de un árido convencional. Según este estudio, los morteros estudiados (con distintos porcentajes de escorias), presentan una buena resistencia a compresión, siendo los porcentajes óptimos de escorias, los situados entorno al 30-40%.

Utilización de escorias negras como árido para hormigón:

De forma experimental se ha estudiado la posibilidad de utilizar este tipo de residuo como árido grueso o fino para hormigón. En ambos casos, las escorias se deben triturar y tamizar, obteniendo una granulometría similar a la de los áridos naturales. Además, se debe proceder a la estabilización y envejecimiento de las escorias para evitar su expansión.

En los ensayos realizados, en los que se reemplazó la totalidad de la arena por escorias negras de horno eléctrico, se obtuvieron hormigones de mayor densidad (2.770 kg/m³), con una resistencia a compresión y carga de rotura similares a los de un hormigón con arena natural y de mayor fragilidad.

Según estos estudios, el fenómeno de lixiviación en un hormigón normal y en un hormigón con escorias es similar para todos los metales excepto para el cloro.

ESCORIAS BLANCAS:

Las escorias blancas, procedentes de la fase de afino, se caracterizan por su contenido en metales pesados como cromo, zinc o plomo (inferior al 1%) y el reducido tamaño de sus partículas.

Ensayos químicos realizados en nuestro país establecen la siguiente composición para las escorias blancas de acería

Si O ₂	17.4 - 19.3 %	Fluoruro (%)	1.4
Fe ₂ O ₃	1.1 - 3.6 %	Sulfuro (mg/kg)	503
Fe O	0.0-0.95 %	Zinc (ppm)	596
Al ₂ O ₃	3.2-10.4 %	Plomo (ppm)	84
CaO	45.3-62.1 %	Cobre (ppm)	200
MgO	4.5- 17.2 %	Cromo (ppm)	150
MnO	0.0 -1.2 %	Níquel (ppm)	80
S	1.45 – 1.65 %		
C	0.0 – 0.03 %		

Procesamiento escorias blancas:

La única alternativa de valorización de las escorias blancas, confirmada por experiencias realizadas a escala industrial, es su utilización en las fábricas de cemento en sustitución de la marga. Para esta alternativa no será necesario un pretratamiento previo, siempre y cuando se tenga la precaución de no incluir elementos extraños, como trozos metálicos, y los tamaños de las partículas del material sean inferior a 50 mm.

Propiedades:

Las escorias blancas presentan en su composición silicatos tricálcico y bicálcico, aluminoferrito tetracálcico, aluminato tricálcico y ferrito dicálcico.

Aplicaciones:

Obras de tierra y terraplenes:

Las escorias blancas de acería pueden ser utilizadas en la estabilización de suelos y como material para construcción de terraplenes. Este tipo de aprovechamiento se encuentra en fase de investigación y desarrollo.

Utilización en cementera de escorias blancas:

La valorización de las escorias blancas consiste en su reutilización en empresas cementeras como materia prima para sus hornos rotativos, aunque presenta ciertas dificultades de manipulación. Debido al pobre contenido en hierro no se van a poder utilizar en cementera como aporte de hierro, sino como materia prima en sustitución de la marga.

Los fluoruros aparecen en cantidades elevadas (1,4%), por lo que deberá tenerse en cuenta en la práctica, al influir negativamente en las propiedades del clínker, así como en las emisiones por razones medioambientales. Los contenidos superiores al 2% en magnesio pueden ocasionar inestabilidad de volumen por lo que su contenido está limitado por la normativa. Por este motivo el parámetro limitante es el magnesio y va a ser éste el que determine la máxima dosificación (por lo general no mayor del 5%).

Es importante que la granulometría del material sea uniforme, de tamaño reducido (menor de 50 mm), y que no se incluyan con la escoria materiales extraños como hierro y trozos de refractario, fáciles de eliminar en origen.

Por otra parte, una vez realizada la prueba en cementera con una dosificación de la escoria blanca del 5%, el análisis de las resistencias muestra valores muy similares a los obtenidos en condiciones normales de funcionamiento.

De esta forma los requisitos mínimos que deben cumplir las escorias para su incorporación en el proceso productivo del cemento son:

Porcentaje de MgO inferior al 5%, valor máximo admisible por la lentitud con que se hidrata la magnesia calcinada y la dilatación que le acompaña

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES DE LAS ESCORIAS PROCEDENTES DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO:

Las escorias de acería de horno de arco eléctrico vienen incluidos en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 10 correspondiente a “Residuos de procesos térmicos” con los siguientes códigos:

10 02 01 Residuos de tratamiento de escorias.

10 02 02 Escorias no tratadas.

Ventajas a su uso:

El correcto tratamiento de estos materiales supone una serie de beneficios de carácter global, tanto desde el punto de vista de los generadores de los mismos como desde el punto de vista social

Una disminución de los costes de vertido, a la vez de un ahorro de materia prima natural derivado de la reutilización de los subproductos de acería.

Reducción del impacto medioambiental y un beneficio espacial al mantener los vertederos sin ocupar, no depositando los residuos en vertedero.

Incremento de la calidad de vida en los alrededores de este tipo de industrias.

Desde el punto de vista medioambiental, las escorias negras de acería de horno de arco eléctrico se pueden utilizar en capas granulares (como bases, subbases y coronación de explanadas) siempre y cuando los resultados del ensayo de lixiviación sobre las escorias permanezcan por debajo de los límites fijados. Sus lixiviados pueden corroer las tuberías de aluminio y acero que se coloquen en contacto con ellas.

Cuando se utilicen las escorias como áridos en mezclas bituminosas para capas de rodadura de firmes se deberá también comprobar que los resultados del ensayo de lixiviación cumplen las especificaciones fijadas.

ASPECTOS ECONÓMICOS:

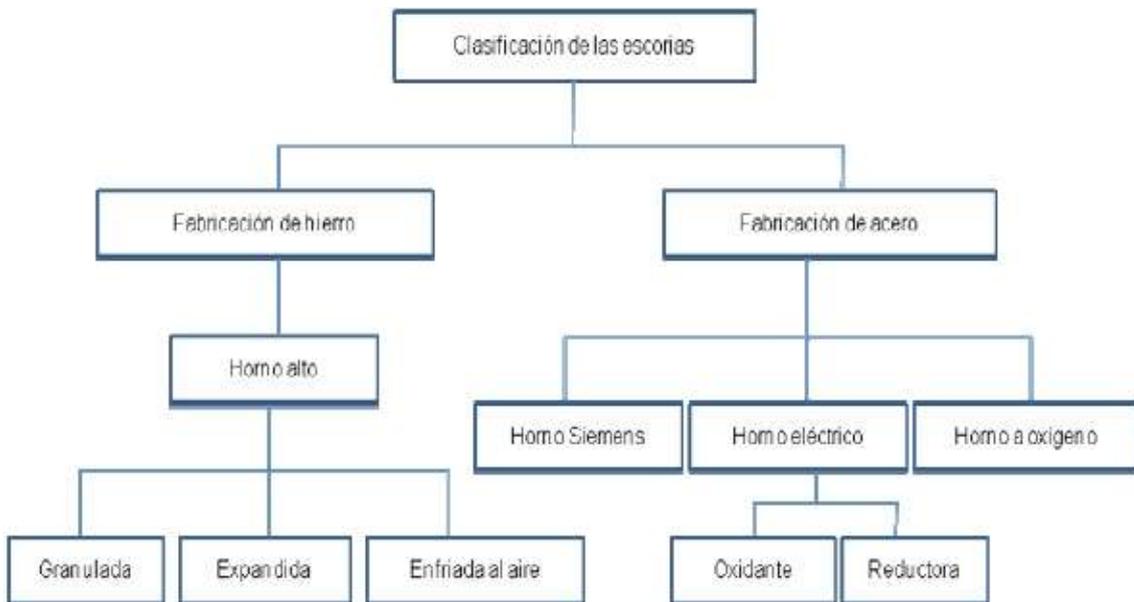
Hasta llegar a los primeros pasos para su valorización, en España la escoria negra se ha transportado desde su salida del horno y enfriamiento a los vertederos de residuos

inertes. Hasta la fecha no existen unos precios estipulados en la venta de este material para la obtención de áridos siderúrgicos.

Las escorias blancas tienen como principal vía de valorización su empleo en cementeras: tradicionalmente se han mezclado con las escorias negras y se llevaban a vertedero.

En algunos municipios el precio del vertido de residuos es de tarifa única, y sin embargo En otros municipios lo general es establecer la tarifa dependiendo de la naturaleza del material.

RESUMEN GRÁFICO DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ESCORIAS DE HIERRO Y SIDERÚRGICAS:



D) OTRAS ESCORIAS (ATLANTIC COPPER): ESCORIAS DEL TRATAMIENTO DEL COBRE

Capítulo 10 correspondiente a “Residuos inorgánicos de procesos térmicos” con el siguiente código:

10 06 Residuos de la termometalurgia del cobre

10 06 01 Escorias (primera y segunda fusión)

La metalurgia del cobre depende de que el mineral sean sulfuros, en cuyo caso se utiliza la vía pirometalúrgica en la que se producen ánodos y cátodos, o que sean óxidos, en cuyo caso se utiliza la vía hidrometalúrgica en la que se producen directamente cátodos.

Pirometalurgia

El proceso de producción de cátodos vía pirometalúrgica es el siguiente:

Concentración del mineral → Fundición (Horno Fusión) → Convertidores → Afino y

Moldeo de ánodos → Refinería (Electrorefinería) → Obtención del Cátodo

El mineral de sulfuro de cobre en la mina tiene un contenido entre el 0,5-0,2% de cobre, por lo que hay que concentrarlo en la mina, mediante flotación, para su transporte y uso final en la fundición, obteniéndose un concentrado de cobre que contiene entre 20 y 45% de cobre, los otros dos componentes principales son el azufre y el hierro, además de otros metales entre los cuales se encuentran el oro y la plata como positivos y el plomo, arsénico y mercurio como impurezas.

El concentrado de cobre se recibe en la Fundición, cuya primera etapa industrial es el Horno de Fusión, donde se recupera el cobre, eliminando el azufre y el hierro mediante oxidación en estado fundido a una temperatura entre 1200 y 1300 ° C. En el horno el azufre se convierte en gas SO₂, mientras que el cobre y el hierro, conjuntamente con sílice procedente de la arena que se introduce en el horno, permanecen en estado líquido. En esta fase líquida el cobre, por su mayor densidad, se deposita en la parte inferior y se extrae del horno formando parte de un producto que se denomina mata de cobre, con un contenido del 62% de cobre, mientras que la mezcla de hierro y sílice en forma de silicato permanece en la parte superior del horno y se extrae en forma de escoria con un contenido del 0,8% de cobre, 45% de hierro y 30% de sílice.

La mata de cobre pasa a la sección de convertidores, para incrementar la riqueza en cobre del producto, donde se le somete a una gran oxidación adicional en un proceso discontinuo "batch", consiguiendo un producto intermedio denominado blister con un contenido en cobre del 99%, gases ricos en SO₂ que se unen a los gases anteriores del horno y escorias con un contenido del 6% de cobre.

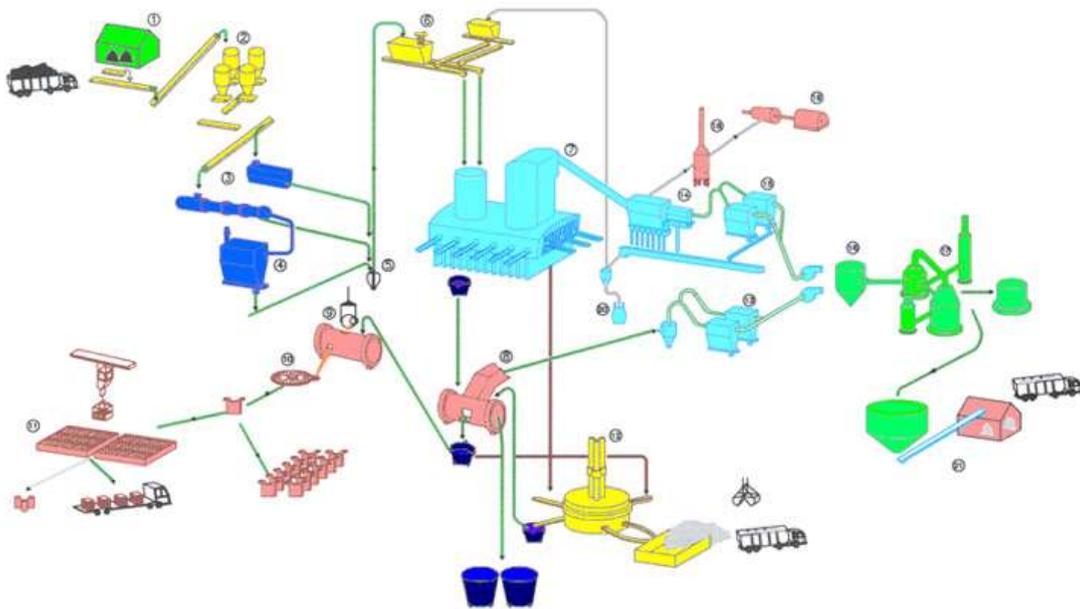
El blister pasa al horno de afino donde incrementa su contenido en cobre hasta el 99,6% y posteriormente a la rueda de moldeo de ánodos, donde se da a los ánodos la forma geométrica, semejante a una camiseta de mangas cortas extendidas "T-shirt", necesaria para su utilización en la Refinería.

