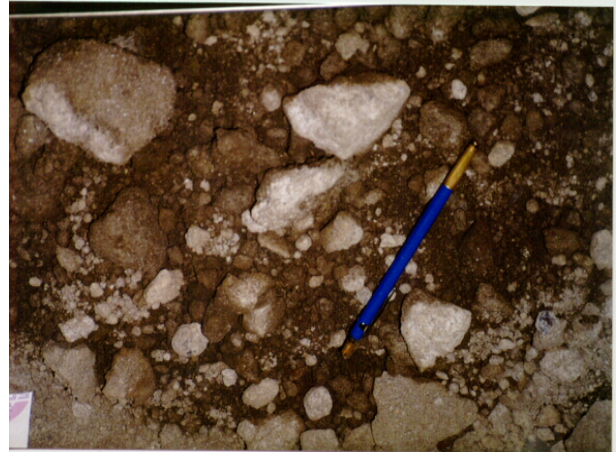


ESCORIAS DE HORNO ALTO

ESCORIA GRANULADA



ESCORIA CRISTALIZADA

1.- ORIGEN⁽¹⁾

Dentro de una fábrica de siderurgia integral, 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 materiales finales: arrabio y escoria. Estos productos fluyen juntos en estado líquido, a través de un orificio situado en la parte baja del crisol denominado piquera, a una especie de balsa, produciéndose la separación definitiva del arrabio y la escoria por diferencia de densidad.

La escoria que sale por la piquera del horno a una temperatura cercana a los 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.

2.- VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN

Los únicos hornos altos existentes en nuestro país se encuentran en Gijón (Asturias), que durante el año 2010 produjeron 3.992.921 t de arrabio. El volumen total de escorias de horno alto generadas durante ese mismo año se muestra en la Tabla 1: a 1.201.518 t, de las cuales 794.526 t fueron granuladas y 496.992 t cristalizadas⁽²⁾.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

Producción de arrabio (año 2010)	Producción total de escorias	Consumo de escorias	% Utilizado
3.992.921	1.201.518 t	Escorias granuladas: 794.526 t	66%
		Escorias cristalizadas: 496.992 t	34%

Tabla 1: Producción de escorias de horno alto⁽²⁾

Las escorias granuladas se utilizan fundamentalmente en la fabricación de cementos. El consumo por parte de la industria cementera durante el año 2009 ha ascendido a 888.189 toneladas (si bien es necesario puntualizar que no todas son escorias nacionales, algunas provienen de la importación). Su distribución por comunidades es la siguiente⁽³⁾:

Andalucía	Asturias	Cantabria	Castilla León	Cataluña	Murcia	Navarra	País Vasco	C. Valenciana
144.620	440.639	24.662	18.986	59.955	48.641	16.224	87.184	47.274

Tabla 2: Consumo de escorias de horno alto



En Asturias, aunque se han venido utilizando tradicionalmente tanto la escoria cristalizada como la granulada, la explotación industrial del residuo/materia prima secundaria no se organizó hasta 1988, año en que se creó una empresa especializada⁽⁴⁾ que comercializa las escorias y realiza los distintos tratamientos.

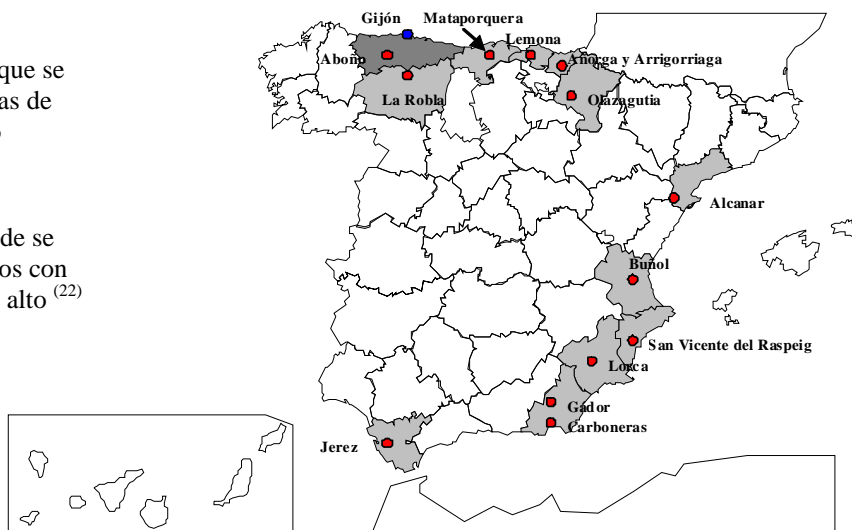
Debido al encarecimiento del producto por los costes de transporte, en algunas comunidades situadas a gran distancia del centro de producción, actualmente se están importando las escorias.

