

VALORACIÓN MATERIAL EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO. LA EXPERIENCIA DE SOCIEDAD FINANCIERA Y MINERA, S.A.

ASIER OTXOA DE ERIBE ITURRIETA

SOCIEDAD FINANCIERA Y MINERA, S.A.

ITALCEMENTI GROUP

1. Introducción

De acuerdo a la doctrina comunitaria en materia de residuos, una estrategia de residuos orientada a la sostenibilidad debe conllevar el que una vez generados los mismos, se extraigan de ellos el máximo de materiales y energía que contienen y se viertan el mínimo posible, todo ello desde los máximos niveles de protección ambiental en cada uno de los escalones de la gestión.

Las especiales características del proceso de fabricación de cemento permiten la valorización, tanto en forma de materia prima como en forma de combustible, de un buen número de residuos. Esta actividad de valorización se ajusta perfectamente a la jerarquía establecida por la UE para una adecuada gestión de residuos, y trae consigo una serie de beneficios ambientales derivados del aprovechamiento de unos materiales cuyo destino actual viene siendo mayoritariamente el vertedero.



La utilización de residuos como materias primas o combustibles alternativos en la industria cementera estará siempre sometida al mantenimiento de un nivel de calidad en los productos obtenidos, bien sea cemento o clínker, a que su manipulación no complique el proceso, y a que no se produzcan emisiones contaminantes como consecuencia directa de su empleo.

A pesar de los elevados porcentajes de sustitución, tanto térmica como material, alcanzados en otros países europeos, la cada vez mayor concienciación social acerca del problema de los residuos, y la aceptación por parte de las administraciones ambientales de la idoneidad del proceso cementero para eliminar residuos, factores como el reducido precio de vertido hacen que todavía nos quede mucho camino por recorrer hasta conseguir unos valores de sustitución acordes al nivel de desarrollo industrial de nuestro entorno.

Sociedad Financiera y Minera, S.A. es el fruto de la fusión en 1994, de la cementera vasca Cementos Rezola y de la Andaluza Cementos Goliat, y cuenta con tres fábricas de

cemento: Cementos Rezola en Arrigorriaga (Vizcaya) y Añorga (San Sebastián-Donostia, Guipuzcoa), y Cementos Goliat en Málaga. El incremento en la utilización de materias primas y combustibles que sustituyan a los tradicionalmente empleados, se ha convertido en un objetivo de mejora ambiental de Sociedad Financiera y Minera, S.A. para los próximos años. Durante el año 2003 se aprovechó la materia prima o el poder calorífico contenido en más de 250.000 toneladas de residuos evitando su eliminación a través de vertedero.

2. Proceso de fabricación del cemento y valorización

El cemento es un material básico para la edificación y la ingeniería civil. Su principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento (fraguado) de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza la mezcla, lo que permite dar forma (moldear) la piedra artificial resultante. Estas tres cualidades (moldeable, resistente, duradero) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de infraestructuras y otros elementos constructivos.

Residuos valorizados por Sociedad Financiera y Minera, S.A. durante el año 2003.

