

LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA DEL CEMENTO

MARINA ROMAY DÍAZ

LDA. EN CC. FÍSICAS

DEPARTAMENTO TÉCNICO Y DE MEDIO AMBIENTE

OFICEMEN

Con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles no renovables y de dar una respuesta eficaz y segura a la sociedad en el tratamiento de sus residuos, el sector cementero europeo ha apostado de forma decidida por la diversificación de sus fuentes de energía, utilizando combustibles alternativos derivados de residuos en proporciones superiores al 12 % con respecto al combustible total empleado. Las novedades legislativas en los últimos años en España, tales como el Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos, o los planes de residuos tendentes a fomentar la valorización de los mismos, han tenido importancia en el despegue de esta práctica en España. Gracias a este marco legal y al compromiso de industria, administraciones y sindicatos, las cantidades de residuos empleadas como combustible alternativo en fábricas de cemento se han multiplicado por 6 en los últimos 10 años.

1. Introducción

Aunque los objetivos prioritarios respecto a los residuos sean evitar su generación, la realidad es que la eliminación es práctica común, y no siempre en las condiciones adecuadas. Para evitarlo, el reciclado y valorización energética son hoy por hoy las vías con

mayor potencial real, desde un punto de vista técnico, ecológico y económico, para la gestión de los residuos.

La nueva normativa sobre el vertido de residuos, Real Decreto 1481/2001, tiene entre sus objetivos reducir la cantidad de residuos orgánicos en los vertederos, tanto por

la industria cementera y el medio ambiente

evitar los impactos que generan en éstos, como por potenciar otras vías de aprovechamiento de los mismos.

La política de utilización de combustibles alternativos es una de las que se debe fomentar según el Libro Verde de la Comisión Europea "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético".

Las fábricas de cemento ofrecen una oportunidad en este sentido, pues las características de su proceso productivo les permiten valorizar energéticamente varios tipos de residuos con las condiciones técnicas y ambientales óptimas. Con la prestación de este servicio, la actividad industrial cementera realiza una contribución medioambiental y social. Esta política fomenta la reducción de emisiones globales de gases de efecto invernadero al evitar, mediante sustitución de combustibles fósiles tradicionales en la industria cementera, la emisión de estos gases en incineradoras y vertederos.

Las ventajas de la utilización de combustibles alternativos en los hornos de clínker se pueden resumir en:

- Tratamiento ecológico y seguro de los residuos, aprovechando al máximo su energía y minerales sin generar impactos añadidos sobre el entorno.
- Ahorro de combustibles fósiles no renovables (carbón y derivados del petróleo).
- Disminución global de las emisiones, en particular las de CO₂ (uno de los gases responsables del efecto invernadero) al sustituir combustibles fósiles por materiales que hubieran sido incinerados o fermentados en vertederos, con sus correspondientes emisiones.
- Alternativa de gestión de residuos económica, y flexible, pues permite volver a utilizar combustibles fósiles cuando se mejoren las prácticas de reducción de residuos generados.

Como reflejo de estas especiales características y del destacado papel que la industria cementera europea está realizando en la valorización energética de residuos, la reciente Directiva 2000/76/CE sobre incineración de residuos recoge

de manera específica en su Anexo II (coincineración de residuos) las condiciones que deben cumplir los hornos de cemento que usen residuos como sustituto parcial de su combustible. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos, que se analizará en el punto 4.

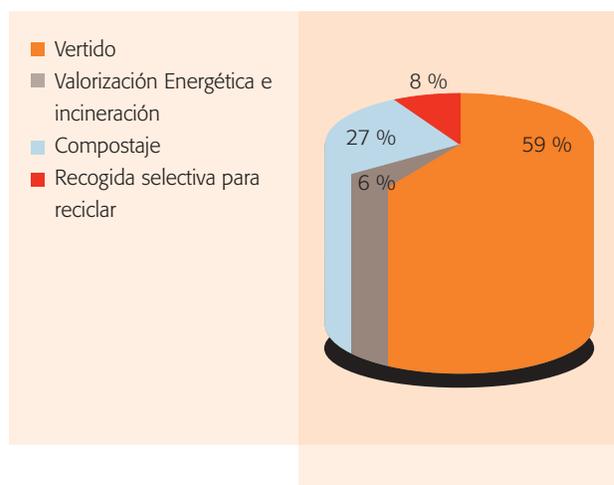
Las empresas cementeras confían en que una legislación clara e igualmente exigente para todos los tipos de instalaciones que realicen un tratamiento térmico de residuos facilitará la extensión de la valorización energética y ofrecerá a los ciudadanos las garantías medioambientales que requiere nuestra sociedad.