En el año 2007 entraron en funcionamiento dos sistemas granuladores tipo INBA (Tecnología Paul Wurth) para modificar la relación entre escoria granulada y cristalizada producida en los Hornos Altos de Gijón, a favor de la primera. La escoria granulada se produce en función de la demanda existente, y si no hay demanda entonces no se granula la escoria y se cristaliza para su posterior uso, principalmente en obra pública, carreteras, edificación. En 2010 se generó cierto stock de escoria cristalizada como un acopio intermedio previo a su venta.

ESCORIAS DE HORNO ALTO

LEYENDA

-  Provincia en la que se generan escorias de horno alto
-  Provincias donde se fabrican cementos con escorias de horno alto ⁽²²⁾



3.- VALORIZACIÓN

3.1.- PROPIEDADES⁽¹⁾

La composición química de la escoria fundida de horno alto depende de los minerales de hierro, de las cenizas del coque utilizado como combustible y de los óxidos de los fundentes empleados. La homogeneidad de la carga, así como la regularidad en la marcha de los hornos altos, ha contribuido a que las variaciones de la composición de la escoria sean mínimas.

Los principales componentes de la escoria son: CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃, S, FeO, MnO, K₂O, siendo los índices más utilizados el Índice de Basicidad ($I_b = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) y el Índice de Basicidad Simple ($I_{bs} = \text{CaO} / \text{SiO}_2$).

Los resultados medios de análisis químicos realizados en la factoría de Gijón muestran los siguientes resultados orientativos⁽²⁾⁽⁴⁾:

COMPUESTO	PORCENTAJE (%)
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
I _b	≤ 1,2
I _{bs}	≤ 1,3
Producción de escoria arrabio	306 kg/t de arrabio

Tabla 3: Composición química de las escorias de horno alto

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

3.2.- PROCESAMIENTO ⁽⁵⁾

La escoria que sale por la piquera del horno a una temperatura próxima a los 1500°C, se puede enfriar siguiendo diferentes técnicas, obteniéndose materiales con características de utilización claramente diferenciadas:

- Escoria cristalizada
- Escoria vitrificada (granulada o peletizada)
- Escoria expandida

La 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.

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 alveolares con aristas cortantes, de aspecto similar a una arena. La granulación vitrifica la escoria, convirtiéndola en un sólido cuyos átomos no han tenido tiempo de orientarse al estado cristalino por la rapidez del enfriamiento.

Una vez producida la escoria granulada, para su empleo en la industria del cemento 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.

La 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.

La 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.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

3.3.- PROPIEDADES DEL MATERIAL PROCESADO ⁽¹⁾ ⁽⁵⁾

3.3.1.- La escoria cristalizada

Propiedades físicas

El enfriamiento lento y controlado de la escoria fundida genera un material pétreo, la escoria cristalizada, de características similares a las rocas ígneas de origen volcánico: textura rugosa, color gris oscuro, forma predominantemente cúbica y estructura con abundantes poros externos e internos. Presenta una granulometría 0/200, y una absorción de agua del orden del 6%, aunque la escoria se seca con facilidad. Este material se conoce en Asturias como “escoria de foso”.

En la tabla siguiente figuran los valores medios de algunas características físicas de dos fracciones de muestras de escoria cristalizada de los hornos altos de la factoría de Gijón⁽⁴⁾.

	Fracción 0-40	Fracción 0-50
Densidad aparente (kg/dm ³)	2,38	2,32
Densidad real (kg/dm ³)	2,63	2,60
Absorción (%)	3,70	4,20
Peso específico real (<80µm)	2,98	2,94
Porosidad aparente (%)	8,80	9,80
Porosidad real (%)	20,4	20,80

Tabla 4: Propiedades físicas de la escoria cristalizada

La gran porosidad del material favorece el drenaje y la reactividad química, reduciendo la sensibilidad a la helada y la resistencia mecánica.

La textura rugosa le proporciona un gran rozamiento interno y una capacidad de soporte elevado, pero perjudica su trabajabilidad.

Otras propiedades físicas interesantes de este material son su baja conductividad térmica y su insensibilidad al agua.

Propiedades químicas

Como puede apreciarse de la composición química que figura en el apartado 3.1, hay cuatro óxidos principales –cal, sílice, alúmina y magnesia– que constituyen más del 95%. La composición química de la escoria procedente de un determinado horno alto es bastante constante en el tiempo, como consecuencia de la exigencia de que las distintas coladas proporcionen una fundición homogénea.

La escoria cristalizada puede tener una cierta capacidad de autofraguado debida a la pequeña parte de escoria que no cristaliza y queda en estado vítreo.