Los gases de SO₂ producidos en el horno y convertidores se recogen, se oxidan y se convierten en ácido sulfúrico en una planta de doble absorción, mientras que las escorias, después de tratarlas en un horno eléctrico para recuperar todo el cobre que contienen, se enfrían y granulan para su posterior utilización como material estéril.

Como regla general una Fundición que produzca 310.000 Tm/año de ánodos consume 1.000.000 Tm/año de concentrado de cobre y como subproductos produce 900.000 Tm/año de ácido sulfúrico y 300.000 Tm/año de escorias.

Los ánodos pasan a la Refinería, que es la fase final del proceso de producción de los cátodos con un contenido del 99,9% de cobre. El proceso utilizado es el electrorefino de los ánodos, que consiste en disponer en celdas (balsas) los ánodos que actúan como electrodo positivo, separados por una placa inerte que actúa como electrodo negativo, sumergidos en una disolución de sulfato de cobre denominada electrolito y utilizar una corriente eléctrica de bajo voltaje, que al ser selectiva para el cobre disuelve los ánodos en el electrolito y los iones de cobre resultante se depositan sobre la placa inerte obteniendo los cátodos que son unas planchas de 1 m² de superficie y un peso de 55 kg.

Esquema del proceso:



La escoria obtenida en este proceso es el SILICATO DE HIERRO:

El silicato de hierro granulado es un producto con marcado CE que se obtiene tras varios procesos en la metalurgia del cobre. Las transformaciones de las materias primas dan como resultado la producción de silicatos, en particular fayalita (SiO₂) FeO, que es un silicato de hierro químicamente estable.

El marcado CE significa que el producto se somete por el fabricante tanto a un control de producción en fábrica como a posteriores pruebas sobre muestras tomadas de acuerdo a un plan preestablecido, así como supone también la realización de un

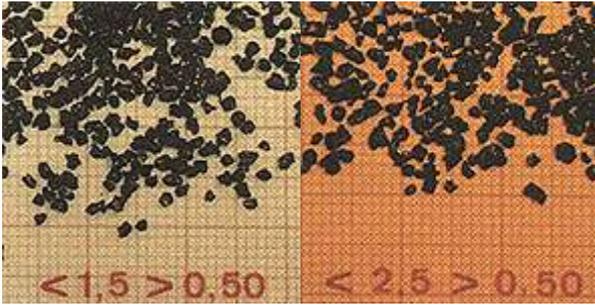
seguimiento, de una evaluación y de una aprobación del control de producción en fábrica por la entidad de certificación AENOR, todo ello regulado por las normas UNE-EN-12620 (hormigones), UNE-EN 13139 (morteros) y UNE-EN 13242 (capas).

Entre sus características cabe mencionar:

- Dureza: 6,6 a 7,6 (escala Mosh) y más de 660 Kg/mm² (escala Vicker).
- Resistencia: Valor Impacto / Fragmentación: 11,7%.
- Granulometría: 0,4 - 2,8 mm y 0,2 - 1,5 mm.
- Material inerte y vítreo que no absorbe agua.
- Excelentes propiedades de drenaje.
- Color negro brillante.
- No contiene partículas metálicas libres, ni ácido ni sales.
- No es conductor de electricidad.
- No tiene propiedades magnéticas.
- Densidad aparente: 1,6- 1,9 t/m³ .

El silicato de hierro granulado tiene los siguientes usos:

- Abrasivo (chorro a presión para superficies metálicas).
- Construcción de carreteras.
- Hormigones pesados.
- Rellenos de material drenante.
- Fabricación de materiales de construcción.
- Fabricación de morteros para suelos industriales.
- Fabricación de cemento.



3. USOS EN LA ACTUALIDAD EN ANDALUCÍA:

Compararemos cómo catalogan tres empresas andaluzas dedicadas a la siderurgia, las escorias y cómo aparecen en el Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes)

E-PRTR son las siglas de European Pollutants Release and Transfer Register (Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes). El 18 de enero de 2006 se adoptó el Reglamento (CE) Nº 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al establecimiento de este Registro y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE (relativa a Residuos Peligrosos) y 96/61/CE (relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación "IPPC").

Con el fin de aplicar el Protocolo de la CEPE/ONU sobre registros de emisiones y transferencias de contaminantes y facilitar la participación del público en el proceso de toma de decisiones en asuntos medioambientales, así como contribuir a prevenir y reducir la contaminación del medio ambiente, el Reglamento E-PRTR establece a escala comunitaria un registro de emisiones y transferencias de contaminantes integrado en forma de base de datos electrónica accesible al público, y determina las normas para su funcionamiento.

El E-PRTR sustituye al Inventario Europeo de Emisiones Contaminantes (en lo sucesivo, «EPER») a partir del 2007 (primer año de referencia). Es decir, la declaración correspondiente a las emisiones y transferencias de contaminantes en 2007, cumplirá ya con lo establecido en el Reglamento E-PRTR que aquí se comenta (a notificar los dos primeros meses de 2008).

El E-PRTR se basa en los mismos principios que el EPER, pero va más allá que éste, ya que exige que se comunique información sobre un mayor número de contaminantes y actividades, e incorpora además las emisiones al suelo, las emisiones de fuentes difusas y las transferencias fuera del emplazamiento.

El Reglamento E-PRTR incluye así información específica sobre:

- Emisiones atmosféricas, al agua y al suelo.
- Transferencias fuera del emplazamiento del complejo industrial de residuos y de contaminantes en aguas residuales destinadas a tratamiento.

Asimismo, el E-PRTR incluirá datos relativos a emisiones fugitivas y difusas que puedan existir en las instalaciones afectadas, y otras tales como el tráfico viario o la calefacción doméstica, cuando esta información esté disponible.

. En PRTR-España se ofrece información acerca de las emisiones anuales a la atmósfera, al agua y al suelo y las transferencias de residuos peligrosos y no peligrosos, generados por los complejos industriales registrados, de acuerdo con el Real Decreto 508/2007, según los anexo I (actividades industriales sobre las que hay que informar), II (emisiones de sustancias y medios sobre los que hay que informar) y III (formato de notificación). La información pública corresponde a la información que ha sido validada por las autoridades competentes.

En el caso de la transferencia de residuos la información se hace pública si el sumatorio de todos los residuos peligrosos validados supera las 2 toneladas anuales o si el sumatorio de los residuos no peligrosos está por encima de 2.000 toneladas al año (Real Decreto 508/2007).

2. PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE METALES		
Categoría Ley 16/2002	Categoría Reglamento 166/2006 E-PRTR	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
2.1	2.a)	Instalaciones para la calcificación o sinterización de mineral metálico (incluido el sulfuroso)
2.2	2.b)	Instalaciones para la producción de fundición o de aceros brutos (fusión primaria o secundaria), incluidos los equipos de fundición continua con una capacidad de 2,5 toneladas por hora
2.3	2.c)	Instalaciones de transformación de metales ferrosos siguiendo alguno de los procesos siguientes:
a)	2.c.i)	Laminado en caliente con una capacidad de 20 toneladas de acero bruto por hora

b)	2.c.ii)	Forjado con martillos con una energía de 50 kilojulio por martillo, cuando la potencia térmica utilizada sea superior a 20 MW
c)	2.c.iii)	Aplicación de capas de protección de metal fundido con una capacidad de tratamiento de 2 toneladas de acero bruto por hora
2.4	2.d)	Fundiciones de metales ferrosos con una capacidad de producción de 20 toneladas por día
2.5	2.e)	Instalaciones:
a)	2.e.i)	Para la producción de metales en bruto no ferroso a partir de minerales, de concentrados o de materias primas secundarias mediante procedimientos metalúrgicos, químicos o electrolíticos
b)	2.e.ii)	Para la fusión, incluida la aleación, de metales no ferrosos, incluidos los productos de recuperación (refinado, moldeado en fundición, etc.) con una capacidad de fusión de 4 toneladas por día para el plomo y el cadmio o de 20 toneladas por día para todos los demás metales
2.6	2.f)	Instalaciones para el tratamiento de superficie de metales y materiales plásticos por procedimiento electrolítico o químico , cuando el volumen de las cubetas destinadas al tratamiento equivalga a 30 m ³

ACERINOX: empresa dedicada a fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones (AAI/CA/008)

Actividades.

Código	Descripción Actividad	Actividad Principal
2.b	Instalaciones para la producción de fundición o de aceros brutos (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de fundición continua de una capacidad de más de	✓

2,5 toneladas por hora.

- 2.c.i Instalaciones para la transformación de metales ferrosos siguiendo alguno de los procesos siguientes: Laminado en caliente con una capacidad superior a 20 toneladas de acero bruto por hora 

Residuos No Peligrosos (veremos los referentes a escorias)

CÓDIGO LER	AÑO REFERENCIA	CANTIDAD (T/AÑO)	MÉTODO M/C/E	OPERACION
10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias	2007	297.000	MEDIDO	D15
10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias	2008	305.000	MEDIDO	D15
10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias	2009	178.000	MEDIDO	D15
10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias	2010	220.000	MEDIDO	D15

D15: Operación de Eliminación (según el código LER): Almacenamiento en espera de cualquiera de las operaciones numeradas de D 1 a D 14 (excluido el almacenamiento temporal, en espera de recogida, en el lugar donde se produjo el residuo)

El actual destino de las escorias de Acerinox es a vertedero (Vertedero de Carmín, a razón de unas 200.000 tn/año. Aun tiene capacidad para años.)

La empresa Harsco Metals Lycreted SAU -dedicada a la recuperación de escorias en la acería- está estudiando el aprovechamiento de escorias metalúrgicas para separar y recuperar el metal que puedan contener, comercializar los metales u otros productos aprovechables.

100201	Residuos del tratamiento de escorias	Vertedero	232.000
--------	--------------------------------------	-----------	---------

En cuanto a los residuos que van a vertedero, hay que indicar que el conocimiento actual sobre recuperación o valorización de materias ofrece tecnologías de probada viabilidad técnica para la mayoría de ellos, pero el precio actual de su gestión o la ausencia de empresas que lleven a la práctica otras soluciones, impide que los residuos sean valorizados en vez de acabar en vertederos.

De hecho, en su mayor parte, los residuos con posibilidad de ser reciclados abandonan los centros de recogida selectiva hacia centros ubicados en otras provincias.

Alternativas de gestión a ciertos residuos no peligrosos:

100201	Residuos del tratamiento de escorias	Materia prima para el cemento Rellenos para obra civil Recuperación de metales. Fabricación de materiales para la construcción
--------	--------------------------------------	---

Datos de Diputación Provincial Cádiz

SIDERÚRGICA SEVILLANA (SISE): fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones (AAI/SE/014)

Actividades.

Código Descripción Actividad

Actividad Principal

2.b Instalaciones para la producción de fundición o de aceros brutos (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de fundición continua de una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora. ✓

2.c.i Instalaciones para la transformación de metales ferrosos siguiendo alguno de los procesos siguientes: Laminado en caliente con una capacidad superior a 20 toneladas de acero bruto por hora ✓

CÓDIGO LER	AÑO REFERENCIA	CANTIDAD (T/AÑO)	MÉTODO M/C/E	OPERACION
10 02 02 Escorias no tratadas	2007	95.700	MEDIDO	D15
10 02 02 Escorias no tratadas	2008	122.000	MEDIDO	D15
10 02 02 Escorias no tratadas	2009	73.500	MEDIDO	D15
10 02 02 Escorias no tratadas	2010	60.800	MEDIDO	D15

D15 Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D14 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción).

Sin embargo, el destino actual de escorias de Siderúrgica Sevillana también es para valorización de parte de la producción de escorias:

La apuesta por la valorización de residuos ha dado como resultado el descenso en el depósito de residuos en vertedero.