2. La gestión de residuos en España

La actividad económica, industrial y humana genera residuos que es necesario gestionar. Controlar y reducir las cantidades de residuos vertidas es una de las prioridades de las administraciones en materia de gestión de residuos, tanto por limitar los impactos que los vertederos generan al medio ambiente [1], como por avanzar hacia una sostenibilidad en el uso de los recursos naturales.

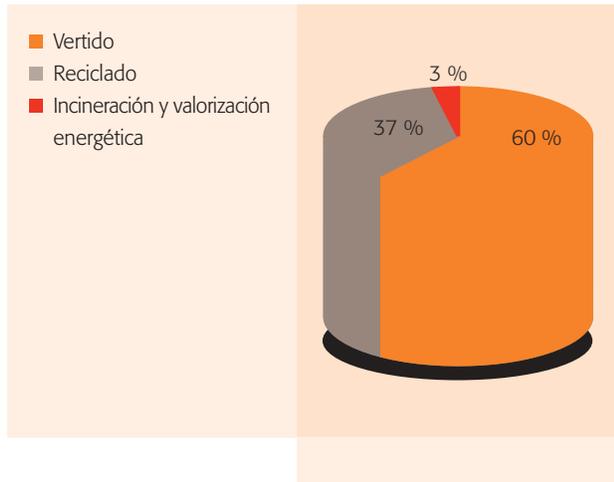
Según el Ministerio de Medio Ambiente [2] anualmente se vierten en España unos 12 millones de toneladas de residuos urbanos, aunque las tasas de reciclaje han ido aumentando cada año.

Gestión de residuos municipales en España en 2002.
Total 20,5 Mt.



la industria cementera y el medio ambiente

Gestión de residuos industriales en España en 2002.
Total 29,9 Mt.



En cuanto a las actividades económicas como industria, agricultura, o servicios, que gestionan sus residuos, las cantidades que se destinaron a vertido en 2002 alcanzaron cifras cercanas a los 18 millones de toneladas, según el INE [3].

3. La contribución de la industria cementera a la valorización de los residuos

3.1. Fabricación de cemento, energía y medio ambiente

Las empresas cementeras trabajan en dos líneas políticas medioambientales básicas:

- Mejorar el comportamiento ambiental de las instalaciones, mediante la aplicación progresiva de tecnologías limpias como medio de reducción de la contaminación, y la realización de actuaciones de corrección y restauración.
- Potenciar y divulgar los efectos positivos que la actividad de fabricación de cemento tiene sobre el medio ambiente, en relación con la sustitución de recursos naturales por residuos y subproductos industriales.

La fabricación de cemento es una actividad industrial de procesado de minerales. Se divide en tres etapas básicas:

1. Obtención, preparación y molienda de materias primas (caliza, margas, 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). Se obtiene una mezcla pulverulenta de los minerales denominada crudo o harina.
2. Cocción del crudo en hornos rotatorios hasta alcanzar una temperatura del material cercana a los 1.450 °C, para ser enfriado bruscamente y obtener un producto intermedio denominado clínker.
3. Molienda del clínker con otros componentes: yeso (regulador de fraguado) y adiciones (escorias de alto horno, cenizas volantes, caliza, puzolanas), para dar lugar a los distintos tipos de cemento.

En función de cómo se procesa el material antes de su entrada en el horno de clínker, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación: vía seca, vía semi-seca, vía semi-húmeda y vía húmeda (Figura 1).