La escoria puede presentar una cierta inestabilidad volumétrica debida al disilicato de calcio que corresponde al cambio de fase entre la forma metaestable “beta” y la forma

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

“gamma”. Este cambio de fase viene acompañado de un aumento de volumen del orden del diez por ciento. El disilicato de calcio no se forma en cantidades significativas si la relación entre CaO y MgO a SiO₂ permanece por debajo de ciertos límites⁽⁶⁾.

Otro tipo de inestabilidad puede ser la debida a la reacción de los compuestos de hierro. En la tabla siguiente figuran datos sobre los contenidos de azufre, sulfatos y óxido de hierro de la escoria que se produce en nuestro país, que se sitúan en valores bajos pero que si aparecieran en elevadas cantidades podrían dar lugar a procesos expansivos en hormigón⁽⁴⁾:

	Fracción 0-40	Fracción 0-50
Azufre total (expresado en S)	1,16%	1,02%
Sulfatos (expresado en S)	0,62%	0,59%
Óxido de hierro (FeO)	0,40%	0,38%

Tabla 5: Propiedades químicas de la escoria cristalizada

Propiedades mecánicas

La escoria cristalizada es un material no plástico, no susceptible a la helada y con un buen comportamiento drenante. Se extiende y compacta fácilmente y tiene una densidad de compactación frecuentemente inferior a la de los materiales convencionales para terraplén. Es adecuada para su empleo en la estabilización de suelos húmedos y blandos en las primeras etapas de la construcción del terraplén. Las placas de carga efectuadas sobre este material dan valores superiores a 1.000 kg/cm².

La resistencia mecánica de la escoria cristalizada varía notablemente en relación directa con su porosidad, que es función del método de enfriamiento empleado.

A continuación se presentan datos sobre algunas propiedades mecánicas de las escorias cristalizadas de los altos hornos de Gijón⁽⁴⁾ y algunos datos obtenidos de bibliografía norteamericana^{(7) (8)}.

Propiedades	Datos españoles		Datos americanos
	Fracción 0-40	Fracción 0-50	
Desgaste Los Ángeles	42%	39%	35-45%
Estabilidad frente al sulfato sódico	-	-	12%
Ángulo de rozamiento interno	45°	45°	40°-45°
Dureza (escala de Moh's)	-	-	5-6
CBR	56	133	>250

Tabla 6: Propiedades mecánicas de la escoria cristalizada

Los valores del coeficiente de Los Ángeles se sitúan próximos al límite admisible para su utilización en hormigón estructural.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

3.3.2.- La escoria granulada

Propiedades físicas ^{(7) (8)}

La escoria granulada se presenta como una arena 0/6 mm, con un tamaño medio del grano de 1 mm cuando se granula en cubeta. La cantidad de finos (tamaños inferiores a 80 µm) que presenta es pequeña, del orden del 5 al 10%, aunque en el caso de escorias muy activas este porcentaje puede aumentar durante los procesos de manipulación.

La fracción superior a 5 mm se caracteriza por la presencia de elementos inertes de color oscuro y gran dureza, que no están vitrificados sino cristalizados.

La densidad aparente de la escoria granulada es muy variable, entre 0,5 y 1,5 t/m³, y su peso específico es aproximadamente 2,86. La densidad de la escoria granulada está en cierto modo ligada a su actividad, de manera que las escorias más activas presentan densidades más bajas, mientras que las escorias más densas son también las menos activas.

La escoria granulada presenta un ángulo de rozamiento interno de 60°. Es alveolar y friable. La friabilidad se mide por la cantidad de finos producidos en un ensayo de molienda normalizado. Esta propiedad interviene directamente en la determinación del coeficiente de reactividad (α) y en la reactividad de la escoria, es decir, en su velocidad de fraguado.

El contenido de agua varía del 5 al 25% e incluso más para las escorias granuladas más activas.

Una vez molidas, las escorias presentan una finura Blaine de 400 a 500 m²/kg cuando van a ser utilizadas para la fabricación de cemento, y un tamaño máximo de 0,2 mm si se van a emplear en hormigón.

En el año 2004 se realizó un convenio con el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) para el desarrollo de un cemento para carreteras con escoria granulada molida (conglomerante hidráulico "Asturcón").

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. En este caso los iones no tienen tiempo de ordenarse según una red cristalina y solidifican en estado vítreo. En su aspecto exterior esto se manifiesta por la angulosidad y friabilidad de la superficie de las partículas.