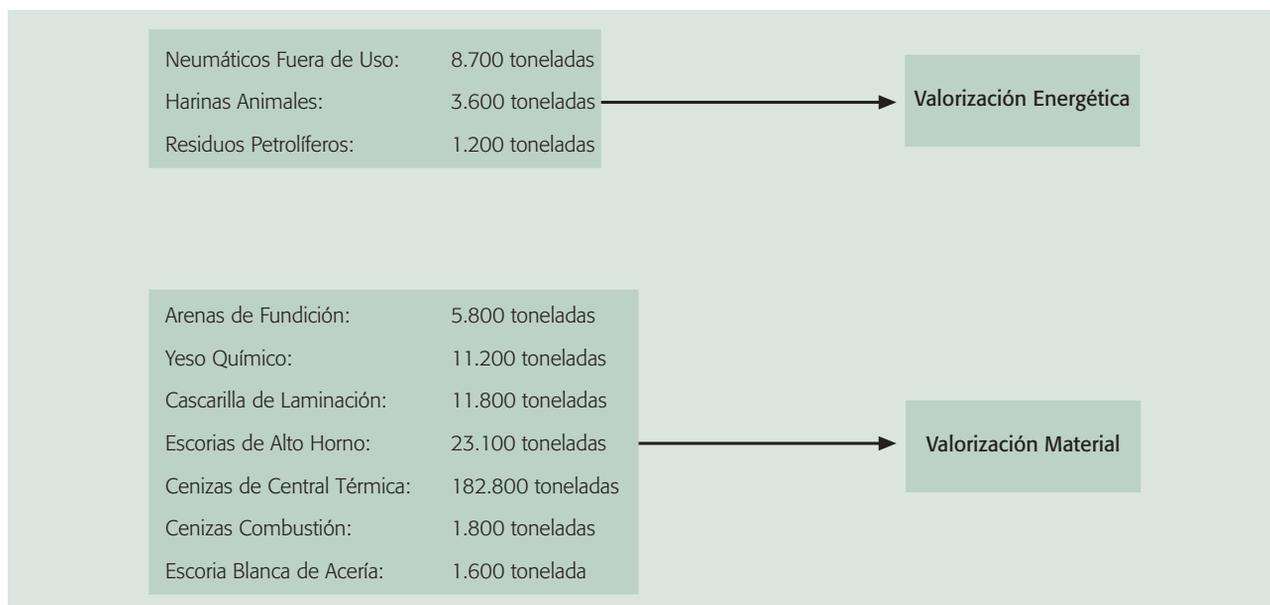
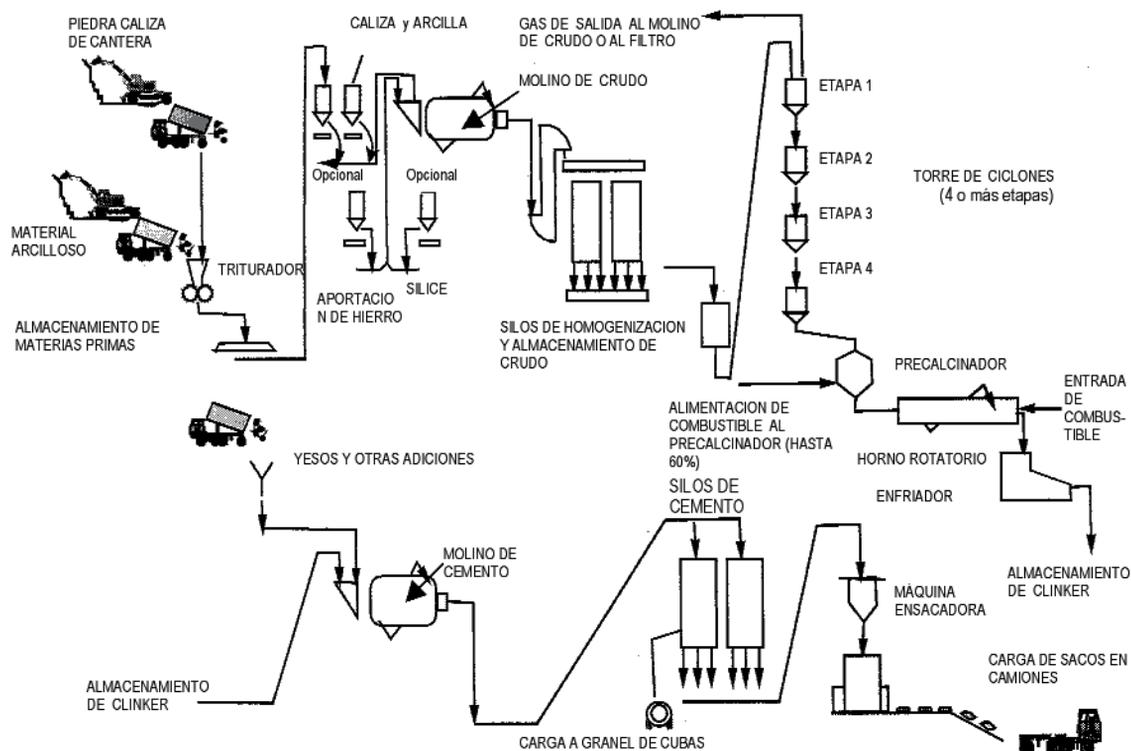


Figura 1.- Esquema del proceso de fabricación del cemento.



