

# VALORIZACIÓN DE NEUMÁTICOS EN LA FÁBRICA DE ALICANTE DE CEMEX ESPAÑA S.A.

MATEO PEÑA CUESTA

GERENTE DE PROYECTO

DIRECCIÓN TÉCNICA CEMEX ESPAÑA S.A.

El siguiente artículo tiene como objetivo describir la instalación de valorización de neumáticos de la Fábrica de Alicante de Cemex España S.A. y hacer una breve descripción de las diversas tecnologías disponibles para la valorización de neumáticos en los hornos de cemento.

## Introducción

En la actualidad, en Europa se generan más de 2.600.000 toneladas al año de neumáticos usados, de los cuales se reciclan el 21%, se recauchutan el 11%, se reutilizan el 10%, se valorizan el 23% y por último se almacenan o se llevan a vertederos el 35%.

Como se observa, aún están lejos los objetivos de la directiva de Vertidos (1999/31/EC) que prohibía el vertido de neumáticos enteros a partir del año 2003 y de neumáticos troceados a partir del 2006. En España, desarrollando esta Directiva, se aprobó en el año 2001 el Plan Nacional para la gestión de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 que establecía como objetivo que antes del 2007, para los neumáticos de vehículo, se debería gestionar que al menos un 20% se destinase al recauchutado, al menos el

25% al reciclaje, y el resto, un 55%, debería ser destinado a valorización energética. Esto equivale a 180.000 toneladas de neumáticos usados al año.

Actualmente, en España se están valorizando unas 35.000 t de neumáticos usados, que equivalen a un 12.5% de los mismos, lejos del 23% de la media europea y del objetivo del Plan Nacional de gestión de Neumáticos. Es de prever un aumento de este porcentaje en los próximos años siguiendo la tendencia europea.

El siguiente artículo tiene como objetivo describir la instalación de valorización de neumáticos de la Fábrica de Alicante de Cemex España S.A. y hacer una revisión de las diversas tecnologías disponibles para la valorización de neumáticos en los hornos de cemento.

## Características de los neumáticos

Los neumáticos se componen en un 50% de caucho natural y de caucho sintético. El ingrediente de relleno representa un 25% de su peso y el resto, según el tipo de neumático, está compuesto por aceite y agregados, y por materiales como el acero que se necesita para la carcasa.

Tabla 1.- Composición material de los neumáticos

MATERIAL	TURISMOS	CAMIONES/ AUTOBUSES
Caucho		
Natural	21%	31%
Sintético	24%	14%
Aditivos de relleno	28%	21%
Acero	12%	24%
Textil	4%	-
Aceite, otros	11%	9%

Tabla 2.- Composición química promedio de los neumáticos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	%
Carbono	76%
Hidrógeno	6.8%
Oxígeno	4.4%
Nitrógeno	0.4%
Azufre	1.6%
Cloro	0.08%
Oxido de zinc	1.5%
Hierro	15%
Ceniza	2.5%

Considerando la composición química del material, sólo la parte del hierro es de importancia para la calidad del producto. Los neumáticos pueden sustituir una parte de la demanda de hierro en la harina. El contenido de azufre no afecta demasiado a la operación del horno, y es menor que la de los combustibles tradicionales usados.

El contenido relativamente alto de óxido de zinc, del 1.5%, no disminuye tampoco la calidad del producto.

El peso de un neumático usado de coche es de aproximadamente 7 kg. El peso de un neumático de camión es de 55-80kg. El contenido energético de la goma de neumático sin alambre de acero está comprendido entre 7.750 y 8.350 kcal/kg.

Tabla 3.- Clasificación de los neumáticos según su tamaño

	TAMAÑO
Neumáticos enteros	
Neumáticos troceados	50-300 mm.
Chips de neumáticos	20-50 mm.
Granulados	7-20 mm.
Polvo y finos	<7 mm.