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. La reacción es mucho más lenta que en el caso del cemento, existiendo tres vías para acelerarla: utilización de activantes químicos,

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

aumento de la superficie específica y aumento de la temperatura. De las dos primeras posibilidades (la tercera sólo es factible en elementos prefabricados), la más utilizada es la primera y en especial la activación básica, que consiste en la utilización de elementos que aumentan el pH de la fase acuosa por encima de 12, con lo que se acelera la disolución de componentes. Los activantes básicos más utilizados son el cemento y sobre todo la cal.

3.3.3.- La escoria peletizada ⁽⁹⁾

A diferencia de la escoria cristalizada y expandida, la escoria peletizada tiene una forma redondeada y textura lisa, siendo su porosidad y capacidad de absorción de agua mucho más baja.

El tamaño de los granos puede estar comprendido entre 13 y 0,1 mm, siendo más habituales los valores comprendidos entre 9,5 mm y 1 mm. La densidad de conjunto del material es aproximadamente 0,85 t/m³.

3.3.4.- La escoria expandida ⁽⁹⁾

Los granos de escoria expandida machacados, son angulares, sensiblemente cúbicos, más rugosos y porosos, y menos densos que los de la escoria cristalizada.

La densidad de conjunto de este tipo de escoria es aproximadamente el 70% de la densidad de la escorias cristalizada, tomando valores comprendidos entre 0,80-1,04 t/m³.

3.4.- APLICACIONES

Las aplicaciones que pueden tener las escorias de alto horno en diferentes campos de la construcción se recogen en la tabla 7⁽²⁴⁾:

Escoria de alto horno		
Enfriada con aire	Peletizada	Granulada
Aglomerado asfáltico Árido para Hormigón/Albañilería Aislamiento/lana mineral Materia prima para la fabricación de cemento Agricultura/Mejora del suelo Relleno	Hormigón de albañilería Hormigón ligero Relleno ligero Aislamiento Capa base de carreteras	Cemento con adiciones Suelo-cemento Hormigón compactado con rodillo Capa base de carreteras Agricultura/Mejora del suelo

Tabla 7: Aplicaciones de las escorias de alto horno

3.4.1.- Obras de tierra y terraplenes ⁽²⁰⁾

Escoria cristalizada

Los criterios a tener en cuenta para la utilización de las escorias de horno alto en obras de tierra son los mismos que los de aplicación para materiales convencionales.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

Para su valorización en terraplenes puede ser necesario, en algún caso, un machaqueo primario. En cuanto a la compactación de las escorias cristalizadas, no se ha encontrado ninguna prevención específica, pudiéndose utilizar los equipos convencionales de compactación.

Es conveniente estudiar previamente si existe riesgo con los lixiviados y adoptar las medidas necesarias para que no se produzcan acumulaciones de agua dentro o en contacto con las escorias, siendo muy recomendable disponer de un buen sistema de drenaje.

No obstante, hay que señalar que las escorias de horno alto 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.

3.4.2.- Carreteras

Escoria cristalizada ⁽⁵⁾

La escoria cristalizada de horno alto es un material que puede utilizarse como árido artificial en la construcción de carreteras. En países como Estados Unidos se emplea ampliamente en este campo en bases granulares y mezclas asfálticas en caliente ⁽⁷⁾.

La principal ventaja de la utilización de estas escorias deriva de la gran cantidad de poros internos que poseen, que las confiere 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 del tráfico, prefiriéndose su empleo en **capas inferiores del firme**. En ciertas ocasiones, dependiendo de la especial composición química de la escoria, pueden producirse fenómenos de descomposición, falta de durabilidad y de expansión, que pueden llegar a arruinar las obras. Por esta razón, en países como Bélgica, Francia o el Reino Unido, y en la nueva normativa europea sobre áridos para carreteras, se han impuesto especificaciones adicionales que tienen en cuenta la composición química de la escoria, principalmente los contenidos en CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ y S (total), y las inestabilidades debidas a la presencia de hierro.

En su aplicación en **capas tratadas** con conglomerantes, presentan ventajas frente a los materiales de cantera o gravera utilizados en granulometría densa, en los que cualquier exceso de agua de amasado puede originar acolchamientos 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 como conglomerante. Este material se fabrica, pone en obra, compacta y termina en forma análoga a la grava-cemento, siendo sus campos de aplicación en carreteras en bases y subbases, arcenes y refuerzos de firmes ^{(1) (5) (10) (11)}.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

Escoria granulada ^{(5) (7) (12) (13)}

En carreteras, la utilización más importante de la escoria granulada es en la fabricación del material “**grava-escoria**”. Consiste en una mezcla homogénea de materiales granulares (áridos), 15 a 20% de escoria granulada de horno alto (conglomerante), catalizador de fraguado (normalmente cal) y agua, que convenientemente compactada, se puede utilizar en la construcción de firmes de carreteras. Este material tiene una resistencia inicial baja y crece después de forma continua con el tiempo, consiguiendo valores a los 90 días, parecidos a los que se obtienen con la grava-cemento a los 7 días, y estabilizándose, en un crecimiento ya muy lento, al cabo del año. La aplicación fundamental de este material es como capa de base para todo tipo de tráfico.