En el proceso de fabricación de cemento, pueden diferenciarse tres etapas básicas:

- Obtención y preparación de las materias primas (caliza, marga, arcilla, pizarra, etc.) que aportan los siguientes compuestos minerales: carbonato cálcico (CaCO_3), óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3); y son finamente molidas para la obtención del crudo.
- Cocción o descomposición del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900 °C dando óxido cálcico (CaO , cal) y liberando dióxido de carbono gaseoso (CO_2); este proceso se conoce como calcinación o descarbonatación. Sigue luego el proceso de clinkerización en el que el óxido de calcio reacciona a alta temperatura (normalmente 1.400 - 1.500 °C) con sílice, alúmina y óxido de hierro para formar los silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que componen un producto intermedio denominado clinker.

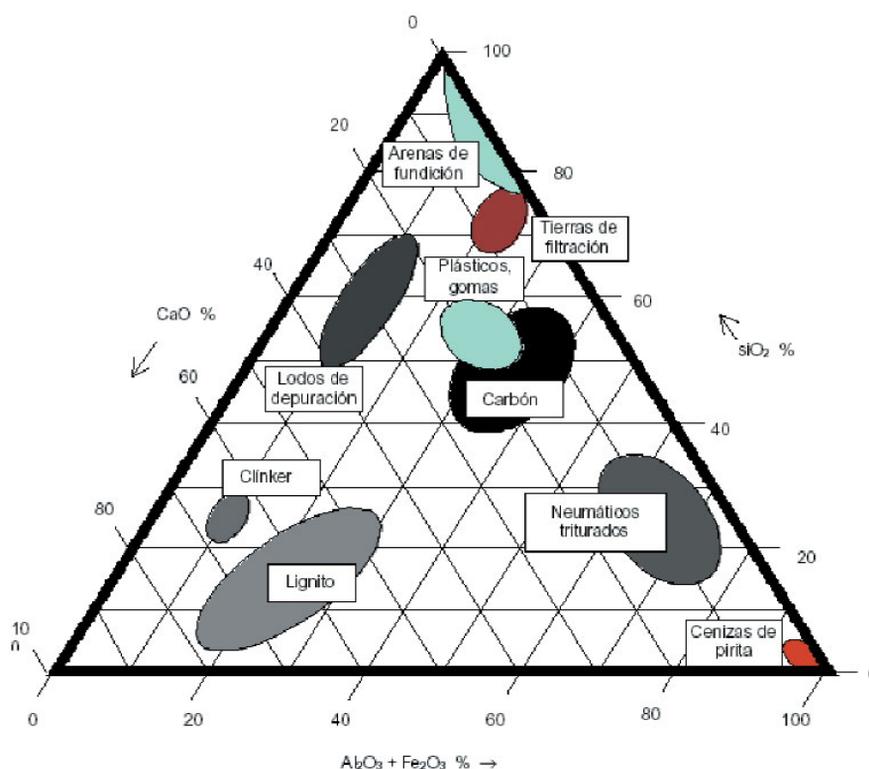
- Molienda conjunta del clinker con otros componentes como el yeso (regulador de fraguado) y adiciones (cenizas volantes, escoria, puzolana, caliza) para obtener distintos tipos de cemento.

A la vista de las características del proceso de fabricación del cemento, existen una serie de residuos que pueden ser utilizados como materiales secundarios en cada una de las fases de dicho proceso:

- Como materia prima en la composición del crudo.
- Como combustible en la fase de cocción.
- Como materia prima de adición al clinker en la molienda de cemento.

Cuando se emplean como materias primas, tanto en la composición del crudo como en la molienda de cemento, se está realizando un reciclaje de materiales, mientras que en

Figura 2.- Diagrama de composición de materias primas y cenizas de combustibles alternativos.



caso de su utilización como sustituto del combustible tradicional, se trata de una valorización energética, aunque haya algunos componentes de esos combustibles alternativos que puedan aportar materias primas (como, por ejemplo, el hierro contenido en los neumáticos fuera de uso).

Sea cual sea el modo en el que se vayan a aprovechar los residuos en el proceso de fabricación del cemento, su utilización estará siempre sometida a:

- un nivel de calidad fijo de los productos (clínker y cemento).
- que su manipulación no complique el proceso.
- que no se produzcan emisiones contaminantes como consecuencia directa de su empleo.