## Proceso

La combustión de los neumáticos usados puede tener lugar en dos zonas, dependiendo de la tecnología aplicada:

- En el quemador principal. La llama alcanza una temperatura cercana a los 2.000°C. Los gases de combustión se mantienen a más de 1.200°C durante un tiempo superior a 5 segundos en atmósfera oxidante.
- En la zona de calcinación del horno, donde se produce la descarbonatación de la caliza. En esta zona se alcanzan temperaturas cercanas a los 1.200°C, manteniéndose a una temperatura superior a 850°C durante unos 3 segundos. Las altas temperaturas y los tiempos de residencia garantizan que todos los componentes volátiles del combustible, como por ejemplo los hidrocarburos policíclicos aromáticos, se quemen completamente y no sigan al gas del horno hacia las zonas más frías del intercambiador de calor, donde sería imposible acabar la combustión. La ubicación de la segunda zona de combustión varía para las distintas tipologías de hornos:

- b1) En cámaras de combustión situadas en la parte baja de la torre de ciclones de hornos con precalcinador, donde la combustión se realiza con aporte de aire caliente proveniente del enfriador de clínker.
- b2) En hornos de vía seca que no disponen de precalcinador u hornos de vía semiseca o semihúmeda, la combustión se realiza en la entrada del horno. Este sistema está especialmente indicado para combustibles densos y alimentados en tamaños relativamente grandes, como son los neumáticos usados. En este tipo de hornos, el límite de sustitución está en un 25%, debido a que el exceso de aire para esta combustión enfría la zona de clinkerización. Normalmente se consiguen rangos de sustitución entre un 15-20%, con el objeto de tener una operación estable del horno.
- b3) En hornos de vía húmeda o en hornos largos de vía seca la alimentación de combustibles alternativos puede realizarse en la zona adecuada a mitad del horno rotatorio (mid-kiln), lo que garantiza un tiempo suficiente de estancia (5-10 min.) para la combustión completa del neumático antes de comenzar la zona de sinterización.

En las condiciones de combustión descritas, los compuestos orgánicos contenidos en los neumáticos son destruidos, dando como resultado la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La energía liberada en la combustión se aprovecha en el proceso de fabricación de clínker.

## Instalaciones

Desde finales de los años 70, se han venido realizando gran cantidad de instalaciones para el manejo de combustibles alternativos. Estas instalaciones requieren grandes inversiones, ya que son necesarios equipos de recepción y almacenamiento de material, instalaciones para el transporte y dosificación, mejoras o sustituciones del quemador del horno, e incrementar los sistemas contra incendios y controles ambientales. Además, en algunos casos, se precisa una preparación del material para conseguir unas características físicas

y químicas, más o menos uniformes, que permitan utilizarlo como combustible en las fábricas de cemento.

## Instalaciones de trituración

Dependiendo del punto de introducción de los neumáticos en el proceso, se requiere una determinada granulometría. Así, por la entrada al horno se introducen neumáticos enteros o troceados. En la mitad del horno (mid-kiln) se valorizan neumáticos enteros y por el quemador principal se introducen chips o granulados de neumáticos con un tamaño  $<20-30$  mm.

Para conseguir la granulometría requerida es necesario proceder a su trituración.

Dependiendo del tamaño deseado y de las capacidades de producción, la instalación de triturado dispone de trituración en una o varias etapas, con cribas para la separación por granulometrías, y separadores del metal férrico.

La trituración primaria reduce el tamaño de los neumáticos enteros hasta un tamaño medio de neumáticos troceados 50-300 mm. Suele ser una trituradora de doble rotor de discos cortantes, a baja velocidad con discos sustituibles, operada hidráulicamente y con control de par. Con esta reducción se disminuye el volumen del material, con lo que el transporte se hace más económico y más sencillo el manejo.

La trituración secundaria consigue reducir el tamaño hasta chips de neumático de 20-50 mm. Para ello se coloca a continuación una o dos trituradoras de discos, o se vuelve a pasar el material por la trituradora primaria, dependiendo de las producciones requeridas. Una criba de discos o malla determina si el material es el óptimo para la granulometría requerida o debe retornar a la trituradora secundaria. Con esta trituración se consigue una granulometría de  $<20-30$  mm., adecuada para inyectar por el quemador principal.

Si es necesario reducir más el tamaño, se debe pasar el material por una granuladora, que suele ser una trituradora de cuchillas de un solo rotor, con o sin brazo empujador, que funciona bajo el principio de corte de una guillotina, y donde la malla de salida determina la fracción a conseguir. Con esta

Tabla 4.- Proceso trituración de neumáticos



trituradora se pueden conseguir gránulos de neumáticos entre 7-20 mm. Con esta fracción de material, se puede proceder a una separación magnética del hierro del neumático y del textil.