La grava-escoria es un material muy utilizado en Europa, especialmente en Francia, por las ventajas técnicas, económicas y ecológicas que su empleo representa y la experiencia existente es superior a 20 años.

A pesar de sus ventajas, las capas de grava-escoria han sido poco utilizadas en España, entre otras razones porque la producción de escoria ha estado localizada únicamente en tres zonas (Sagunto, Vizcaya y Asturias), y actualmente sólo en Asturias, concentrándose su consumo principalmente en la zona norte del país.

3.4.3.- Edificación y obra pública.

Escoria cristalizada

Árido para hormigón

La escoria cristalizada se puede emplear como árido tanto para mortero como para hormigón, comprobando que carece de compuestos que afecten a la estabilidad de volumen. Para ello, la norma de áridos para hormigón especifica que deben realizarse ensayos de acuerdo con la norma EN 1744-1:1998.

Para su uso en mortero, además de cumplir las especificaciones generales que se establecen para los áridos naturales, se debe prestar atención a la pérdida por calcinación y sustancias solubles en agua.

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE permite la utilización de escorias siderúrgicas apropiadas, y dentro de éstas se pueden incluir las escorias siderúrgicas enfriadas por aire (según UNE-EN 12620:2003), siempre y cuando se compruebe previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. La norma europea establece categorías específicas para las escorias enfriadas al aire en el contenido de sulfatos admisible así como un límite en el contenido de azufre total del 2% de S (1% para los áridos naturales).

En otros países existen normas específicas para la utilización de escorias cristalizadas como árido para hormigón, como la norma inglesa BS 1047 que recoge los requisitos que deben cumplir estas escorias para ser empleadas como árido grueso. Estas normas, además de exigir la estabilidad de las escorias, establecen otros requisitos

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

como la granulometría, el contenido máximo de sulfatos, absorción y la densidad de conjunto. Según esta norma se deben realizar algunos ajustes en la dosificación del hormigón para conseguir una permeabilidad de valores similares a los que se obtienen cuando se utiliza árido natural rodado.

Escoria granulada

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.

En España estos cementos se clasifican, en función del contenido de escoria de acuerdo con lo recogido en la Tabla 8⁽¹⁵⁾:

Tipo de cemento	Denominación	Contenido de escorias de horno alto
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% ^(**)

^(*) Contenido total de escoria, humo de sílice, puzolana, cenizas volantes, esquistos calcinados y caliza.

^(**) Contenido total de escoria, puzolana y cenizas volantes.

Tabla 8: Tipos de cementos con escorias

El cemento Portland con escoria (CEM II) son adecuados para hormigones en masa o armados, incluido en grandes volúmenes. Están recomendados para cimentaciones,

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

obras portuarias y marítimas y tubos de hormigón, canales y otras aplicaciones hidráulicas. En cambio está prohibida su utilización en hormigón pretensado. El cemento CEM II/B-S es muy adecuado para su utilización con áridos potencialmente reactivos (se recomienda que tengan bajo contenido en alcalinos) y adecuado CEM II/B-M.

Los cementos de horno alto (CEM III) se pueden utilizar en hormigón en masa y armado, excepto el CEM III/C, siendo muy adecuados CEM III/B y adecuados CEM III/A para grandes volúmenes. El hormigón en masa se puede utilizar en obras portuarias y marítimas, además de tubos hormigón, canales y otras aplicaciones hidráulicas. El hormigón armado tiene las mismas usos del hormigón en masa, además de ser adecuado en cimentaciones (excepto el CEM III/B). Es muy adecuado para hormigones con áridos potencialmente reactivos (se recomienda que tengan bajo contenido en alcalinos).

El cemento compuesto (CEM V) es recomendable para hormigón en masa y armado, excluyendo el cemento CEM V/B que no es recomendado para hormigón armado. El cemento CEM V/A es adecuado para para grandes volúmenes. Es recomendado para presas de hormigón compactado.

La utilización de los cementos que incorporan escorias de alto horno en hormigón estructural se regula según la Instrucción EHE.

Adición al hormigón

Las escorias granuladas molidas de horno alto no están permitidas como adición al hormigón por la EHE⁽¹⁶⁾, ni tampoco aparecen contempladas en la norma europea UNE EN 206:2008 "Hormigón". Sin embargo, existen una serie de normas UNE experimentales que desarrollan los procedimientos de ensayos físicos y químicos para el control de estas escorias. Asimismo, la norma UNE 83481:1996:EX⁽¹⁷⁾: recoge las recomendaciones de uso de las escorias granuladas utilizadas en hormigones y morteros fabricados con cemento portland tipo I.