Escoria de horno: Valorización de 15.000 t/año (20% de la cantidad total generada)

VALORIZACIÓN DE LA ESCORIA EN SISE:

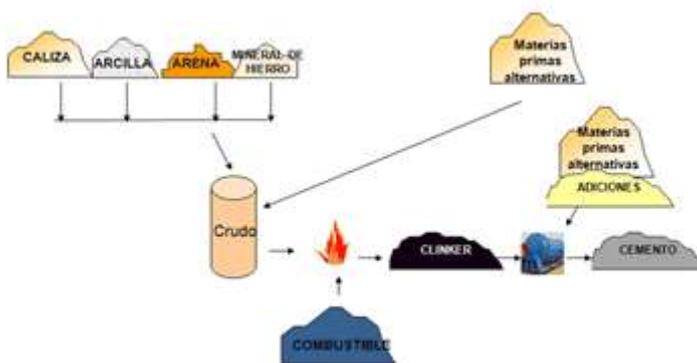
El DESTINO habitual ha venido siendo el VERTEDERO. Pero el estudio de sus propiedades físico-químicas, ha dado como resultado la definición de posibles USOS:

- Utilización de crudo en cementera para fabricar Clínker– USO DEMOSTRADO
- Sustitución de árido (mortero y cubrición)– USO DEMOSTRADO
- Árido en capas bituminosas- USO DEMOSTRADO

Ejemplo de uso para una fábrica de cemento:

Reciclado / Valorización material fábrica de cemento:

Esquema de proceso CON valorización material de materias primas alternativas (cementos Portland)



Datos de Fábrica de Cementos Portland Valderrivas de Alcalá de Guadaíra: la utilización de escorias negras como materia prima secundaria para la fabricación de cementos es:

2008: 4978 t

2009: 592 t

2010: 9810 t

ATLANTIC COPPER: empresa dedicada a la producción de cobre (AAI/HU/017)

Código Descripción Actividad

Actividad Principal

- 2.e.i Instalaciones para la producción de metales en bruto no ferrosos a partir de minerales, de concentrados o de materias primas secundarias mediante procedimientos metalúrgicos, químicos o electrolíticos. ✓

Residuos no peligrosos:

El complejo no tiene datos de transferencia de residuos que superen los umbrales del artículo 3.1.b del Real Decreto 508/2007: 2.000 t/año.

Según los datos que aparecen en la página web de la empresa, la totalidad de las escorias que se obtienen en el proceso de producción de los cátodos de cobre, se comercializan (300.000 Tm/año de escorias)

4. REVISIÓN DE LA NORMATIVA

a) Ley 22/2011, 28 DE JULIO, DE RESIDUOS Y SUELOS CONTAMINADOS.

Se van a comentar los aspectos de la ley que afecta a la denominación de las escorias, así como algunas definiciones que pueden interesar para el desarrollo de este trabajo:

“La transposición en nuestro ordenamiento jurídico interno de la Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas integrándolas en una única norma («Directiva marco de residuos» en adelante), se lleva a cabo a través de esta Ley que sustituye a la anteriormente vigente Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

Además la presente Ley en el marco de los principios básicos de protección de la salud humana y del medio ambiente, orienta la política de residuos conforme al principio de jerarquía en la producción y gestión de los mismos, maximizando el aprovechamiento de los recursos y minimizando los impactos de la producción y gestión de residuos. La nueva Ley promueve la implantación de medidas de prevención, la reutilización y el reciclado de los residuos, y conforme a lo que establece la Directiva marco permite calificar como operación de valorización la incineración de residuos domésticos mezclados sólo cuando ésta se produce con un determinado nivel de eficiencia energética; asimismo, aspira a aumentar la transparencia y la eficacia ambiental y económica de las actividades de gestión de residuos. Finalmente, forma parte del espíritu de la Ley promover la innovación en la prevención y gestión de los residuos, para facilitar el desarrollo de las soluciones con mayor valor para la sociedad en cada

momento, lo que sin duda incidirá en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a este sector y contribuirá a la conservación del clima.

El título I de la Ley contiene las disposiciones y los principios generales y se divide en dos capítulos.

El primer capítulo está dedicado a las disposiciones de carácter general e incluye el objeto, las definiciones, así como la referencia a la clasificación y la lista europea de residuos

Se introducen artículos específicos dedicados a los conceptos de «subproducto» y de «fin de la condición de residuo», y se establecen las condiciones que debe cumplir un residuo para considerarse un subproducto o para perder su condición de residuo.

En el capítulo III del título III se regulan las comunicaciones y autorizaciones de las actividades de producción y gestión de residuos. Las empresas que producen residuos peligrosos y residuos no peligrosos en cantidad superior a 1.000 t/año se someten al requisito de comunicación previa en la Comunidad Autónoma donde se ubiquen, de esta forma se dota a las Comunidades Autónomas de información necesaria para facilitar la vigilancia y el control de la producción de residuos, y se simplifican los trámites administrativos a las empresas que producen residuos peligrosos, sustituyendo el régimen anterior de autorización por el actual de comunicación.

ARTICULO 3:

A los efectos de esta Ley se entenderá por:

a) «Residuo»: cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.

d) «Residuos industriales»: residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.

r) «Valorización»: cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización

v) «Eliminación»: cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía. En el anexo I se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de eliminación

Artículo 4. Subproductos.

1. Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo definido en el artículo 3, apartado a), cuando se cumplan las siguientes condiciones:

a) Que se tenga la seguridad de que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente,

b) que la sustancia u objeto se pueda utilizar directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial habitual,

c) que la sustancia u objeto se produzca como parte integrante de un proceso de producción, y

d) que el uso ulterior cumpla todos los requisitos pertinentes relativos a los productos así como a la protección de la salud humana y del medio ambiente, sin que produzca impactos generales adversos para la salud humana o el medio ambiente.

2. La Comisión de coordinación en materia de residuos evaluará la consideración de estas sustancias u objetos como subproductos, teniendo en cuenta lo establecido en su caso al respecto para el ámbito de la Unión Europea, y propondrá su aprobación al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino que dictará la orden ministerial correspondiente”.

La escoria procedente de procesos térmicos se considera SUBPRODUCTO, puesto que cumple con las características descritas en el párrafo anterior.

LOS POSIBLES USOS DE LAS ESCORIAS COMO ÁRIDOS SE RECOGE EN LA NORMATIVA QUE DESARROLLO A CONTINUACIÓN:

b) PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERA: PG-3 (MINISTERIO DE FOMENTO)

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes; constituye un conjunto de instrucciones para el desarrollo de las obras de carreteras y puentes; y contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y a las unidades de obra.

Las prescripciones de este Pliego serán de aplicación a las obras de carreteras y puentes, en todo lo que no sean explícitamente modificadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares; y quedarán incorporadas al Proyecto y, en su caso, al Contrato de obras, por simple referencia a ellas en el citado Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, de conformidad con lo que dispone el Artículo 66 del Reglamento General de Contratación.

En el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de cada Proyecto se indicará preceptivamente que será de aplicación el presente texto del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales.

Se van a desarrollar sólo los capítulos en los que se hace referencia o se incluyen los áridos siderúrgicos

Todos los artículos referidos al PG-3 dejan abierto el uso posible del árido siderúrgico en distintos casos, siempre que cumpla los requisitos técnicos, pero para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

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

CAPÍTULO 3: EXPLANACIONES

CAPÍTULO III: RELLENOS

330 TERRAPLENES

Definición: Esta unidad consiste en la extensión y compactación, por tongadas, de los materiales cuyas características se definen en el apartado 330.3 de este artículo, en zonas de tales dimensiones que permitan de forma sistemática la utilización de maquinaria pesada con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente el firme de una carretera.

330.3 MATERIALES

330.3.1 Criterios generales

Los materiales a emplear en rellenos tipo terraplén serán, con carácter general, suelos o materiales locales que se obtendrán de las excavaciones realizadas en obra, de los préstamos que se definan en el Proyecto o que se autoricen por el Director de las Obras.

Los criterios para conseguir un relleno tipo terraplén que tenga las debidas condiciones irán encaminados a emplear los distintos materiales, según sus características, en las zonas más apropiadas de la obra, según las normas habituales de buena práctica en las técnicas de puesta en obra.

En todo caso, se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

330.3.2 Características de los materiales

Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto. En todo caso se estará a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

El Director de las Obras tendrá facultad para rechazar como material para terraplenes, cualquiera que así lo aconseje la experiencia local. Dicho rechazo habrá de ser justificado expresamente en el Libro de Órdenes.

Las escorias de alto horno resultarían desaprovechadas de ser utilizadas en terraplén, dadas sus excelentes propiedades mecánicas que las hacen más apropiadas para usos en firmes, previo tratamiento mecánico. En el Reino Unido las escorias cristalizadas son clasificadas como relleno granular seleccionado.

CAPITULO 5: FIRMES

CAPITULO I: CAPAS GRANULARES

510. ZAHORRAS

510.1 DEFINICIÓN

Se define como zahorra el **material granular**, de granulometría continua, **utilizado como capa de firme**. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o

parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.

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

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

510.2.1 Características generales

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos. **Para las categorías de tráfico pesado T2 a T4 se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos**, subproductos y productos inertes de desecho, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias. Para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

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

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

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

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

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

CATEGORIAS DE TRAFICO	DESIGNACION	NUMERO ACUMULADO DE EJES EQUIVALENTES DE 13 T DE PROYECTO
T0	Muy pesado	Superior a 10^7
T1	Pesado	$5 \cdot 10^6 - 10^7$
T2	Medio Alto	$10^6 - 5 \cdot 10^6$
T3	Medio bajo	$10^5 - 10^6$
T4	Ligero	Inferior a 10^5

CAPITULO IV: MEZCLAS BITUMINOSAS

540. MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

Se definen como microaglomerados en frío aquellas mezclas bituminosas fabricadas a temperatura ambiente con emulsión bituminosa, áridos, agua y, eventualmente, polvo mineral de aportación y aditivos, con consistencia adecuada para su puesta en obra inmediata y que se emplean en tratamientos superficiales de mejora de las características superficiales (textura superficial y resistencia al deslizamiento) en aplicaciones de muy pequeño espesor, habitualmente no superior a un centímetro y medio (1,5 cm), en una o dos capas.

540.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995) o normativa que lo sustituya, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE (modificada por la Directiva

93/68/CE), y en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados

540.2.2 Áridos

540.2.2.1 Características generales

Los **áridos** a emplear en los microaglomerados en frío podrán ser **naturales o artificiales** siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo.

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

Los áridos no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Con objeto de garantizar la durabilidad a largo plazo de los áridos, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar corrientes de agua

Desarrollo de las características del árido grueso (procedencia, angulosidad, forma- o índice de lajas- resistencia a la fragmentación del árido grueso- coeficiente de Los Ángeles- resistencia al pulimento, contenido de impurezas...): recogido en capítulo IV, artículo 540

542 MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE TIPO HORMIGÓN BITUMINOSO

542.1 DEFINICIÓN

Se define como mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso la combinación de un ligante hidrocarbonado, **áridos** (incluido el polvo mineral) con granulometría continua y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo

mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

542.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE (modificada por la Directiva 93/68/CE), y en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

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

542.2.2 Áridos

542.2.2.1 Características generales

Los **áridos** a emplear en las mezclas bituminosas en caliente podrán **ser naturales o artificiales** siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo

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

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

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o procedentes del fresado de mezclas bituminosas, que puedan ser lixiviados y significar un riesgo potencial para el medioambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la UNE-EN 1744-3.

542.2.2.2 Árido grueso

Este artículo recoge la definición, procedencia, angulosidad, índice de lajas, coeficiente de Los ángeles, contenido en impurezas que deben de cumplir los áridos gruesos (no se desarrollará este capítulo en este trabajo)

543 MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DE RODADURA. MEZCLAS DRENANTES Y DISCONTINUAS.

543.1 DEFINICIÓN

Se definen como mezclas bituminosas en caliente para capas de rodadura, drenantes y discontinuas, aquéllas cuyos materiales son la combinación de un ligante

hidrocarbonado, **áridos** (en granulometría continua con bajas proporciones de árido fino o con discontinuidad granulométrica en algunos tamices), polvo mineral y,

eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden

recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación obliga a

calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Las mezclas bituminosas drenantes son aquellas que por su baja proporción de árido

fino, presentan un contenido muy alto de huecos interconectados que le proporcionan

características drenantes. A efectos de aplicación de este artículo se emplearán en capas de rodadura de cuatro a cinco centímetros (4 a 5 cm) de espesor.