### Inyección de neumáticos por la entrada o mitad del horno

El sistema más utilizado en hornos de vía seca con precalentador es la introducción del neumático entero o troceado por la entrada al horno, a través de una válvula de triple clapeta. Este sistema tiene las ventajas de poder utilizar neumáticos enteros o troceados en tamaños grandes y la instalación requerida para

el manejo del combustible es sencilla y segura. Sin embargo, la cantidad de combustible a introducir por este punto viene limitada por las temperaturas y tiempos de retención de los gases combustibles, características de mezcla oxígeno/combustible y efectos en el comportamiento del proceso del horno.

En los hornos de vía seca largos y húmedos es común encontrar un dispositivo que introduce el neumático en la mitad del horno, a través de una compuerta que se abre y deja caer el neumático cuando éste se encuentra en la parte de arriba de su giro. El tiempo de residencia es suficientemente largo para garantizar que se realicen las etapas de calentamiento, pirólisis y gasificación, y los neumáticos

son completamente consumidos antes de llegar al punto de descarga. Los hornos que funcionan bajo este sistema suelen introducir un neumático por revolución.

El manejo de neumáticos enteros precisa de una tecnología específica. La dificultad es conseguir una operación del material automática, independiente de la condición de los neumáticos, así como de las condiciones atmosféricas. Las máquinas deben adecuarse al manejo de neumáticos con unas características variables, como tamaño, forma, peso,

grado de suciedad, presencia de alambres sueltos y condiciones ambientales. Los neumáticos que no cumplan una serie de requisitos deben ser rechazados por el sistema de control. A continuación se muestra el esquema funcional de una instalación para el manejo de neumáticos enteros, para introducirlos por la entrada al horno, similar a la utilizada para una inyección "mid-kiln".

En el caso de neumáticos troceados el esquema funcional sería el de la Figura 2.

Figura 1.- Esquema de alimentación de neumáticos enteros por la entrada del horno

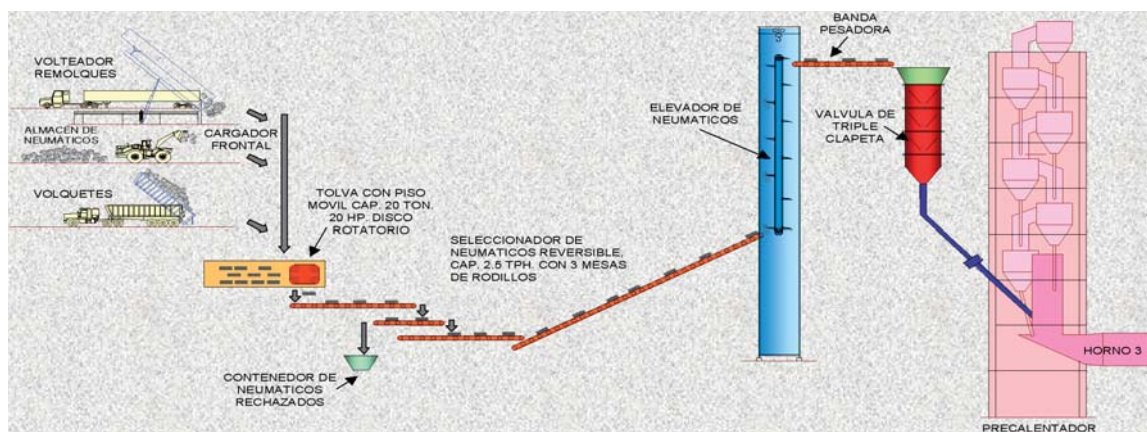


Figura 2.- Esquema instalación inyección neumáticos troceados por la entrada del horno.