Para garantizar el cumplimiento de estas condiciones y de la legislación ambiental vigente, todos estos materiales alter-

nativos deben pasar un riguroso proceso de autorización antes de ser utilizados en continuo en las fábricas de cemento de Sociedad Financiera y Minera, S.A.:

- Caracterización del residuo para identificar su aptitud para ser utilizado en los procesos como aporte de algunos de los componentes de la materia prima habitualmente utilizada o como combustible.
- Identificación de las condiciones técnico económicas que hagan viable la utilización del residuo en las instalaciones.
- Solicitud de una prueba industrial a la autoridad ambiental.
- Concesión de la autorización con sus correspondientes controles asociados: emisiones atmosféricas, análisis y estudio de lixiviación del residuo, calidad de producto, etc.

- Información a los representantes de los trabajadores de la fábrica elegida para la prueba industrial.
- Realización de la prueba industrial, durante la que se llevarán a cabo los controles reflejados en la autorización y otros controles que la empresa considere necesarios.
- Presentación de un informe de resultados a la autoridad ambiental y, en caso de no observarse ninguna alteración significativa en los parámetros controlados durante la prueba, solicitud de valorización en continuo del residuo.
- Acondicionamiento de las instalaciones para la recepción, almacenamiento y consumo del residuo.
- Acuerdo con el productor del residuo que permita su consumo en la fábrica de cementos en unas condiciones aceptables.
- Arenas de fundición con un alto contenido en óxidos de silicio.
- Cascarilla de laminación para el aporte de óxidos de hierro.
- Lodos o materiales calizos provenientes de la industria papelera con alto contenido en carbonato cálcico.
- Escorias de acería con un aporte de CaO y SiO₂.

En el proceso de molienda de cemento se pueden introducir materiales diversos que, sin modificar las características propias de cada tipo de cemento, permiten reducir el consumo de recursos naturales. Entre estos residuos cabe destacar:

- Escoria granulada de horno alto.
- Cenizas volantes de centrales térmicas.
- Sulfatos de calcio de origen industrial como reguladores de fraguado.

Durante el consumo en continuo el valorizador del residuo (en este caso la fábrica de cemento) se reserva el derecho de rechazar cualquier suministro de producto que no cumpla las condiciones acordadas previamente con el generador (presencia de cuerpos extraños, presencia de aceites y grasas, etc.).

3. Valorización material en el proceso de fabricación del cemento

En la Naturaleza, existen depósitos calcáreos tales como caliza o marga, que proporcionan la fuente del carbonato cálcico. La sílice, el óxido de hierro y la alúmina se encuentran en diversos minerales, tales como arena, pizarra, arcilla y mineral de hierro. Todos estos materiales se extraen de canteras situadas en las inmediaciones de las fábricas de cemento para, mezclados en las proporciones adecuadas dar lugar al crudo. Para sustituir estos recursos naturales se pueden utilizar los siguientes residuos:

4. Algunos ejemplos de valorización material

Atendiendo en unas ocasiones a las demandas por parte de la administración, y en otras a las tendencias de valorización existentes en Europa, Sociedad Financiera y Minera, S.A. ha desarrollado una serie de proyectos orientados al aprovechamiento de diferentes materias primas y combustibles de sustitución dentro de nuestros procesos de producción.

Concretamente en el caso del País Vasco, en donde el desarrollo industrial y la escasez de suelo han empujado a la administración a la búsqueda de una solución al problema de los residuos industriales, la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible establece como meta ambiental conse-

Tabla 1.- Composición química media de crudo y clínker.

	% CaO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe	% MgO	% SO ₃	% Na ₂ O	% K ₂ O	% Cl
Crudo	40-45	10-15	3-5	2-3	0,5-1	0,2-1	0,2-0,5	0,5-1	0,02
Clínker	60-70	15-25	5-10	3-5	1-1,5	1,5-2,5	0,2-0,5	0,2-0,5	0,02

guir una "Gestión Responsable de los Recursos Naturales y de los Residuos". Esta meta se ha materializado dentro del Acuerdo Ambiental Voluntario firmado entre Gobierno Vasco y Sociedad Financiera y Minera, S.A.-Cementos Rezola mediante el establecimiento de objetivos sectoriales de valorización de residuos entre los que se encuentran las Escorias Blancas de Acería, Arenas de Fundición, Lodos Papeleros, Cenizas de Caldera, Lodos de Depuración, etc.

Todas las experiencias que se exponen a continuación han seguido un riguroso proceso de autorización bajo el control de la correspondiente autoridad ambiental, con una caracterización previa del residuo, y la realización de una prueba industrial con un estudio de la influencia del nuevo material en la calidad de los productos y las emisiones atmosféricas.