543.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE (modificada por la Directiva 93/68/CE), y en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

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

543.2.2 Áridos

543.2.2.1 Características generales

Los **áridos** a emplear en las mezclas bituminosas discontinuas y en las drenantes podrán ser **naturales o artificiales siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo.**

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

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

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales o artificiales, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medioambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la UNE-EN 1744-3.

Este artículo recoge la definición, procedencia, angulosidad, índice de lajas, coeficiente de Los ángeles, contenido en impurezas que deben de cumplir los áridos gruesos (no se desarrollará este capítulo en este trabajo)

ENTRE LOS USOS PROBADOS HASTA AHORA, SEGÚN EL APARTADO 2 Y 4 DE ESTE TRABAJOS, SON:

- El principal uso está en la construcción de carreteras como capa de rodadura con mezclas bituminosas, base, sub-base, y material de relleno
- Como material de cubrición de vertederos y pistas provisionales en su interior.
- Como materia prima para fabricación de cementos
- Materia prima para fabricación de hormigones (como áridos) y morteros.
- Como corrector de suelos
- El principal uso está como árido en carreteras:

EN LA ACTUALIDAD LOS USOS PROBADOS SON (UNESID 2011):

- Estabilización y solidificación. Ej. Cubrir y sellar vertederos, relleno de antiguas minas para estabilización ABS, GBS, BOS, EAF C, EAF S, SMS.
- Materia prima para cemento-ABS, GBS, BOS, SMS, EAF C, EAF S.
- Constituyente de mezclas hidráulicas-GBS, BOS, EAF C, SMS.
- Aplicaciones de ligantes hidráulicos, adición a hormigón, moteros, compuestos autoniveladores (basamento sin ligante para construcción de carreteras, ver más arriba.) -ABS, GBS, BOS
- Fertilizante y corrector de suelos-ABS, GBS, BOS, EAF C, SMS
- Pulverizado, arenado-GBS, EAF C
- Materia prima para lana de roca-ABS, GBS, BOS, EAF C, SMS
- materia prima para vidrio-ABS, GBS
- Materia prima para construcción: Adición para sellos de llama. –GBS
- Materia prima para prefabricados de construcción y uso genérico como áridos. Escoria espumada, ladrillos de escoria granulada, zahorra, Bases/Sub-bases, ladrillos, adoquines, bloques de construcción-ABS, GBS, BOS, EAF C, SMS, EAF S.

En la actualidad existe una intensa labor de I+D+I sobre otros usos: Ej reconstrucción de corales.

GBS Slag, blast furnace (granulated and ground granulated)

ABS Slag, blast furnace (air cooled)

BOS Slag, converter

EAF C Slag, electric arc furnace (carbon steel production)

EAF S Slag, electric arc furnace (stainless/high alloy steel production)

SMS Slag, steelmaking

NORMATIVA ESPECÍFICA EN COMUNIDADES AUTÓNOMAS PARA USO DE ESCORIA COMO ÁRIDO:

En las Comunidades autónomas del País Vasco y de Cataluña, existen normativas específicas y concretas para el uso de Escorias como Áridos. Se desarrollarán a continuación porque las he considerado interesantes y muy claras:

c) REGLAMENTO PAIS VASCO: Decreto 34/2003, 18 de Febrero de 2003
(Comunidad Autónoma del País Vasco)

“A propuesta del consejero de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, el Consejo de Gobierno ha aprobado el Decreto por el que se regula en la CAPV la valoración y posterior utilización de escorias procedentes de acerías eléctricas con el objetivo de proteger la salud pública y el medio ambiente aplicando a la vez a estos residuos la más correcta gestión medioambiental. En la CAPV se producen aproximadamente 800.000 toneladas anuales de escorias de horno eléctrico y su destino en la actualidad es el vertedero. La política medioambiental del Gobierno Vasco y otras instituciones vascas pretende valorizar este residuo en el sector de la construcción y el cemento ya que sus características así lo permiten. El desarrollo tecnológico de los últimos años y los resultados obtenidos en los procesos de evaluación de riesgos medioambientales derivados de las operaciones de valorización de escorias, junto con la experiencia internacional en la materia, han acreditado la bondad de la utilización de escorias de horno de arco eléctrico en el sector de la construcción y del cemento.

Al igual que con el resto de los residuos, la política medioambiental más correcta recomienda para las escorias, además de su minimización en origen, incentivar su reutilización, reciclado y otras formas de valorización.

La valorización de escorias procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico deberá estar autorizada por el órgano ambiental de la Comunidad Autónoma del País Vasco, previa comprobación de las instalaciones en las que vaya a desarrollarse la actividad, y ello sin perjuicio de las demás autorizaciones o licencias exigidas por otras disposiciones.

Los empresas que hayan obtenido una autorización para llevar a cabo actividades de valorización de escorias de acuerdo con lo establecido en el presente Decreto, deberán llevar un registro documental en el que figuren la cantidad, naturaleza, origen, destino, frecuencia de recogida, medio de transporte y método de valorización, estando obligados a remitir al órgano ambiental, mensualmente, una memoria comprensiva de los datos que figuren en dicho registro.

Deberán también de reunir en sus instalaciones las siguientes condiciones:

a) Adecuado pavimento y diseño con las pendientes suficientes de las zonas de almacenaje y tratamiento de escorias de las instalaciones de valorización así como de

las vías de circulación, zonas de maniobras y parking, en orden a conducir las aguas pluviales y las procedentes de las instalaciones de limpieza de ruedas a una balsa de decantación capaz de almacenar el agua caída durante los veinte primeros minutos de lluvia, considerando un período de retorno de diez años.

b) Adopción de medidas para minimizar los ruidos y emisiones no confinadas de polvo (barreras antirruído y antipolvo, sistemas de riego, carenado de cintas, sistemas de captación y depuración en las zonas críticas...).

1. Las escorias valorizadas conforme a lo dispuesto en este Decreto, se consideran materias aptas para los usos que se describen en el apartado siguiente.

2. Las escorias procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico podrán ser destinadas, con las condiciones de uso contempladas en el artículo 7, de acuerdo con las especificaciones de este Decreto y tras su sometimiento al correspondiente proceso previo de valorización, a los siguientes usos:

a) Utilización de escorias negras.

Como producto final:

- En las carreteras y vías públicas o privadas de tráfico rodado en cualquiera de las siguientes capas estructurales: capa de rodadura con mezclas bituminosas, base, sub-base y explanada mejorada.
- En proyectos de urbanización de áreas industriales.
- Como material de cubrición de vertederos y pistas provisionales en su interior.

Como materia prima objeto de una transformación posterior:

- En la fabricación de cemento.
- Como árido de hormigón.

b) Utilización de escorias blancas.

Como materia prima objeto de una transformación posterior:

En la fabricación de cemento.

Las escorias valorizadas no podrán utilizarse en usos distintos a éstos, salvo que mediare autorización del órgano ambiental, y previa justificación por el interesado de la idoneidad del destino propuesto.

Las escorias valorizadas no se utilizarán en las zonas inundables con un periodo de retorno de 100 años y que se especifican en el Plan Integral de Prevención de Inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Tampoco se utilizarán, excepto con autorización específica y en las condiciones y con los requisitos que se determinen, en aquellas zonas comprendidas dentro de los perímetros de protección de acuíferos con vulnerabilidad muy alta o alta, de conformidad con lo previsto en los Planes Territoriales Sectoriales de Protección de Cauces y Arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Las actividades de producción y valorización de escorias procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico, que a la entrada en vigor del presente Decreto funcionaran de conformidad con la normativa en vigor, se adaptarán, en el plazo de 6 meses desde la citada fecha, a las prescripciones que en él se contienen.

El presente Decreto entrará en vigor a los 6 meses de su publicación en el Boletín Oficial del País Vasco.”

d) LEGISLACIÓN EN CATALUÑA: DECRETO 32/2009, de 24 de febrero, sobre la valorización de escorias siderúrgicas.

La Orden de 15 de febrero de 1996, sobre valorización de escorias, constituye el marco jurídico que ha permitido a Cataluña la valorización de una importante cantidad de escorias procedente de instalaciones de incineración de residuos municipales y de escorias producidas en procesos termometalúrgicos.

La experiencia de estos años en la valorización de las escorias siderúrgicas ha confirmado la posibilidad real de aprovechamiento de las mismas como material de construcción en obra civil, en sustitución de áridos naturales y como materia prima para otras producciones.

La composición química, las características técnicas y el comportamiento ante el test de lixiviación de las escorias siderúrgicas justifican la existencia de una regulación medioambiental específica que posibilite el aprovechamiento de este material.

Artículo 1

Objeto

Este Decreto tiene por objeto establecer los requisitos medioambientales, el procedimiento administrativo para la valorización de las escorias siderúrgicas, y las obligaciones de las personas productoras, tratadoras y usuarias de estas escorias, garantizando la protección de la salud de las personas y del medioambiente.

Artículo 2

Ámbito de aplicación

Este Decreto es de aplicación a las actividades de generación, tratamiento, valorización y uso de las escorias siderúrgicas.

Artículo 3

Definiciones

Artículo 4

Instalaciones para el tratamiento y almacenamiento de escorias siderúrgicas

Artículo 5

Requisitos que han de cumplir las escorias siderúrgicas para ser declaradas como valorizables para su uso en obra civil.

Para la declaración de la escoria siderúrgica como valorizable para su uso en obra civil se deben realizar previamente los análisis conforme a lo que establecen los anexos II y III del presente Decreto.

Si los resultados de los análisis realizados superan los valores del anexo II se permite el almacenamiento, en las condiciones previstas en el anexo I, durante un plazo no superior a doce meses a contar desde la fecha de su producción.

Transcurrido este plazo se tiene que realizar un nuevo análisis. Si de los resultados se desprende que se cumplen los límites del anexo II, se considerarán escorias siderúrgicas valorizables. En caso contrario se considerarán escorias siderúrgicas no valorizables y tienen que ser gestionadas como tales, a través de gestores autorizados de acuerdo con la normativa de gestión de residuos vigente.

ANEXO II

Parámetros y valores límite de lixiviación para declarar una escoria siderúrgica como valorizable por su uso como árido en obra civil

Los parámetros y los valores límite de lixiviación que han de cumplir las escorias siderúrgicas valorizables son los siguientes:

Parámetros	Unidad (1)	Valor límite
Arsénico	mg/kg	0,50

Bario	mg/kg	20
Cadmio	mg/kg	0,04
Cromo total	mg/kg	0,50
Cobre	mg/kg	2,00
Mercurio	mg/kg	0,01
Molibdeno	mg/kg	0,50
Níquel	mg/kg	0,40
Plomo	mg/kg	0,50
Antimonio	mg/kg	0,06
Selenio	mg/kg	0,10
Cinc	mg/kg	4,00
Cloruros	mg/kg	800
Fluoruros	mg/kg	18
Sulfatos	mg/kg	1000

Las unidades corresponden a mg/Kg de materia seca.

Las determinaciones analíticas se realizarán sobre el lixiviado de la escoria siderúrgica, obtenido de acuerdo con la norma EN 12457-4:2002 (L/S=10 l/Kg).

ANEXO III

Muestreo y análisis de escorias siderúrgicas

Para la declaración de la escoria siderúrgica como valorizable se han de realizar previamente las determinaciones analíticas señaladas en el anexo II sobre un número de muestras recogidas según el protocolo recogido en el presente decreto.

Artículo 6

Procedimiento para la declaración de las escorias siderúrgicas valorizables

Artículo 7

Usos como árido en obra civil

7.1 Una vez declaradas las escorias siderúrgicas como valorizables se pueden utilizar como árido en obra civil en las aplicaciones que establece el anexo IV y de acuerdo con las determinaciones que establece el apartado 7.2.

7.2 Las escorias siderúrgicas valorizables no se pueden utilizar como árido en obra civil en los siguientes casos, salvo autorización expresa de la Agencia de Residuos de Cataluña:

- a) En las zonas inundables por un periodo de retorno de 100 años
- b) En terrenos que tengan el nivel freático a menos de 2,5 metros de la superficie en la que se tengan que aplicar las escorias siderúrgicas valorizables.
- c) En terrenos situados a menos de 100 metros de distancia de pozos de abastecimiento de agua potable a poblaciones

ANEXO IV

Usos admisibles de las escorias siderúrgicas valorizables como árido en obra civil

Como base, subbase y explanada mejorada de carreteras, vías públicas o privadas, urbanización de áreas industriales y estabilización física de suelos, siempre que la capa de escoria siderúrgica valorizable no supere un grueso de 70 cm y se disponga de una capa de rodamiento asfáltico, de hormigón, o una capa impermeable en la superficie. Cuando la construcción de las mencionadas capas estructurales se realice mediante mezcla de las escorias siderúrgicas valorizables con otros materiales tradicionales, el grueso de 70 cm se puede corregir al alza en función del porcentaje de escorias siderúrgicas valorizables que se hayan utilizado en la mezcla.