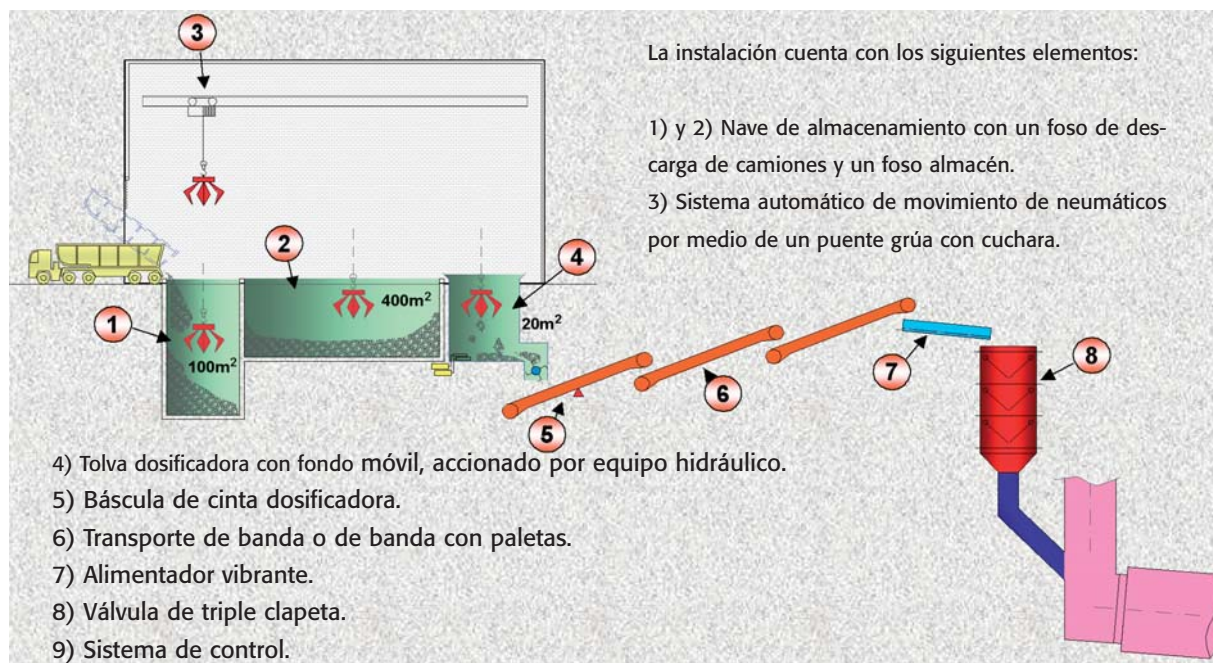
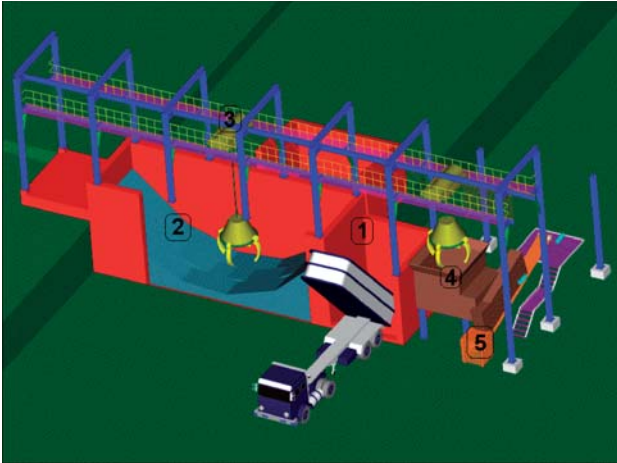




Figura 3.- Vista instalación inyección neumáticos troceados por la entrada del horno.



La planta cuenta con un almacenamiento y un sistema de extracción automático de material. El sistema no precisa personal, excepto para la descarga de los remolques donde se necesita un empleado para chequear la carga y tomar muestras.

Un ejemplo de este tipo de instalación es la instalación que Cemex España S.A. dispone en la fábrica de Alicante.

El diseño de la instalación se ha realizado con los siguientes parámetros:

- Caudal: 0-4 t/h
- Densidad máxima: 0.45 t/m<sup>3</sup>.
- Tamaño de material: < 300 mm.

La planta de trituración que prepara el material se encuentra a una distancia de 150 km. El material se recibe en remolques de 40 m<sup>3</sup> y se voltea en un foso de descarga de 100 m<sup>3</sup> de capacidad. Se estima una llegada semanal de veinte camiones. Posteriormente, un polipasto mueve el material del foso de descarga al foso de almacenamiento, que tiene una capacidad de 400 m<sup>3</sup>. El tamaño del almacenamiento debe corresponder a la capacidad del horno y debe tener suficiente capacidad para absorber las irregularidades del suministro, manteniendo el consumo continuo en el horno.

El manejo del material en el almacenamiento se hace por medio de un puente grúa automático, con cuchara de garras

Figura 4.- Foso de almacenamiento.



Figura 4.- Cuchara.



poligonales. La capacidad de transporte del pulpo es de 6 t/h, siendo la cuchara de 1.6 m<sup>3</sup>.

El sistema de control registra el volumen almacenado en la tolva, al dividir la superficie de la tolva en una matriz de 2x4 registros, que corresponden a la altura del material. La altura se mide con la longitud de cable desplegada hasta tocar la montaña de material. El polipasto automáticamente almacena el material en la zona más vacía y extrae material de la más llena.