Fábrica de Sociedad Financiera y Minera, S.A.-Cementos Rezola en Añorga (Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa).



Escoria Blanca de Acería como materia prima en la fabricación de clínker.

Las escorias representan el residuo industrial inerte de mayor volumen de generación en el País Vasco con una cantidad aproximada de 750.000 toneladas al año. Hasta la fecha

estos residuos se vienen depositando en vertederos, tanto públicos como privados (generalmente propiedad de los propios aceristas).

La Comunidad Autónoma del País Vasco está altamente especializada en industrias básicas y transformadoras especialmente en el sector metálico. En la actualidad la totalidad del acero producido en el País Vasco se fabrica en hornos de arco eléctrico. Un total de 14 acerías suponen un 38 % de la producción total española. Las etapas básicas de la fabricación del acero en el horno eléctrico son la fusión de las chatarras de acero por una corriente eléctrica y el afino posterior del baño fundido. Como residuo de la producción se generan, entre otras cosas, las escorias negras y las escorias blancas. El menor contenido en metales pesados y un contenido en CaO de el 40-50 % y de SiO₂ de alrededor de un 15 %, así como contenidos apreciables de Fe₂O₃ y Al₂O₃, hacen de la escoria blanca un residuo apto para su valorización en la fabricación de clínker.

A pesar del problema que representa este residuo debido a su gran volumen de generación, de los varios estudios y pruebas industriales efectuados con resultados satisfactorios en las diferentes fábricas de cemento del País Vasco, y del creciente interés de la administración ambiental vasca de dar una solución a este residuo a través de los hornos de clínker, no se ha conseguido valorizar cantidades significativas de escoria blanca más allá de las consumidas en las pruebas industriales. Esto es debido a que actualmente el vertido representa la vía más económica y cómoda de gestión de este residuo.

Arenas de Fundición como materia prima en la fabricación de clínker.

La fundición es un sector industrial de fuerte arraigo en el País Vasco. La mayor parte de las empresas del sector realizan el proceso de fundición con moldes y machos (elementos internos del molde) de arena silíceo que son desechados tras

Tabla 2.- Composición química de escoria blanca ensayada.

% CaO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% Na ₂ O	% K ₂ O	% Cl	% P ₂ O ₅
48	19	9,2	5,2	13	1,8	0,048	0,027	0,2	0,06

Tabla 3.- Composición química de arena de fundición de consumo habitual.

% CaO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% Na ₂ O	% K ₂ O	% Cl
0,2	86,1	2,9	0,8	0,05	0,1	0,1	0,4	0,05

su utilización. Esta técnica genera una cantidad de residuos de arena que se puede estimar en el País Vasco en unas 200.000 t/año, siendo su destino más habitual el vertedero. Por su composición estos residuos son aptos para su utilización como reguladores de sílice en la formulación del crudo de una fábrica de cemento.

Durante el año 2003 se han valorizado en las fábricas de Cementos Rezola de Añorga y Arrigorriaga cerca de 6.000 toneladas de arenas de fundición en sustitución de la arena de origen natural que se venía utilizando habitualmente. Los principales obstáculos con los que nos hemos encontrado a la hora de utilizar este residuo, y que son aplicables a otros muchos residuos industriales, son:

- La falta de conciencia del generador de que su residuo va a ser introducido en un proceso que requiere unas mínimas condiciones de limpieza y homogeneidad, como por ejemplo que venga libre de elementos extraños (objetos metálicos, basura doméstica, etc.).
- El reducido precio de la puesta en vertedero y la existencia de vertederos no autorizados anexos a las instalaciones industriales hacen más cómodo y económico el vertido que otras opciones de valorización.

A medio plazo se está trabajando desde las fábricas de Cementos Rezola para incrementar al máximo posible el nivel de sustitución con arena de fundición, reduciendo el consumo de la de origen natural. La dificultad en alcanzar acuerdos de suministro en continuo con los productores del residuo, hace que no se esté avanzando al ritmo que nosotros, y la administración ambiental, deseáramos.

Cenizas de Combustión de Lodos EDAR o Biomasa Vegetal como materia prima en la fabricación de clínker.

Las cenizas derivadas de diferentes procesos de combustión, debido a su contenido en los constituyentes fundamentales del crudo, pueden ser eliminadas a través del proceso cementero evitando su puesta en vertedero. Esta posibilidad adquiere especial relevancia en los residuos de generación creciente en los próximos años como son los derivados de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales.