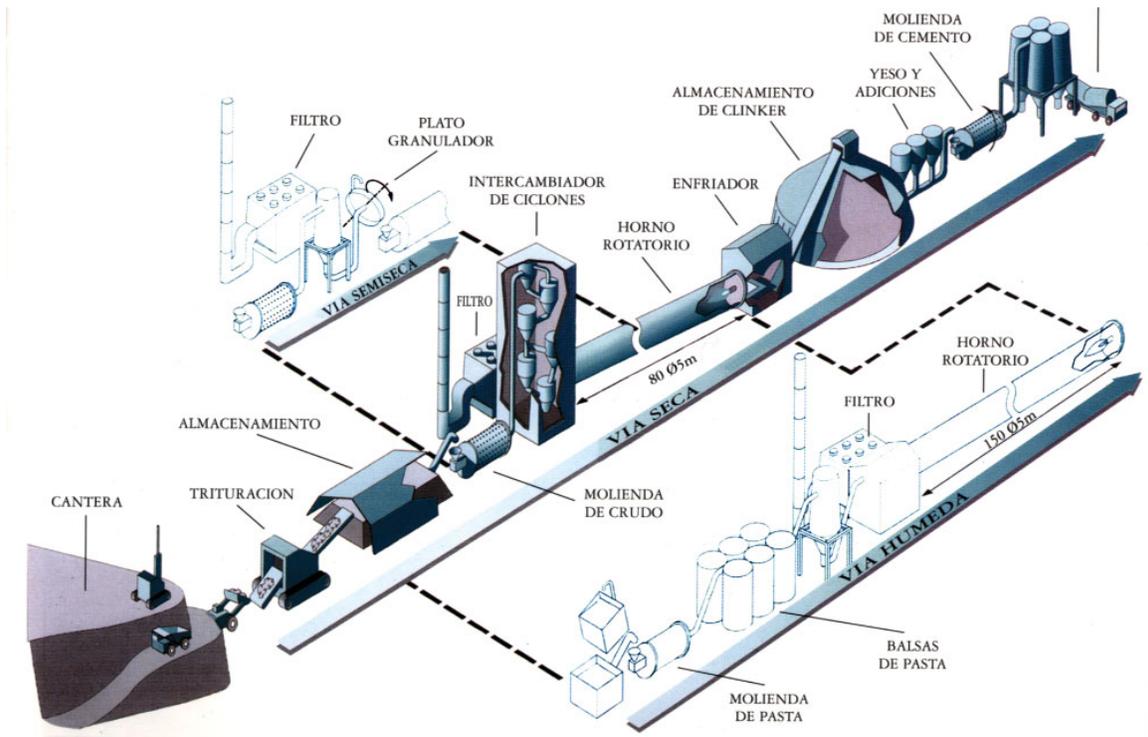
En el proceso vía seca, mayoritario en España, la materia prima es introducida en el horno en forma seca, pulverulenta. El sistema del horno comprende una torre de ciclones para intercambio de calor en la que se precalienta el material en contacto con los gases provenientes del horno rotatorio. El proceso de descarbonatación de la caliza (calcinación) puede estar casi completado antes de la entrada del material en el horno si se instala una cámara de combustión a la que se añade parte del combustible (precalcificador).

En el proceso vía húmeda, utilizado normalmente para materias primas de alto contenido en humedad, el material de alimentación se prepara mediante molienda húmeda y la pasta resultante, con contenido de agua de un 30-40 %, es alimentada en el extremo más elevado del horno inclinado.

En los procesos vía semi-seca y semi-húmeda, el material de alimentación se obtiene añadiendo o eliminando agua (filtros prensa), respectivamente, de forma que se obtienen 'pellets' con un 15-20 % de humedad que son

la industria cementera y el medio ambiente

Figura 1.- Esquema de fabricación de cemento.



depositados en parrillas móviles a través de las cuales se hacen circular los gases calientes provenientes del horno rotatorio.

En el año 2000, en torno al 78 % de la producción de cemento en Europa se realizó en hornos de vía seca; otro 16 % se realizó en hornos vía semi-seca o semi-húmeda; y un 6 % de la producción europea se realizó mediante vía húmeda. En España, en el año 2003, un 93 % de la producción se realizó por vía seca, mientras que el 7 % restante se repartió entre las vías húmeda y semiseca en partes casi iguales.

En todos los casos, los gases circulan en sentido contrario al avance de los materiales (contracorriente). El flujo de los gases está forzado mediante aspiración de un ventilador o exhaustor situado aguas abajo del horno, que mantiene todo el horno en depresión.