La cuchara alimenta también la tolva de dosificación de fondo empujante, que tiene una capacidad de almacenaje de 20 m<sup>3</sup>. La descarga de la tolva es lateral. Para ello se instalan dos perfiles de arrastre en el fondo de la tolva que empujan el material hacia una abertura lateral. Dichos perfiles son accionados mediante sendos cilindros hidráulicos, por medio de una central hidráulica que suministra el caudal de aceite requerido.

El material cae sobre un transportador de banda con báscula, que dosifica el material a dos cintas transportadoras de anchura 800 mm que suben el material hasta la entrada del horno. La pendiente máxima que se puede conseguir con transporte de banda es de 23° y con transportador de banda con paletas admite hasta 45°.

Figura 6.- Vista exterior almacenamiento.



Figura 7.- Cinta de alimentación al horno.



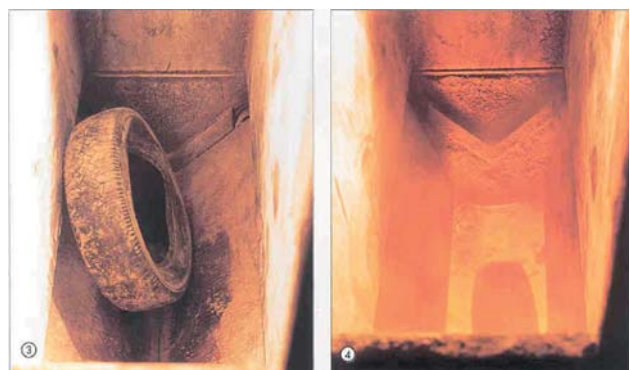
Figura 8.- Conducto de entrada de neumáticos al horno.



A continuación, un alimentador vibrante alimenta el material sobre la válvula de triple clapeta. Este alimentador tiene el objetivo de aislar las cintas de la boca de entrada al horno para evitar posibles incendios.

La válvula de triple clapeta pendular neumática está diseñada para trabajar con temperaturas de gases de hasta 600°C. La boca de alimentación es de 1000x800 mm. y el caudal de diseño es de 90 m<sup>3</sup>/h. El sistema de válvulas consiste en una serie de tres clapetas conectadas en serie, que pueden ser de tajadera o de doble clapeta con apertura central. Las válvulas tienen la misión de proteger la operación del horno frente a

Figura 9.- Válvula de triple clapeta.



la pérdida de calor y las fugas de aire. El sistema se opera por medio de aire comprimido.

Varios cañones de aire son instalados en el conducto de alimentación al horno para evitar pegaduras y bloqueos. El sistema automático de funcionamiento del puente grúa está controlado por una cámara de TV, que se visualiza en la sala de control. Hay un sistema de detección de incendios y la instalación está dotada de un sistema de rociado de agua sobre los fosos de almacenamiento, que puede ser activado desde la sala de control o manualmente.

En el pasado año 2004 más de 7.700 t de neumáticos fueron valorizados en el horno. Respecto a las mediciones realizadas de los niveles de HF, HCl y dioxinas durante la marcha de la instalación para distintos porcentajes de sustitución, los resultados fueron similares a los de funcionamiento sin neumáticos.

## Inyección de neumáticos por el quemador principal

Desde el punto de vista de proceso, es preferible valorizar los neumáticos como chips de neumáticos por el quemador principal, ya que pasan a través de las zonas de alta temperatura del horno, con alta disponibilidad de oxígeno, alto nivel de turbulencia y descomposición y reacciones de oxidación más rápidas. Pero este manejo lleva implícito las dificultades del proceso de reducción de tamaño, con altos costes de inversión en equipos de trituración para granulometrías bajas, consumo energético y un gasto elevado de mantenimiento.