Silo de almacenamiento de Cenizas de Combustión como adición al crudo. Fábrica de Sociedad Financiera y Minera, S.A.-Cementos Rezola en Arrigorriaga (Bizkaia).



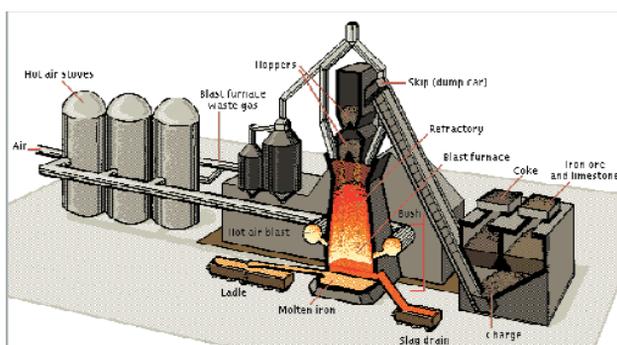
Las cenizas que actualmente se están consumiendo en las fábricas de Cementos Rezola proceden de instalaciones de cogeneración eléctrica instaladas en estaciones de depuración de aguas y fábricas de pasta-papel. En el caso de las proce-

Tabla 4.- Composición química de cenizas consumidas.

	% CaO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe O ₃	% MgO	% SO ₃	% K ₂ O	% Cl
EDAR	23	39	22	6,2	2	4	1,6	0,05
Papelera	12	31	7	2,4	2,8	1,2	-	-

dentes de EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) tienen su origen en un proceso de cogeneración que utiliza como combustible, necesitando el aporte de otros como el gas natural, los propios lodos resultantes del proceso de depuración de aguas. En el caso de las cenizas del sector papelero la cogeneración se realiza utilizando como combustible cortezas de pinos, eucaliptos, etc. utilizados como materia prima.

Figura 3.- Proceso de fabricación del acero.



Las pruebas realizadas en Cementos Rezola hasta la fecha con estos residuos han demostrado los beneficios ambientales de este proceso de valorización, sin detectarse ningún tipo de repercusión ni en la calidad del producto ni en la calidad de las emisiones atmosféricas del horno de clínker, y han permitido el consumo en continuo de ambos residuos.

Escorias de Alto Horno como materia prima en la fabricación de cemento.

La experiencia en la utilización de cementos con escoria de alto horno en países como Alemania, Holanda y Bélgica, prueba sin ningún género de dudas que los hormigones realizados con estos cementos tienen una muy buena durabilidad en ambientes marinos.

En España, estos cementos se producen con el nacimiento de Altos Hornos de Bilbao que fue el primer suministrador de escoria en nuestro país para la producción de cemento de alto horno. Cementos Rezola fue la primera empresa en producir este tipo de cemento. El cierre, en 1996, de Altos Hornos de Bilbao produjo una reducción en la oferta de escoria de alto horno que se tradujo en una descenso de producción de los citados cementos. A pesar de ello los cementos tipo III mantienen su mercado en el Norte de España.

	CEM III/A 42,5 SR	Especificación R-97
Características físicas		
% Agua C. normal	28 %	--
Inicio de fraguado	146 minutos	≥ 60 minutos
Final de fraguado	202 minutos	< 12 horas
Expansión Le Chatelier	≤ 2 mm	≤ 10 mm
Características químicas		
Pérdida al fuego	3 %	≤ 5,00 %
Residuo insoluble	1,5 %	≤ 5,00 %
Trióxido de azufre	2,66 %	≤ 4,00 %
Cloruros	≤ 0,02 %	≤ 0,10 %
Resistencias mecánicas		
2 días	25,0 MPa	≥ 10,0 MPa
7 días	41,5 MPa	-
28 días	55,2 MPa	≥ 42,5 MPa y ≤ 62,5 MPa

La escoria de Alto Horno es un subproducto de la fabricación de acero en la que intervienen como materias primas principales la mena de hierro, la caliza o dolomía y el coke. La escoria de alto horno es el producto que queda flotando encima del acero. Para que esta escoria tenga propiedades hidráulicas latentes, debe de ser enfriada rápidamente (proceso de templado) lo que se hace normalmente con agua, dando como resultado unos gránulos, que son conocidos como escoria granulada de alto horno.