La cantidad de escoria molida que se puede adicionar al hormigón suele expresarse según⁽¹⁷⁾:

$$P_s = 100 \times \frac{S}{S + C}$$

donde:

P_s es el porcentaje de escoria molida añadida como adición al hormigón.

S es el contenido de escoria molida en kg/m^3 .

C es el contenido de cemento en kg/m^3 .

Los porcentajes máximos de escorias molidas a añadir según el tipo de hormigón o mortero_{son}⁽¹⁷⁾:

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

- Hormigón en masa: 70%
- Hormigón armado: 50%
- Mortero: 70%

En la actualidad, se está elaborando normativa europea específica para regular la utilización de las escorias como adición a hormigones, morteros y pastas, estando ya publicadas las referentes a los criterios de conformidad⁽¹⁸⁾:

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. Asimismo, 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.).

Las resistencias mecánicas de estos hormigones y morteros, tanto a compresión simple como a flexión, pueden tener un amplio rango de variación que dependerá, entre otros factores, de la categoría resistente del cemento utilizado, del porcentaje de escoria molida, de la relación agua/(cemento+escoria molida), de las condiciones de curado y de las condiciones medioambientales. La contribución de las escorias molidas como adición al hormigón a la resistencia mecánica de éste, es pequeña a las primeras edades, aumentando significativamente con la edad.

3.5.- OBRAS REALIZADAS

3.5.1.- Obras de tierra y terraplenes.

En el Principado de Asturias se han utilizado escorias cristalizadas en la construcción de terraplenes sobre suelos blandos, por sus buenas propiedades mecánicas.

3.5.2.- Carreteras

En **España** la grava-escoria se ha utilizado fundamentalmente en Asturias y en el País Vasco; también se han realizado algunas obras en Cantabria y en León.

Prácticamente en todas las obras de carreteras que se realizan en la zona central de Asturias han utilizado escorias en las capas de firmes. Las obras más importantes en las que se ha utilizado grava escoria como base de carretas han sido, entre otras:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| - San Miguel-Marcenado (1991) | - Autovía minera (2003) |
| - Variante de Avilés (1991) | - Variante de Antromero (2005) |
| - Accesos a Mieres (1992) | - A-8 Tamón (Villalegre) (2005) |
| - Dupont (1992) | - Explanada de Aboño (2005) |
| - La Vegona-Vegarrozadas(1992) | - Desdoblamiento AS-17 AS-18 |
| - Cueto-Latores (1999) | (Oviedo – Gijón) – 2006 |
| - Parque Principado (1999-2000) | - Carretera Luanco – Candás (2006) |

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

En **Suecia**, se utilizó escoria cristalizada en la subbase de un tramo de la carretera E4, construida en 1986. Posteriormente, en 1995, la carretera fue reconstruida reutilizando, por una parte, escoria de la carretera y, por otra, escoria nueva en dos carriles adicionales en la capa de subbase. En el marco del proyecto europeo ALT-MAT (2000), se llevaron a cabo nuevos ensayos en los tramos construidos. Entre las conclusiones de los mismos, se determinó que las propiedades de aislamiento térmico de las escorias, junto con su mayor dureza, permiten reducir los espesores de capa, lo que conlleva ahorro en consumo de recursos naturales y ventajas económicas. Por otra parte, los triaxiales dinámicos y las medidas del deflectómetro de impacto han demostrado un marcado incremento de la dureza de la escoria con el tiempo. Por último, los test de lixiviación no han desvelado ningún impacto ambiental derivado del uso de las escorias.⁽²³⁾.

3.5.3.- Edificación y obra pública

A continuación se enumeran algunas de las obras que se han realizado en nuestro país en las que se han empleado cementos con escorias granuladas⁽¹⁹⁾:

- Ampliación de Puerto de Bilbao, donde se utilizaron unas 90.000 t de CEM III-B con una dosificación de 300 kg/m³.
- Obras de saneamiento y abastecimiento del Consorcio de Aguas de Bilbao, para las que se emplearon 24.000 t de cemento tipo CEM III-A.
- Recrecimiento del Canal de Lodosa (puesta en obra de 60.000 t de hormigón con un contenido de cemento de 300 kg/m³).
- Cimentaciones en La Ribera del Ebro en Navarra y La Toja.
- Canales de riego en Los Monegros, (Zaragoza-Huesca).
- Presa de Laboteta en Gayur (Zaragoza).
- Obras de pavimentación y ampliación del Puerto de Pasajes.