En la nivelación de terrenos y terraplenes, con un grueso máximo de escorias siderúrgicas valorizables de 1 m por término medio cada 1.000 m² de extensión, sin sobrepasar los 2 m de altura, y siempre que la superficie sea recubierta después con una capa impermeable de una permeabilidad inferior a 10⁻⁹ m/s. Cuando la nivelación se realice mediante mezcla de las escorias siderúrgicas valorizables con otros materiales tradicionales, el grueso de 2 m de altura se puede corregir al alza en función del porcentaje de escorias siderúrgicas valorizables que se hayan utilizado en la mezcla.

En relleno y restauración de áreas degradadas por actividades extractivas sobre suelos arcillosos o en restauración de arcillas. Hay que hacer un sellado adecuado de la superficie y un drenaje de las aguas pluviales.

Como material para capa de rodamiento con mezcla bituminosa, en carreteras y vías de tráfico públicas o privadas.

Como subbalasto de vías férreas sobre suelos arcillosos o poco permeables, con una capa de escoria siderúrgica valorizable que no supere los 50 cm de grueso, siempre que ésta esté coninada, disponga de un cubrimiento superficial impermeable, y que esté recubierta por una capa superior de balasto.

Relleno del interior de cajones de hormigón cerrados, utilizados para la construcción de diques en obras portuarias.

Como material de la capa de asentamiento en el sellado de depósitos controlados, así como en el cubrimiento de pistas del interior del vaso de deposición.

Artículo 8

Otros usos

8.1 La utilización de las escorias siderúrgicas valorizables en obra civil para usos no previstos en el anexo IV puede ser autorizada por la Agencia de Residuos de Cataluña, previa solicitud del productor/a en que se acredite que la actuación propuesta es ambientalmente correcta, no afecta la salud de las personas y no afecta a la calidad de las aguas ni a los bienes que integran el dominio público hidráulico, el suelo, y los recursos naturales

8.3 La utilización de las escorias siderúrgicas como materia prima de otras producciones como en la fabricación del cemento u hormigón (regulado en el Decreto 93/1999 de 6 de abril)

Artículo 9

Obligaciones del productor/a

Artículo 10

Obligaciones del tratador/a

Artículo 11

Obligaciones del usuario/a

e) USO COMO COMO ÁRIDO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN: INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-2008) .

CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES GENERALES

Artículo 1º Objeto

Esta Instrucción de Hormigón Estructural, EHE, es el marco reglamentario por el que se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de hormigón para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio, además de la protección del medio ambiente, proporcionando procedimientos que permiten demostrar su cumplimiento con suficientes garantías técnicas.

Las exigencias deben cumplirse en el proyecto y la construcción de las estructuras de hormigón, así como en su mantenimiento.

Esta Instrucción supone que el proyecto, construcción y control de las estructuras que constituyen su ámbito de aplicación son llevados a cabo por técnicos y operarios con los conocimientos necesarios y la experiencia suficiente. Además, se da por hecho que dichas estructuras estarán destinadas al uso para el que hayan sido concebidas y serán adecuadamente mantenidas durante su vida de servicio.

ARTÍCULO 3º: Consideraciones Generales

TÍTULO 3º. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES

CAPÍTULO VI: MATERIALES

En el ámbito de aplicación de esta Instrucción, podrán utilizarse productos de construcción que estén fabricados o comercializados legalmente en los Estados miembros de la Unión Europea y en los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y siempre que dichos productos, cumpliendo la normativa de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, aseguren en cuanto a la seguridad y el uso al que están destinados un nivel equivalente al que exige esta Instrucción.

Artículo 28º Áridos

28.1 Generalidades

Las características de los áridos deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requieran a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como **escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620** y,

en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

En el caso de utilizar áridos siderúrgicos (como, por ejemplo, escorias siderúrgicas granuladas de alto horno), se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos inestables.

Dada su peligrosidad, sólo se permite el empleo de áridos con una proporción muy baja de sulfuros oxidables.

28.7 Requisitos químicos

En este apartado se definen los requisitos mínimos que deben cumplir los áridos para hormigones.

28.7.1 Cloruros (se desarrollará en UNE EN 12620:2003+A1)

28.7.2 Sulfatos solubles (se desarrollará en UNE EN 12620:2003+A1)

28.7.3 Compuestos totales de azufre (se desarrollará en UNE EN 12620:2003+A1)

28.7.4 Materia orgánica. Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón.

28.7.5 Estabilidad de volumen de las escorias de alto horno enfriadas por aire

Las escorias de alto horno enfriadas por aire deben permanecer estables:

a) Frente a la transformación del silicato bicálcico inestable que entre en su composición, determinada según el ensayo descrito en el apartado 19.1 de UNE-EN 1744-1.

b) Frente a la hidrólisis de los sulfuros de hierro y de manganeso que entren en su composición, determinada según el ensayo descrito en el apartado 19.2 de UNE-EN 1744-1).

28.7.6 Reactividad álcali-árido

f) UNE EN 12620: 2003+A1: 2008 PARA ÁRIDOS PARA HORMIGÓN (sólo los que afectan a los áridos siderúrgicos)

REQUISITOS QUÍMICOS:

Sulfatos solubles en ácidos

SULFATOS: Los sulfatos del árido pueden dar lugar a la ruptura por expansión del hormigón. Una proporción importante del sulfato de las escorias cristalinas de alto horno está incorporada en los granos de escoria, y por ello, no tiene influencia en las reacciones de hidratación del cemento. Por lo que una alta proporción de sulfato en las escorias, es tolerable. Bajo ciertas condiciones, otros componentes de azufre presentes en el árido pueden oxidarse en el hormigón y producir sulfatos, que también pueden dar lugar a la fractura por expansión del hormigón.

Los sulfatos solubles en agua en los áridos reciclados determinados de acuerdo con la Norma EN 1744-1 son esencialmente sulfatos potencialmente reactivos (por ejemplo, yeso) y también pueden dar lugar a la fractura por expansión del hormigón.

Categorías según el contenido máximo en sulfato soluble en ácido

AZUFRE TOTALI: cuando se exija, el contenido total en azufre del árido y del filler, determinado de conformidad con el capítulo 11 de la Norma UNE 1744-1:1998, no debe exceder de los siguientes valores máximos:

- a) escorias de alto horno enfriadas por aire: 2% en masa de azufre
- b) áridos (no escorias enfriadas por aire): 1% en masa de azufre

Es necesario toma precauciones especiales si se detecta la presencia de pirrotina (una forma inestable del sulfuro de hierro FeS). Una vez confirmada su presencia, el máximo contenido total en azufre debe ser inferior al 0.1 %

Componentes que influyen sobre la estabilidad de volumen:

6.4.2 Componentes que influyen sobre la estabilidad de volumen de las escorias de alto horno enfriadas por aire

6.4.2.1 No se debe producir la desintegración del silicato dicálcico del árido de escorias de alto horno enfriadas por aire, ensayado de conformidad con el apartado 19.1 de la Norma EN 1744-1:1998.

6.4.2.2 No se debe producir la desintegración del hierro de los áridos de escorias de alto horno enfriadas por aire, ensayados de conformidad con el apartado 19.2 de la Norma EN 1744-1:1998.

5. ALGUNOS EJEMPLOS DE USOS:

DESCRIPCIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE ESCORIAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS:

A) PISTAS FORESTALES (COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAIS VASCO) “Reciclaje de escorias de acería. Viabilidad de utilización para la construcción de pistas forestales”:

Aspectos socioeconómicos: El empleo generalizado de hormigón u otros materiales habituales de construcción resulta inviable en pistas forestales por razones de coste, que en la práctica obligan a recurrir al aprovechamiento de subproductos y residuos procedentes de otros sectores. Así, en Gipuzkoa existe una amplia tradición muy arraigada en el sector forestalista, y que se remonta a más de cuarenta años, por la que se han venido afirmando las pistas a partir de escorias de acería procedentes del sector siderúrgico. El Plan Forestal Vasco 1994-2030 evidencia la carencia de infraestructuras de caminos forestales en la generalidad de la CAPV y en especial en un territorio como Gipuzkoa, caracterizado como se ha dicho por un relieve muy accidentado, núcleos rurales dispersos y caseríos aislados, parcelas de repoblación de pequeña extensión y precipitaciones frecuentes y abundantes.

Un camino forestal con 3- 3,5 m de anchura y con una base constituida por el material procedente de la excavación, requiere un afirmado que sirve de capa de rodadura, que en numerosas ocasiones se ha realizado a base de escorias. La mayoría de las pistas afirmadas con escorias de la red existente satisfacen plenamente los requerimientos de la actividad forestal, sin que a lo largo de los años se hayan observado síntomas de afección a los suelos, las aguas, la fauna o la flora.

Aspectos medioambientales:

Las escorias de acería de horno de arco eléctrico se clasifican como Residuos no Tóxicos ni Peligrosos, tanto en el Catálogo Europeo de Residuos como en la legislación estatal. Por otro lado, en la legislación de la CAPV, las escorias de acería están clasificadas como residuo industrial inerte. Esta clasificación es coherente con la definición de residuo inerte de la Directiva 1999/31 relativa al vertido de residuos, ya que las escorias de acería “...no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas... no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana”. No obstante, se tiene constancia de que, en el pasado las escorias de acería se han empleado ocasionalmente de forma inadecuada para la construcción de pistas y caminos forestales (en caliente, sin una estabilización previa, etc.), dada la ausencia de una normativa y de los correspondientes mecanismos de control que regulasen específicamente esta forma de valorización de un residuo inerte, pero potencialmente contaminante si se usa de forma indebida. En consecuencia, el Gobierno Vasco

acometió la regulación normativa de la construcción de pistas forestales y del empleo de las escorias de acería en diversas aplicaciones en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco, mediante la Ley 3/1998, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco, y el Decreto 34/2003 sobre la valorización y posterior utilización de las escorias, respectivamente.

B) GAMA DE HORMIGONES ESTRUCTURALES DE ALTAS PRESTACIONES CON ÁRIDO SIDERÚRGICO Y DENSIDAD CONTROLADA: ESTUDIO ELABORADO POR FINANCIERA Y MINERA (FYM Italcementi Group.) Y CENTRO TECNOLÓGICO LABEIN.

En la actualidad, la mayor parte de las escorias negras producidas por las acerías de la Comunidad Autónoma del País Vasco en el proceso de fabricación de acero en hornos de arco eléctrico, se depositan en vertederos, por lo que desde el punto de vista medioambiental son de gran interés, ya que su reutilización supone un gran ahorro de espacio, una menor contaminación ambiental y una reducción del consumo de recursos naturales en la explotación de canteras tradicionales.

Como punto de partida del proyecto, hacer referencia al trabajo realizado por FYM HORMIGÓN junto a Labein y Morteros Agote en el año 2008, denominado “**Proyecto Kubik**”, a través del cual se llevaron a cabo ciertas investigaciones relacionadas con el desarrollo de un Hormigón de alta resistencia fabricado con árido siderúrgico. El trabajo de I+D acometido en dicho proyecto, ha reforzado la necesidad de continuar investigando en este campo, con el objetivo de crear un hormigón estructural de altas prestaciones con densidad controlada a partir de árido siderúrgico, no existiendo hasta la fecha ningún competidor que use árido procedente de la valorización de las escorias negras en la fabricación de hormigón estructural.

Así, con este proyecto, se pretende conseguir un hormigón sostenible y estructural, con las mismas prestaciones en estado fresco que un hormigón convencional (existiendo la posibilidad de fabricar hormigón pesado), y con mejores prestaciones en estado endurecido en relación a los hormigones tradicionales, (mayor tenacidad y resistencia al fuego, existiendo la posibilidad de construir estructuras de mayor densidad).

Para el diseño de estos hormigones inicialmente se han utilizado las mismas líneas de investigación usadas en la construcción de un hormigón convencional, realizando los mismos ensayos, siendo válido para competir con cualquier tipo de hormigón recogido en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

El empleo de escorias negras tratadas y adecuadas (árido siderúrgico) al proceso de fabricación del hormigón convencional, ha hecho que sean pioneros en la utilización de residuos valorizados procedentes de la industria del entorno del País Vasco.