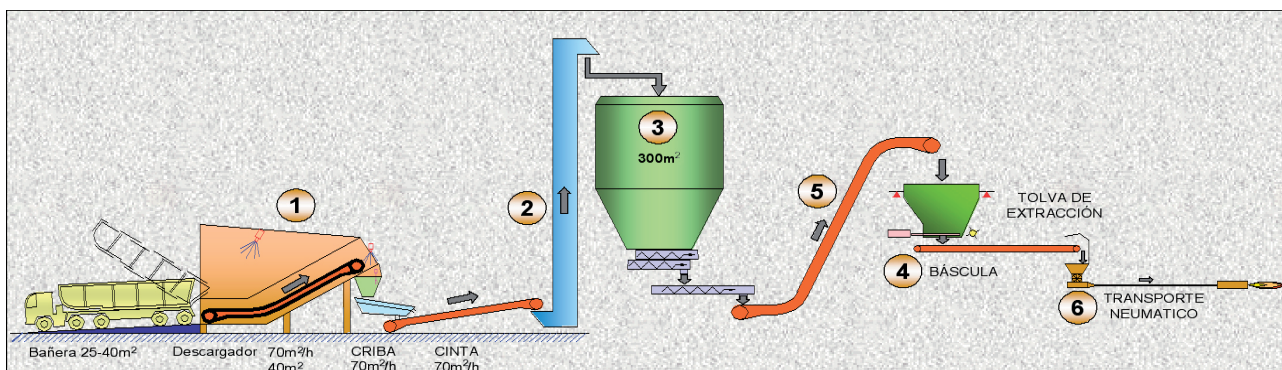
El esquema funcional representa una instalación para chips de neumáticos, que se compone de:

- 1) Tolva de recepción de material
- 2) Transporte para subir el material a lo alto del silo (cintas transportadoras, cinta con paletas, elevadores, etc.)
- 3) Silo con sistema extractor dosificador para materiales que tienden a formar bóvedas.
- 4) Báscula de pesaje
- 5) Transporte hasta el punto donde se inyecta neumáticamente (cintas transportadoras, roscas, etc.)
- 6) Transporte neumático hasta al quemador del horno, por medio de venturis o esclusas alveolares.

## Cámaras de combustión o gasificadores

Por último, para aumentar la capacidad de combustión de neumáticos, se pueden utilizar los gasificadores o cámaras de precombustión, basadas en el proceso de pirólisis de los neumáticos. Este procedimiento se fundamenta en el hecho de que determinados combustibles, bajo apropiadas condiciones de temperatura, atmósfera y tiempo de permanencia, pueden convertirse, mediante gasificación y desgasificación, en compuestos de bajo peso molecular, es decir, en gases combustibles y vapores, y una fracción de sólidos con granulometrías inferiores a las del combustible de partida. Estos productos presentan mejores propiedades de volatilidad, que favorecen la combustión total, y por lo tanto permiten su utilización térmica directa en la zona de precalcínación del horno.

Figura 10.- Esquema funcional de inyección neumáticos por el quemador principal.





Los productos incombustibles de la reacción se alimentan al horno rotatorio y se unen al clínker.

Entre los gasificadores desarrollados para aumentar la capacidad de combustión de neumáticos se encuentran la Cámara de Precombustión de Polysius y el Hotdisc de Flsmidth.

## Conclusión

La valorización de neumáticos en España todavía está lejos de los niveles de consumo europeos. Sin embargo, es de esperar un incremento de la utilización de los mismos en los próximos años. En este artículo se ha presentado una descripción de la instalación de valorización de neumáticos de la Fábrica de Alicante de Cemex España S.A. y un resumen de las diversas tecnologías disponibles para la valorización de neumáticos en los hornos de cemento.



(1) Fabrellas B et al. Inventario español de dioxinas; evaluación de las emisiones de dioxinas y furanos generados en el sector cementero español 2000-2003. La influencia del uso de combustibles alternativos. Cemento Hormigón 2005; 60-9.

(2) Stöppel R. Flexible friends. International Cement Review 2003; 36-8.

(3) Maréchal F. The technological key to global challenges. International Cement Review 2003; 15-23.

(4) Portland B. Waste vs fuel. International Cement Review 2003; 115-6.

(5) Bertschinger P. Revolutionary solutions. World Cement 2001; 31-41.

(6) Urcelay Gordobil J, Guede Vázquez E. Experiencias sobre valorización energética de residuos en Cementos Lemona, S. A. Cemento Hormigón 2000; 951-7.

(7) Atyca. Informe de resultados del proyecto: Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso. 2000

(8) Calvo Alier S. Valorización de neumáticos usados en la Fábrica de Hisalba en Lorca (Sistema Mid-Kiln). Cemento Hormigón 2000; 958-64.

(9) Schneider R. La combustión de neumáticos gastados utilizados como combustibles secundarios en las fábricas de Dyckerhoff. Cemento Hormigón 2000; 965-76.

(10) De Ladebat H, Lemarchand D. Waste Management. World Cement 2000; 70-8.

(11) Paulin F. The combustion of alternative solid fuels in rotary cement kilns, and their handling. ZKG International 1998; 30-8.