Tabla 5.

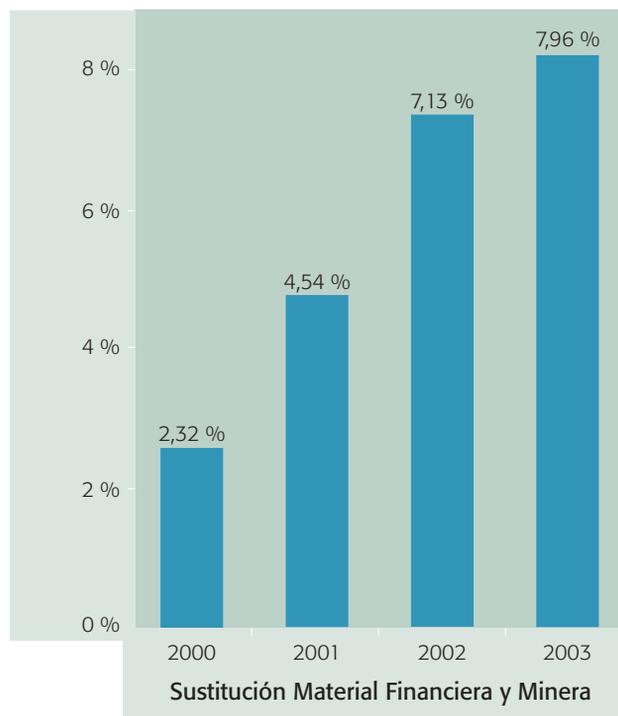
Denominación	Designación	% Clínker	% Escoria de horno alto	% Componentes minoritarios
Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	0-5
	CEM II/B-S	65/79	21-35	0-5
Cemento con escorias de alto horno	CEM II/B-S	35-64	36-65	0-5
	CEM III/B	20-34	66-80	0-5
	CEM III/C	5-19	81-95	0-5

La nueva instrucción de cementos RC-03, aprobada el 26 de diciembre 2003, determina la composición de los cementos con escoria granulada de alto horno en los siguientes tipos. (Tabla 5).

Pudiendo fabricarse en todas sus clases resistentes: 32,5, 42,5 y 52,5.

Sociedad Financiera y Minera, S.A.-Cementos Rezola fabrica en su fábrica de Arrigorriaga el cemento III/A 42,5 SR con unas características físico-químicas de acuerdo a los estándares de calidad normalizados.

Evolución del porcentaje de sustitución material en las fábricas de cemento.



5. Conclusión

Además de los ejemplos expuestos, en las fábricas de cementos de Sociedad Financiera y Minera, S.A. se realiza de forma continua una valorización material de otros residuos como el yeso químico (en forma de anhídrita) y las cenizas volantes procedentes de centrales térmicas, como adiciones al cemento, o la cascarilla de laminación como regulador del

contenido en hierro del crudo. Asimismo, se sigue trabajando en la solución de la eliminación de residuos cuyas pruebas industriales no fueron del todo satisfactorias como los lodos procedentes de la industria papelera.

El convencimiento de que el futuro de las actividades de Sociedad Financiera y Minera depende de la satisfacción que podamos dar a nuestros clientes, vecinos y administraciones, nos lleva, además de responder a la demanda de materiales de construcción de calidad, a contribuir a un desarrollo sostenible mediante nuestra aportación a la prolongación de las reservas de recursos naturales, así como a la solución del problema de los residuos. El desarrollo de las actividades de valorización de residuos en los últimos años representan la materialización de esta apuesta por la sostenibilidad.

Contribución de la Industria del Cemento a la Gestión de Residuos en Europa.
CER, 2001.

Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de Fabricación de Cemento.
Ministerio de Medio Ambiente, 2003.

Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones - Escorias de Acería. (*)
Gobierno Vasco – IHOBE, 1999.

Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones – Arenas de Moldeo en Fundiciones Ferreas. (*)
Gobierno Vasco – IHOBE, 1998.

Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones – Pasta y Papel. (*)
Gobierno Vasco – IHOBE, 2000.

Normas Españolas UNE 2002 para Cementos
José Calleja Carrete-IECA, 2002.

Más información sobre las actividades de Sociedad Financiera y Minera, S.A. : www.fym.es

(*) Descargables en formato pdf desde la dirección www.ihobe.es