Existen varios estudios de investigación en el que se demuestra el uso de áridos siderúrgicos como áridos para la fabricación de hormigones. Algunos son:

- ***C. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE RESIDUOS METALÚRGICOS COMO ÁRIDOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN Autor: Iokin Berridi Aguirre***

Resumen: a la vista de los estudios e investigaciones que se han realizado hasta la fecha podemos sacar las siguientes conclusiones:

Por lo reflejado en el R.D. 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, resulta cada vez más costoso económicamente la eliminación mediante disposición en vertedero de estos residuos. En la normativa también se refleja una situación futura en la que se prohibirá el vertido de residuos que sean recuperables. Por ello, se ha creído que el presente estudio es necesario e importante para dar una salida sostenible y económicamente interesante a los mismos.

La producción de escorias y arenas de fundición en España es elevada. Por ello, se convierten en un problema prioritario sobre todo, en el País Vasco y Cataluña, donde la producción es mayor.

- ***D. HORMIGONES CON ESCORIAS DE HORNO ELÉCTRICO COMO ÁRIDOS (Tesis Doctoral Luciana Amaral de Lima)***

En España se producen alrededor de 700.000 t/año de escorias de acería que necesitan ser transportadas y almacenadas, esto conlleva un gran coste económico, que además se incrementa de año en año como consecuencia de una reglamentación medioambiental cada vez más estricta y de la escasa disponibilidad de vertederos adecuados [Rubio y Carretero, 1991].

La tendencia actual, en cuanto al tipo de horno utilizado, es el aumento del uso de hornos eléctricos, y como consecuencia el aumento de las escorias por ellos producidos.

Otro caso de uso de investigación sobre usos de escorias:

C) GRUPO ALFONSO GALLARDO- INTROMAC- EMPRESAS CONSTRUCTORAS:

Tienen un convenio específico para el Estudio de Vigilancia Tecnológica para Valorización de escorias siderúrgicas en diferentes unidades de obras de infraestructura civil y presentación de propuestas de ayuda para proyectos de investigación. Su finalidad es contribuir al reciclaje y valorización de escorias siderúrgicas generadas por la empresa obteniendo como valor añadido un material con mayores prestaciones técnicas aplicables a obras de infraestructura civil.



Otro convenio sobre Valorización de Escorias Siderúrgicas procedentes de Horno Eléctrico como árido en la fabricación de Mezclas Bituminosas cuyo objetivo es estudiar la idoneidad de las escorias siderúrgicas como áridos en la fabricación de mezclas bituminosas convencionales para diseñar y desarrollar fórmulas de trabajo del tipo de mezcla convencional, que se estime.

Empleadas como capas de rodadura; las escorias se incorporan como sustitución al árido convencional en diferentes porcentajes.

6. ESTUDIO DE CASO EN ESPAÑA Y EN OTROS PAISES EUROPEOS

Comparación de usos con otros países. (todo el desarrollo de este punto está sacado de la página de Euroslag).

Euroslag es la Asociación Europea de Organizaciones y Empresas implicadas en todos los aspectos de la fabricación y la utilización de escorias. La asociación promociona el uso de la escoria como un subproducto, y permite el intercambio de información e investigación, así como facilita la interacción con los órganos rectores.

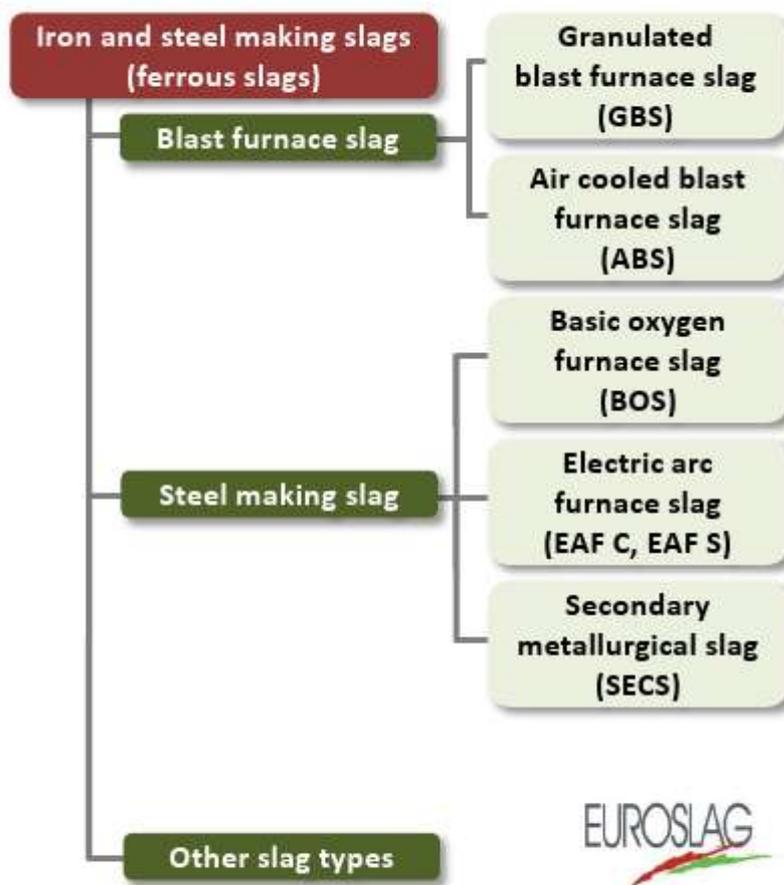
Las reuniones semestrales del Grupo de Trabajo - que consta de 20 miembros de 12 países europeos, se organizaron para el intercambio de información, seguimiento de la normativa europea de normalización, o, desarrollar la imagen de producto de escoria y proponer objetivos para el trabajo de una nueva investigación. El éxito de la cooperación de 12 países de Europa durante más de siete años (1993-2000) fue el nacimiento de EUROSLAG, la Asociación Europea de escoria.

La escoria es el subproducto de la fabricación de acero.

Cada año, se generan en Europa unos 45 millones de toneladas de escoria (hierro y escoria de acero).

Dependiendo del hierro y proceso de producción de acero se producen diferentes tipos de escoria:

- **escoria de alto horno** - refrigerado por aire (ABS) o granulada (GBS)
- **de oxígeno básico escorias de alto horno** (BOS)
- **arco eléctrico escoria de alto** - a partir de carbono (EEP C) o de acero inoxidable / alta producción de aleaciones de acero (EEP S)
- **escoria metalúrgica secundaria** , por ejemplo, la escoria de horno cuchara (SECS)
- **Otras escorias** , por ejemplo, de-sulfuración de escoria



Escoria de alto horno: surgen durante la fusión y la reducción de mineral de hierro.

Escoria granulada de alto horno (GBS) presenta propiedades de cemento y se utiliza como aglomerante hidráulico de cemento, hormigón, morteros y pastas.

También se obtiene escoria de alto horno granulada molida (GGBS). Se puede utilizar como un agregado para la construcción de carreteras, por ejemplo.

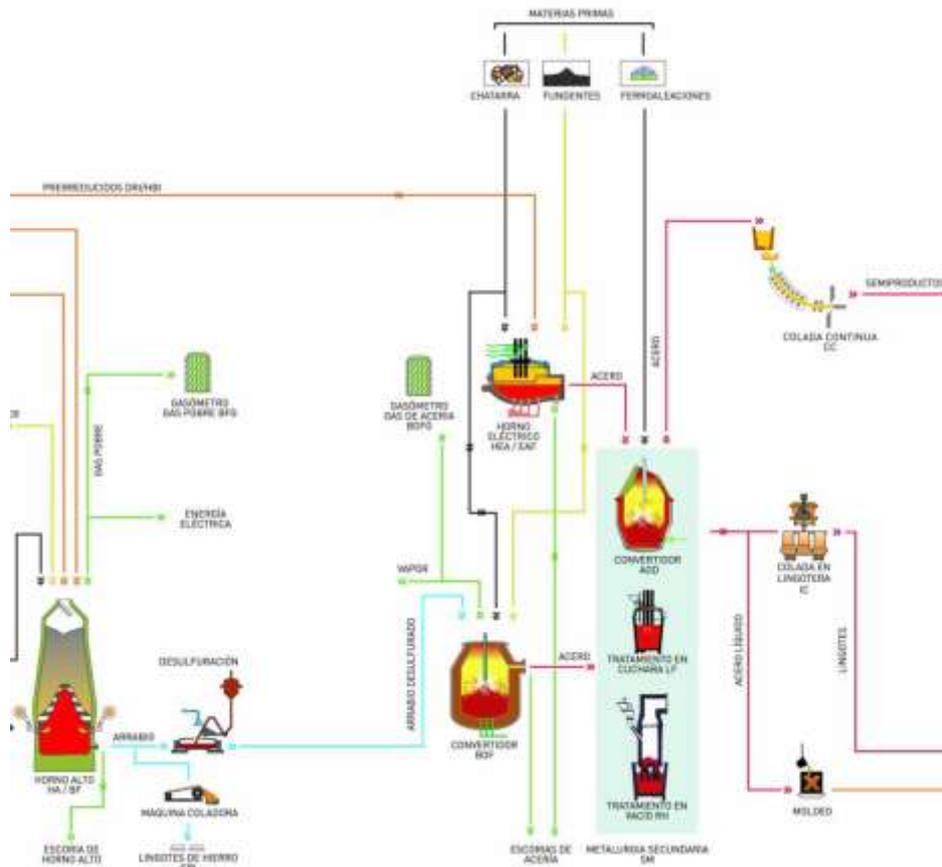
Escorias de horno básico al oxígeno - BOS (también llamado LD-convertidor de escorias): se utiliza para la construcción de carreteras y las capas superficiales de alta resistencia al deslizamiento. Otros campos de aplicación son la producción de fertilizantes o el uso de armaduras de piedra de ingeniería hidráulica.

Escoria de horno de arco eléctrico se produce durante la fabricación de acero en bruto por el horno de arco eléctrico (**EAF**): tiene una buena resistencia al pulimento y tiene una excelente afinidad con betún. Esto hace que sea un componente como árido en la superficie de asfalto y tratamientos superficiales de carreteras, ya que produce materiales que son resistentes a la deformación.

Escoria metalúrgica secundaria (SECS) se genera durante la producción y refinación de aceros de alta calidad de los procesos metalúrgicos secundario. Hoy en día, la producción de diferentes grados de aceros de alta calidad sin los procesos metalúrgicos, como la manipulación de aleación, desgasificación, calentamiento, agitación y descarburación es inimaginable.

Suelen tener altos contenidos de CaO y bajos niveles de oxidación. Algunas de estas escorias químicamente pueden desintegrarse en un polvo fino y por lo tanto se utilizan como fertilizantes. Si se obtienen gruesos de este tipo de escorias secundarias se suele reciclar en otros procesos metalúrgicos.

Otras escorias: La creciente demanda del consumidor para los aceros de mayor calidad ha llevado a la evolución de los sistemas adicionales de metalurgia secundaria. Ejemplos de tales sistemas son de desulfuración de metal caliente o procesos de reducción directa.



ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS ESCORIAS (UNESID)

PROPIEDADES:

Todas las medidas, incluido el tratamiento de la escoria sólida y cristalina (por ejemplo, trituración y cribado) se hace para asegurar que los agregados producidos y las mezclas cumplan con los requisitos indicados en las normas y reglamentos europeos. Al final, las propiedades químicas, mineralógicas y físicas de las escorias de hierro y el acero son similares a las de rocas naturales. Así, la mayoría de los campos de aplicación son idénticos a los de las rocas naturales.

Algunas propiedades de los agregados de escoria de hierro y acero en comparación con rocas naturales:

Propiedad	Escoria de alto horno	Escoria de acero	de Basalto	Greywacke
densidad aparente (g / cm ³)	2,4	3,6	3,0	2,7
resistencia a la compresión (N / 100		200	300	200

Propiedad	Escoria de alto horno	Escoria de acero	de Basalto	Greywacke
mm ²)				
Valor de impacto (%)	27	17	17	20
la resistencia al pulido (PSV)	50	57	50	56
absorción de agua (%)	2	1	<0,5	<0,5
resistencia a hielo /deshielo (%)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

La alta densidad, el valor bajo al impacto, la resistencia a la compresión, así como el buen pulido y la resistencia a los ciclos de hielo / deshielo - todas estas propiedades únicas hacen de las escoria de hierro y acero un subproducto adecuado para uso en construcción de carreteras.

Además, la forma cúbica y la textura de la superficie rugosa de escoria proporcionan una excelente resistencia a la formación de surcos en la superficie de asfalto curso.