4.- CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

En España, la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados establece en su artículo 6 que la determinación de los residuos que han de considerarse como residuos peligrosos y no peligrosos se hará de conformidad con la Lista Europea de Residuos (LER) establecida en la decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000.

Las Decisiones Comunitarias 94/3/CE y 94/904/CE han sido derogadas por la Decisión 2000/532/CE mediante la que se aprueba La Lista Europea de Residuos. La orden MAM/304/2002 de 8 de febrero (con corrección de errores de 12 de marzo), publica en su Anejo 2 la mencionada Lista Europea de Residuos.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

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

- 19 02 01 Residuos del tratamiento de escorias, y están caracterizadas como residuos no peligrosos.
- 19 02 02 Escorias no tratadas, y están caracterizadas como residuos no peligrosos.

Ventajas

- Disminución parcial o total del volumen de 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 Horno Alto granulada para la fabricación de cemento puede reducir hasta 700 kg CO₂ por tonelada de cemento fabricado (potencial reductor de 800.000 t CO₂/año desde el año 2007 por el uso de las escorias granuladas producidas en España).

Inconvenientes

- Desde el punto de vista medioambiental, se ha estudiado la posibilidad de contaminación producida por las aguas de escorrentía que atraviesen acopios o capas granulares de escoria. Los resultados obtenidos arrojan un resultado favorable para el material, pues únicamente se ha observado una ligera alcalinización de la aguas fácilmente neutralizada por la acción del CO₂ del aire y la acidez de las lluvias⁽⁸⁾.
- El consumo de energía en el procesado de la escoria para su utilización en el cemento y el hormigón es bastante elevado ya que es un material que debe molerse muy finamente.

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⁽²¹⁾.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

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⁽²¹⁾ (Tabla 9).

Tipo de cemento	Denominación	Contenido de escorias granuladas de horno alto	Precio euro/t
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%	-

Tabla 9: Precios de distintos cementos que incorporan escorias granuladas

6.- NORMATIVA TÉCNICA

6.1.- CARRETERAS

- AFNOR. “Norme Française P18-302”
- BSI. “British Standard Specification for Air-Cooled Blastfurnace Slag Aggregate for Use in Construction”, BS 1047:1983, British Standards Institution, 1983.
- NLT-309/89. “Evaluación de la actividad de una escoria granulada de horno alto”.
- UNE-EN 13242:2003+A1:2008 Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes
- UNE-EN 13043/AC:2004 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.
- UNE-EN 13043:2003 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas
- UNE-EN 1744-4:2007 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 4: Determinación de la sensibilidad al agua de los materiales de relleno para mezclas bituminosas.
- UNE-EN 1744-1:2010 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.
- Design Manual for Roads and Bridges, The Highways Agency, The Scottish Office Development Department, The Welsh Office, The Department of the Environment from Northern Ireland, Amendment, February 2007.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

- Manual of Contract Document for Highway Work, Specification for Highway Works, Series 0600 "earthworks", Amendment - November 2009.
- UNE-EN 14227-4:2007 "Mezclas con conglomerante hidráulico. Especificaciones. Parte 2: Mezclas ligadas con escorias".

6.2.- EDIFICACIÓN Y OBRA PÚBLICA

NORMATIVA PARA CEMENTOS CON ESCORIAS GRANULADAS DE HORNO ALTO

- Ministerio de Fomento. "Instrucción para la recepción de cementos (RC-08)". 2008.
- UNE 80300 IN: 2000. "Cementos: Recomendaciones para el uso de los cementos".
- UNE-EN 197-1:2000. "Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes".
- UNE 80303-1:2001/1M: 2006. "Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a los sulfatos".

NORMAS SOBRE HORMIGONES CON ADICIÓN DE ESCORIAS GRANULADAS MOLIDAS DE HORNO ALTO

- Su utilización en hormigón estructural se regula según la Instrucción EHE, en la que no se permite la adición de escorias granuladas al hormigón y se acepta la utilización de los cementos estipulados en la RC-08 para hormigón en masa o armado.
- UNE 83481 EX. "Adiciones al hormigón. Escorias granuladas de horno alto. Recomendaciones de uso para las escorias granuladas molidas utilizadas en los hormigones y morteros fabricados con cemento portland tipo I". 1996.
- EN 15167-1 Escorias granuladas molidas de alto horno para su uso en hormigón, mortero y lechadas. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
- EN 15167-2 Escorias granuladas molidas de alto horno para su uso en hormigón, mortero y lechadas. Parte 2: Evaluación de la conformidad.

NORMATIVA DE ÁRIDOS PARA MORTERO Y HORMIGÓN

- Ministerio de Fomento. "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)". 2008.
- UNE-EN 13139:2003/AC: 2004. "Áridos para morteros".