Ejemplos de aplicaciones tradicionales de escoria son el uso como agregados y el componente de cemento en el sector de la construcción o como fertilizante

APLICACIONES:

La industria del acero produce no sólo de metal, sino también un subproductos que se ha utilizado con éxito en la construcción o en aplicaciones agrícolas. Hoy en día, aproximadamente 87% en peso de la escoria producida en Europa se utiliza para la construcción.

El uso de la escoria en vez de materiales naturales es una alternativa sostenible con una gran durabilidad en varias aplicaciones.

Uso como árido:

El uso de escoria de la producción de hierro y acero en la construcción se remonta a los romanos, que utilizaron la escoria de la producción de hierro de ese tiempo para construir sus carreteras. Hoy en día, la escoria todavía se utiliza para la construcción de carreteras.

Sin embargo, el uso de escoria no se limita sólo a caminos más, sino que son ampliamente utilizados en todo tipo de obra civil. Este material correctamente aplicado contribuye a la resistencia y la estabilidad mecánica de la construcción.

La alta resistencia mecánica de los granos de escoria superan a la de muchos áridos naturales. Para la producción de áridos, el procesamiento de la escoria se compone principalmente de un proceso de trituración y clasificación. Esto da una clasificación y otras propiedades relacionadas, de conformidad con **las normas de productos europeos** o las especificaciones acordadas con el cliente.

Los estándares globales contienen requisitos adicionales para la escoria de alto horno y la escoria de acero con respecto a la estabilidad de volumen.

El árido procedente de escoria puede ser utilizado como un material de construcción bien directamente , así como formando parte de un componente (mezclas que contengan agentes aglutinantes como cementos, betún o una sustancia que tiene propiedades de unión en contacto con el agua).

Además de la construcción, los áridos procedentes de escoria tienen algunos usos específicos como el tratamiento de aguas residuales debido a sus propiedades de absorción de contaminantes.

Aplicaciones de las escorias como áridos:

Uso total de	Escoria de alto horno		Escoria de acero (BOS, EAF C y S EEP)
	<u>Granulado</u> (GBS)	<u>Refrigerado por</u> <u>aire (ABS)</u>	
Sin consolidar y mezclas tratadas con x conglomerados hidráulicos		x	x
Mezclas bituminosas	x	x	x
Hormigón	x	x	x
Mortero	x	x	x
Escolleras			x
Gaviones		x	x

Uso total de	Escoria de alto horno		Escoria de acero (BOS, EAF C y S EEP)
Ferrocarril de lastre		X	X
Impermeabilización de cubiertas		X	X
Terraplenes y llenar	X	X	X
Selladores	X		X
Chorro de arena	X		
Tratamiento de aguas residuales		X	X
Control de calidad del aire			X

Cemento y adición al hormigón:

Hoy en día, el principal subproducto de la producción de metal caliente en los altos hornos es la escoria granulada de alto horno. Una de las aplicaciones más extendidas de la escoria granulada es la fabricación de cemento. Con la sustitución de clinker de cemento Portland por GGBS en el cemento, el consumo de materias primas naturales, así como las demandas de energía en la producción de cemento y las emisiones de CO₂ se han reducido significativamente.

En Europa está regulado según la norma UNE-EN 197-1 (el contenido de escoria va desde 6% y 95%).



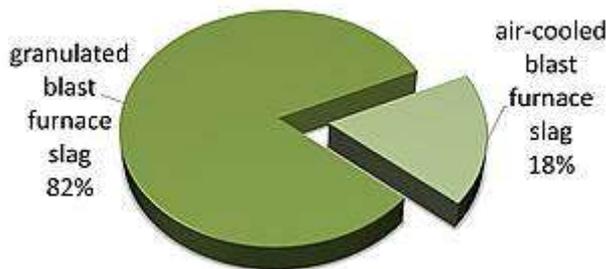
FIGURA: Almacenamiento de escoria granulada de alto horno (GBS)

Uso como fertilizante:

La selección cuidadosa y el tratamiento de escorias cualidades apropiadas asegura una actividad efectiva en el suelo.

ESTADÍSTICAS:

Cada dos años desde el año 2000, EUROSLAG lleva a cabo encuestas entre sus miembros (aceras europeas y empresas de procesamiento) para evaluar la importancia de los tipos de escoria diferentes y los productos fabricados a partir de ellos. Los resultados de la encuesta realizada en 2010 se dan las siguientes cifras:

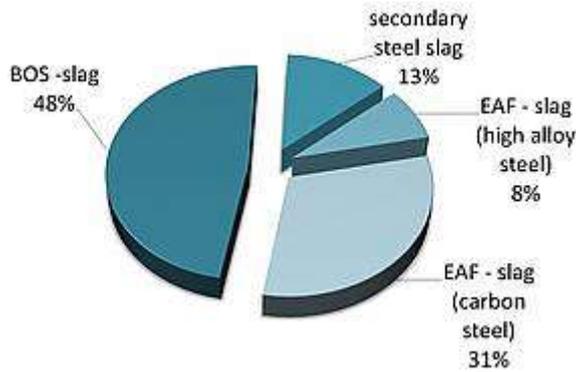


La producción de escoria de alto horno en 2010: 23,5 millones de toneladas (datos de A, B, FIN, F, D, I, L, L, E, SK, S, NL, Reino Unido)

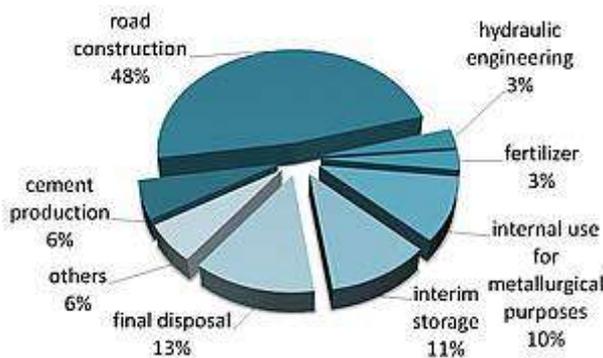
(Alemania, Bélgica, Finlandia, Francia, Dinamarca, Italia, Luxemburgo, España, Suecia, Suiza, Holanda y Reino Unido)



El uso de escoria de alto horno en 2010: 25,6 millones de toneladas (datos de: A, B, FIN, F, D, I, L, L, E, SK, S, NL, Reino Unido)



La producción de escoria de acero en 2010: 21,8 millones de toneladas (datos de: A, B, DK, FIN, F, D, GR, I, L, PL, RO, E, SK, SLO, S, NL, Reino Unido)



El uso de escoria de acero en 2008: 17,2 millones de toneladas (datos de: A, B, DK, FIN, F, D, GR, I, L, PL, RO, E, SK, SLO, S, NL, Reino Unido). DATOS DE 2008 (errata?)

SITUACION (LEGISLACION)

Durante más de 25 años, a pesar del uso general de productos de escoria en la construcción, ha habido un argumento continuo sobre si la escoria es un residuo o un subproducto. Aún hoy, la situación relativa a la clasificación de la escoria no es uniforme dentro de los estados miembros europeos. En varios países algunos de los tipos de escoria son considerados como subproductos, sin embargo, en otros que tienen una condición de residuo.

Antes de la revisión de la **Directiva Marco de Residuos - DMA - (Directiva 2008/98/CE)** en 2008, no existía una definición de los subproductos en la legislación europea. La DMA permite ahora una clara definición de los criterios que caracterizan un subproducto, así como un material que dejará de ser considerados como residuos y finalmente se convierte en un producto útil.

La escoria ferrosa puesta en el mercado cumple con los requisitos de la normativa nacional, así como las normas europeas armonizadas y especificaciones relacionadas

con los aspectos técnicos y ambientales en relación con el uso previsto. Por esta razón, la industria europea de acero y la escoria considera escoria un subproducto.

EUROSLAG se dedica a proporcionar los elementos necesarios de prueba a la Comisión de la UE de que la escoria es un subproducto y no un residuo.

Normas europeas o guías técnicas

Un requisito previo para la utilización con éxito de la escoria a largo plazo es que se cumpla con los requisitos relativos a los aspectos técnicos y ambientales que figuran en las normas armonizadas europeas o nacionales. A partir de 1990, la mayor parte de los requisitos establecidos en las normas nacionales pertinentes para la industria de la construcción se han armonizado y se sustituye por las normas europeas. Las normas europeas más importantes para el uso actual de escoria en el sector de la construcción y como fertilizante se dan en la tabla siguiente.

Normas europeas o guías técnicas

- EN 197-1: Cemento - Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes
- EN 206: Hormigón
- EN 1744-1: Las pruebas de las propiedades químicas de los áridos - Parte 1: El análisis químico
- EN 1744-3: Las pruebas de las propiedades químicas de los áridos - Parte 3: La filtración de los agregados
- EN 12945: Fertilizantes
- EN 12620: Áridos para hormigón
- EN 13139: Áridos para morteros
- EN 13043: Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas
- EN 13242: Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en obras de ingeniería civil y construcción de carreteras

Normas europeas o guías técnicas

- EN 13383-1: Escolleras - Parte 1: Especificaciones
- EN 13383-2: Escolleras - Parte 2: Métodos de ensayo
- EN 13285: Mezclas de áridos sin ligantes - especificaciones
- EN 14227-2: Mezclas tratadas con conglomerados hidráulicos - Especificaciones - Parte 2: mezclas de escoria consolidados
- EN 14227-12: Mezclas tratadas con conglomerados hidráulicos - Especificaciones - Parte 12: Suelo tratado por la escoria
- EN 15167-1: Escoria de alto horno granulada de tierra para su uso en la parte de hormigón, morteros y pastas 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad
- EN 13282: Aglomerantes hidráulicos de carreteras - Composición, especificaciones y criterios de conformidad
- EN 13450: Áridos para balasto de vías férreas

CONCLUSIONES (EUROSLAG):

Continuamente se está investigado y desarrollando con respecto a los nuevos campos de aplicación de las escorias.

La industria siderúrgica europea ha fundado institutos de investigación propios, que son responsables de la investigación sobre las escorias o de cooperar estrechamente con las universidades en este campo. Por ejemplo, ha sido posible el desarrollo de nuevos procesos de granulación para aumentar el contenido vítreo de los procesos de escorias de altos hornos o tratamiento para mejorar el volumen estabilidad de escorias de acero.

Las escorias tienen que cumplir con los requisitos de las normas nacionales y europeas (EN) y los aspectos ambientales en relación con el uso previsto.

Durante los últimos años la mayor parte de las normas nacionales correspondientes para la industria de la construcción han sido objeto de armonización hacia normas europeas comunes para todos los países miembros.

Las escorias deben cumplir con todos los requisitos químicos, físicos, técnicos y los requerimientos ecológicos de los campos de aplicación previsto. Para ello es necesario que cumplan con el equivalente a las normas aplicables a las materias primas y productos. Algunos productos de escoria incluso exceden las propiedades de los productos competitivos de lejos.

Teniendo en cuenta la experiencia a largo plazo en el uso de la escoria de alto horno y de acero los resultados son similares al de los productos primarios naturales calcáreos y no presenta ningún aumento en el riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

La producción de la escoria debe de estar continuamente certificada por un control de la producción. La mayoría de las normas europeas contienen criterios de conformidad, principalmente sobre el control de producción. Después de la certificación y control de terceros los productos serán etiquetados y comercializados con una marca CE.

Las escorias tener un mercado permanente en toda Europa con un valor económico positivo. El precio de mercado debe de ser comparable a los materiales alternativos y la demanda del mercado.

Los productos elaborados a partir de escoria reemplazan a los de origen natural y por lo tanto, ayudará a conservar los recursos naturales finitos. El uso de escorias de alto horno granulada para la producción de cemento y hormigón ahorra energía y reduce las emisiones de CO₂ emisiones en un 50% en promedio

No puede negarse que en algunas regiones de Europa y de vez en cuando, cuando el consumo de la industria de la construcción es débil, y la competencia con materiales naturales es fuerte, se hace difícil de vender toda la escoria generada como subproducto de hierro y fabricación de acero. Los niveles de existencias aumentan o disminuyen de acuerdo con la demanda del mercado, como ocurre con los materiales naturales.

Medio Ambiente:

Las ventajas de los productos de escoria:

Hasta el momento, no ha habido ningún caso de impacto ambiental negativo por el uso de la escoria siempre que se haya utilizado en estricta conformidad con los requisitos de la normativa pertinente.