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

- UNE-EN 12620:2003/AC: 2004 “Áridos para hormigón”.
- UNE 146121:2000. “Áridos para la fabricación de hormigones. Especificaciones para los áridos utilizados en los hormigones destinados a la fabricación de elementos de hormigón estructural”.
- BS 1047. “Air-cooled blastfurnace slag aggregate for use in construction”. 1983.
- UNE-EN 12620/AC:2004 Áridos para hormigón.
- UNE-EN 12620:2003 Áridos para hormigón
- UNE EN 206:2008 “Hormigón”.

OTRAS NORMATIVAS

- UNE-EN 13383-1/AC: 2004 Escolleras. Parte 1: Especificaciones.
- UNE-EN 13383-1:2003 Escolleras. Parte 1: Especificaciones.
- UNE-EN 13383-2:2003 Escollera. Parte 2: Métodos de ensayo.

7.- REFERENCIAS

- [1] RUIZ-CUEVAS LOPEZ-PARA, F.; IBARZABAL, J.L. “Presentación del producto escoria-escoria. Materiales básicos, fabricación, características y propiedades”, Jornadas sobre Escorias Tratadas. Oviedo, noviembre, 1988.
- [2] ARCELORMITTAL ASTURIAS, S.A. Información facilitada por Arcelor Mittal Asturias, S.A.
- [3] OFICEMEN. Información facilitada por OFICEMEN.
- [4] ESCORIAS Y DERIVADOS, S.A. Información facilitada por EDERSA.
- [5] RUÍZ RUBIO, A.; VAQUERO GARCÍA, J.J. “Aplicaciones de las escorias de horno alto en la técnica de carreteras”, Revista Ingeniería Civil, CEDEX, nº 71. 1989.
- [6] AFNOR. “Norme Française P18-302”.
- [7] COLOMBIER, G. “Caracterisation de la qualité des laitiers granulés par le coefficient d’activité”, Bull. Liaison Labo P. et Ch. special Q. 1970.
- [8] PIRET, J. “Travaux effectués avec l’aide financière de la CECA durant les 10 dernières années”, Centre de Recherches Métallurgiques. 1978.
- [9] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). “User guidelines for waste

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

and by- product materials in pavement construction". 1997.

- [10] GUTIÉRREZ, M. "Presentación del producto escoria-escoria. Características y clasificación de la mezcla", Jornadas sobre Escorias Tratadas. Oviedo, noviembre, 1988.
- [11] PÉREZ-HOLANDA, F. "Presentación del producto escoria-escoria. Fabricación y puesta en obra", Jornadas sobre Escorias Tratadas. Oviedo, noviembre, 1988.
- [12] COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPEENNES. "Utilisation du laitier granulé en construction routière". 1978.
- [13] OCDE. "Use of waste materials and by-products in road construction". Paris, 1977.
- [14] UNE-EN 197-1. "Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes". Diciembre, 2000.
- [15] Ministerio de Fomento. "Instrucción para la recepción de cementos (RC-08)". 2008.
- [16] Ministerio de Fomento. "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)". 2008.
- [17] UNE 83481 EX. "Adiciones al hormigón. Escorias granuladas de horno alto. Recomendaciones de uso para las escorias granuladas molidas utilizadas en los hormigones y morteros fabricados con cemento portland tipo I". 1996.
- [18] UNE EN 15167:2008 "Escorias granuladas molidas de horno alto para su uso en hormigones, morteros y pastas".
- [19] IECA. Información facilitada por IECA.
- [20] Turner-Fairbanks Highway Research Center and Federal Highway Administration. "User Guidelines for waste and by-product materials in pavement construction" 2002
- [21] BEDEC. Banco de precios BEDEC PR/PCT. CONSTRUMÁTICA: Arquitectura, Ingeniería y Construcción. <http://www.construmatica.com/>
- [22] Información facilitada por Oficemen <http://www.oficemen.com>
- [23] PROYECTO ALT-MAT: Alternative materials in road construction. "Final Report for publication". Enero, 2001.
- [24] [The National Slag Association](#) (Pensilvania, Estados Unidos).

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 2.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESCORIAS DE HORNO ALTO		

8.- ENTIDADES DE CONTACTO

- UNESID. (Unión de Empresas Siderúrgicas)
c/ Castelló nº 128-3º
28006 Madrid
Tel. 91 5624010 - 91 5624725
Fax 91 5626584
<http://www.unesid.org/>
- IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones)
c/ José Abascal nº 53-2º
28003 Madrid
Tel. 91 4429311
Fax 91 4427294
http://www.ieca.es/default.asp?id_cat3