El uso de escoria de hierro - cristalina o vitrificado - en lugar de piedras naturales como la piedra caliza o granito no sólo ahorra la energía que puede ser necesaria para extraer áridos naturales, sino que también elimina los impactos negativos asociados

con la minería, tales como efectos sobre la biodiversidad o la interrupción de el paisaje.

En el caso de la fabricación de cemento, el uso de escoria de alto horno granulada en lugar de clinker reduce las emisiones de CO₂ como resultado de un ahorro de combustible

Los cálculos hechos por los alemanes FEhS - Instituto de Investigación de Materiales de Construcción han demostrado que las emisiones de CO₂ se redujeron en cerca de 22 millones de toneladas en la industria del cemento (por lo tanto en la industria en su conjunto) en Europa en 2008, debido a la utilización de 24 millones de toneladas de escoria granulada de alto horno.

La reducción es equivalente al objetivo de Kioto de países como Bélgica y Holanda juntos. Por lo tanto, escoria de alto horno contribuye positivamente a la sostenibilidad de la industria europea en su conjunto y en la lucha contra el cambio climático.

Apoyo técnico a las empresas para la adopción de medidas de minimización de residuos, subvencionando a aquellas que decidan implantar técnicas tendentes a minimizar la producción de residuos en sus procesos o utilicen materias primas secundarias

- Apoyo a la investigación y el desarrollo de tecnologías tendentes a la reducción en origen y la reutilización, y a todas aquellas iniciativas que eviten la deposición de los residuos
- Promover la creación de una bolsa de subproductos, de forma que las empresas oferten residuos que puedan convertirse en materias primas secundarias
- Apoyo a todas aquellas iniciativas tendentes a la recuperación y/o valorización de los lodos de depuradora de procesos industriales

6. PROPUESTAS DE VALORIZACIÓN:

El uso de las Escorias como sustituto de Áridos está más que demostrado para algunos usos (bases y subbases de carreteras, como componente de mezclas bituminosas, como áridos en fabricación de hormigones y morteros, así como componente en la fabricación del cemento (y se está continuamente investigando sobre otros usos).

Para promover el uso y aplicación de estos productos:

- Debe de haber una apuesta por el uso de estos subproductos, incentivado por parte de la Administración: aunque la Legislación nacional sobre el uso de Escorias como Áridos, deja abierto la posibilidad de uso de este subproducto siempre que se cumplan las mismas condiciones que para los áridos convencionales, o incluso unas condiciones más restrictivas en algunos casos (lixiviación y expansividad), el problema es que deja la decisión sobre su posible uso a la Dirección de Obra. Si existen otras posibilidades (p.e canteras cercanas y los precios son similares, o incluso más bajos para el material convencional, la Dirección de Obra no considerará el uso de estos subproductos). **La Administración tendrá que obligar a su uso y no dejar la decisión a la Dirección de Obra.**

- La Administración ha de apostar por su uso, definiendo Leyes al respecto ya que no hay una legislación armonizada para la totalidad del territorio español. **En la Legislación que defina la Administración tendrá que concretar definiendo los porcentajes mínimos a utilizar en cada caso de estos áridos y prohibiendo el uso de material convencional si hay una alternativa de uso de áridos siderúrgicos.** Sólo hay Legislación específica en las zonas de mayor producción (País Vasco), y en Cataluña (donde parece que la Legislación en Materia Medioambiental está más adelantada que en el resto de España), pero tampoco obliga a su uso. En Andalucía su uso está regulado para el uso en cementera como materia prima y como árido de cubrición en vertederos de RSU (residuos sólidos urbanos).

- Para que se pueda dar salida a este material, debe de haber algún beneficio para las empresas que puedan utilizarlo. Existe una gran cantidad de canteras: No hay apuesta por el uso de estos subproductos porque la materia prima es abundante (existen muchas canteras de material de buena calidad por casi todo el territorio nacional). No se han podido consultar datos de precios de estos productos, pero los precios son más elevados que el del material convencional, por su localización (unas pocas zonas del territorio nacional) y por el precio del transporte (material más pesado).

- La Administración también debe de regular los costos de vertido para este producto y promover su reutilización antes que su eliminación (el precio de vertido difiere en las distintas Comunidades, pero en general es barato). Se tienen datos de gestión de estos residuos porque las empresas productoras están afectadas por el RD 508/2007, de 20 de abril (Reglamento E-PRTR), pero no existe un marco jurídico de obligación de comunicación sobre alternativas a su uso. **La Administración tendrá que obligar a buscar alternativas a la operación de depósito en vertedero.**

- La Administración debe de actuar como canal de comunicación entre las instalaciones industriales para la transferencia de materias primas secundarias.

Existe un fuerte lobby para su uso:

- **El poder que ejercen las cementeras es bastante elevado.** Es una industria fuerte en el territorio nacional y normalmente tienen intereses porque son poseedoras de canteras. No les interesa dejar de explotar sus canteras. Valorizan escorias en el proceso de producción del cemento porque ahorran materia prima (el uso de la escoria se debe a que tienen cercana alguna empresa productora de escorias y las valorizan sin coste apenas).

- **No hay asociaciones para promocionar su uso. Cada empresa actúa por sí misma.**

- Otro problema añadido es que **no hay garantía de suministro, ya que la producción de escorias está muy localizada.**

- Para poder comercializarlas hace falta tener un registro **y una clasificación de las mismas.** Normalmente, si la producción es >1000 tn/año, tienen que tener un registro completo. **Hace falta hacer una inversión elevada para hacer el registro.**

Podríamos influir en el mercado de áridos para utilizar las escorias:

- Tiene que haber una **apuesta fuerte por parte del sector.** Hace falta constituir entidades de colaboración en este sector. Para ello se hace necesario asumir unos costes: costes técnicos para comprobar los usos que se le puedan dar a las escorias; coste de asociación de empresas, costes de registro para los productos obtenidos (escorias).

- Haciendo que los **proyectos de colaboración entre empresa- grupo de investigación** sean muy **concretos** y aplicados a un problema puntual de la empresa para que pueda prosperar el resultado de esta investigación o pueda tener algún uso. Se hacen investigaciones que se quedan en las Universidades como proyectos nada más, y no tienen aplicación en el mundo empresarial.

- Tener en cuenta **beneficios ambientales:**

Implican eficiencia en costes y materiales a la sociedad.

Suponen ahorro en procesamientos que se dejan de hacer (extracción en canteras)

7. CONCLUSIONES.

VENTAJAS:

- ✓ Ahorros ambientales: implican eficiencia en costes y en materiales a la sociedad. El uso de escoria de hierro en lugar de piedras naturales como la

pedra caliza o granito no sólo ahorra la energía que puede ser necesaria para extraer áridos naturales, sino que también elimina los impactos negativos asociados con la minería, tales como efectos sobre la biodiversidad o el paisaje.

- ✓ Ahorros energéticos en procesamiento.
- ✓ Son seguros técnicamente. Se les exige las mismas condiciones que al árido natural (incluso más restrictivas porque se les exige condiciones sobre su posible expansividad y composición: UNE EN 1744-1)
- ✓ Hay problemáticas que no presentan frente a los áridos naturales: no contienen arcillas ni componentes orgánicos.
- ✓ Son seguras desde el punto de vista Medioambiental y de Protección a la Salud y la Higiene: recogida en el reglamento REACH (REGLAMENTO 1907/2006). Registro de Evaluación, Autorización y restricción de Productos Químicos.
- ✓ Reducción del impacto medioambiental y un beneficio espacial al mantener los vertederos sin ocupar, no depositando los residuos en vertedero.
- ✓ La reutilización de las escorias negras producidas por las acerías, para emplearlas en el proceso de fabricación del hormigón convencional, implica una menor contaminación ambiental y una reducción del consumo de recursos naturales.
- ✓ Existen variedad de empresas que se están dedicando a valorizar este subproducto
- ✓ Ahorro energético y reducción de las emisiones a la atmósfera generadas en el proceso de fabricación del cemento (disminución de las emisiones de gases con efecto invernadero (CO₂): la utilización de escoria de Alto Horno granulada para la fabricación de cemento puede reducir hasta 700 kg de CO₂ por tonelada de cemento fabricado)
- ✓ Disminución de las materias primas utilizadas para la fabricación de cemento.

EN CONTRA:

- ✓ En España existen gran cantidad de canteras y de buena calidad. En el caso de Andalucía, existen también canteras de buena calidad en las zonas de producción de las escorias, por lo que no se tiene en cuenta su posible uso. En países europeos, el número de canteras es menor, por lo que sí interesa su valorización.

- ✓ El tratamiento para el uso de la escoria (machaqueo y trituración), es muy caro debido a la gran dureza del material siderúrgico (mayor que para el material convencional).
- ✓ Fuerte lobby (grupos de influencia que intentan influir en las decisiones del poder ejecutivo o legislativo a favor de determinados intereses). Aunque su posible uso está demostrado por distintos estudios de investigación desde hace años, por algunos motivos no interesa su valoración (p.e. para seguir explotando canteras).
- ✓ Precio de vertido bajo: en cuanto a los residuos que van a vertedero, hay que indicar que el conocimiento actual sobre recuperación o valorización de materias ofrece tecnologías de probada viabilidad técnica para la mayoría de ellos, pero el precio actual de su gestión o la ausencia de empresas que lleven a la práctica otras soluciones, impide que los residuos sean valorizados en vez de acabar en vertederos

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- PRTR Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. RD 508/2007, de 20 de abril.
- Informe de Residuos Industriales No Peligrosos Diputación Cádiz
- Datos de Siderúrgica Sevillana (enero 2011, Clase de Carlos Sánchez en Escuela de Organización Industrial, enero 2011)
- Página y datos de EUROSLAG (<http://www.euroslag.org/>): Asociación de organizaciones y empresas interesadas en todos los aspectos de la fabricación y utilización de productos de escorias.
- Escorias y Derivados, S.A. (EDERSA)
- UNESID (UNIÓN DE EMPRESAS SIDERÚRGICAS).
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y Ministerio de Fomento)
- Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
- Memoria Anual Fabrica Alcalá de Guadaira 2010. Cementos Portland Valderrivas, S.A.

- Directiva Marco de Residuos - DMA - (Directiva 2008/98/CE)
- Santiago Oliver Sanjuán (UNESID)
- REACH (REGLAMENTO 1907/2006). Registro de Evaluación, Autorización y restricción de Productos Químicos)
- Departamentos de Agricultura y Medio Ambiente y de Obras Hidráulicas y Urbanismo de la Diputación Foral de Gipuzkoa (Javier Ansorena, Félix Izco, PATxi Tamés)
- FYM HORMIGÓN, Labein y Morteros Agote (PROYECTO KUBIK)
- INTROMAC (Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción)
- Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como áridos en las propiedades del hormigón (Autor: Iokin Berridi Aguirre)
- UNE EN 12620: 2003+A1: 2008 PARA ÁRIDOS PARA HORMIGÓN
- DECRETO 32/2009, de 24 de febrero, sobre la valorización de escorias siderúrgicas.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Obras para Carretera, PG-3 (Ministerio de Fomento)
- Decreto 34/2003, de 18 de febrero, del País Vasco
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-2008)

VALORACIÓN DE PROYECTO

CURSO: MASTER PROFESIONAL EN INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL, EDIC.2010-11

TÍTULO DEL PROYECTO	PROYECTO SOBRE RESIDUOS: UTILIZACIÓN DE ESCORIAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS.
ALUMNO	ANA MÉNDEZ PIÑA
TUTOR	MANUEL JOSÉ GARCÍA GÓMEZ

VALORACIÓN DEL PROYECTO:

1. GRADO DE PARTICIPACIÓN DEL ALUMNO

- ALTO GRADO DE PARTICIPACIÓN E IMPLICACIÓN
 DEDICACIÓN NORMAL, SIN EXCESIVO ESFUERZO
 BAJA DEDICACIÓN, POCO ESFUERZO

2. APLICACIÓN REAL A UNA EMPRESA

ALTA NORMAL BAJA

3. LOS OBJETIVOS INICIALES DEL PROYECTO:

- SE HAN CUMPLIDO
 SE HAN IDO ADAPTANDO A LAS CIRCUNSTANCIAS
 NO SE HAN ALCANZADO

4. LA CALIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO ES:

ALTA NORMAL BAJA

5. LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO Y LA DOCUMENTACIÓN ANEXA ES:

BUENA NORMAL NO ADECUADA

6. LA CALIFICACIÓN QUE UD. LE DA AL PROYECTO ENTRE 0 Y 10 PUNTOS ES DE: 8_ PUNTOS.

7. OBSERVACIONES:


Fdo. El Tutor

Fdo: El Director del Curso