La fabricación de cemento es un proceso intensivo en energía. En función de las materias primas y el proceso de

fabricación, el consumo de combustibles en el horno de clínker se sitúa entre 3.000 y 5.500 MJ/t de clínker.

Los costes energéticos de combustible y energía eléctrica suman más del 30 % de los costes de fabricación, por lo que la reducción del consumo de energía y la diversificación de las fuentes energéticas son factores clave para la competitividad de las empresas cementeras.

Los esfuerzos de reducción del consumo de combustibles en la fabricación de cemento se han centrado en dos líneas de trabajo:

- Mejorar el rendimiento energético mediante la modernización de las instalaciones, con aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles [4] y con el desplazamiento de la producción hacia hornos de mayor tamaño y eficiencia.
- Modificar la composición del cemento para incorporar en la fase de molienda otros materiales activos distintos del

la industria cementera y el medio ambiente

clínker. Estos materiales, denominados adiciones, incluyen las cenizas volantes de centrales térmicas, la escoria siderúrgica de horno alto y otros materiales especificados en normas europeas.

- En las últimas dos décadas, la industria europea del cemento ha reducido el consumo de energía para la fabricación de una tonelada de cemento en aproximadamente un 30 %. La reducción de la intensidad energética del cemento se encuentra ya en una fase asintótica. No será posible obtener en el futuro los mismos niveles de mejora del pasado, puesto que el margen de maniobra ha quedado ya muy reducido. La estrategia de ahorro y eficiencia energética elaborada por el IDAE ha evaluado las actuaciones viables en alrededor del 1 % de reducción hasta el 2012.

3.2. Emisiones del horno de clínker y uso de combustibles alternativos

Las emisiones a la atmósfera provenientes del horno de cemento tienen su origen en las reacciones químicas y físicas provocadas por la cocción de las materias primas, y en los procesos de combustión.

El proceso de fabricación de clínker en el horno rotatorio no genera residuos ni vertidos de agua.

Antes de ser emitidos a la atmósfera, los gases de combustión provenientes de los hornos de clínker atraviesan los ciclones donde transmiten parte del calor a la harina de crudo entrante, que en las etapas más cercanas al horno ha sido descarbonatada y se compone principalmente de cal. Esto produce un efecto parecido a un lavado de los gases en un

lecho fluidizado, y los limpia en gran medida de gases ácidos y metales pesados. Finalmente, los gases se desempolvan en filtros, y el polvo recogido se alimenta de nuevo al proceso de fabricación.

Los constituyentes principales de los gases emitidos por el horno de cemento (ver Tabla 1) son nitrógeno proveniente del aire de combustión, CO₂ proveniente de la descarbonatación de la caliza y de la combustión, agua proveniente de las materias primas y del proceso de combustión, y oxígeno.

Los gases emitidos a la atmósfera contienen también en pequeña proporción partículas, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, y en muy pequeña cantidad cloruros, fluoruros, compuestos orgánicos y metales pesados.

Las características específicas de los hornos de clínker que aportan unas garantías ambientales óptimas para la valorización de residuos, son las siguientes:

- Los gases de combustión permanecen durante largos tiempos de residencia a muy alta temperatura (hasta 2.000 °C) y en una atmósfera rica en oxígeno, por lo cual el horno de clínker se considera el sistema más efectivo para la completa destrucción de los compuestos orgánicos presentes en los residuos.
- La interacción de los gases de combustión con la materia prima presente en el horno hace que los gases ácidos (sulfurosos y halogenados) formados en la combustión sean neutralizados y que la parte mineral no combustible del residuo quede retenida en la estructura del clínker de forma irreversible.

Estas dos razones evitan ciertos impactos que han preocupado en otras instalaciones de combustión de residuos (pe.: incineradoras), como son las emisiones de compuestos orgánicos o metales pesados, o la generación de cenizas, escorias o aguas residuales. En concreto, no se producen emisiones de dioxinas en el horno de clínker por emplear residuos. Éstas son controladas de acuerdo a la normativa y permanecen muy por debajo de los límites más exigentes que garantizan la calidad ambiental.

Tabla 1.- Constituyentes principales de los gases emitidos por el horno de cemento.

Compuesto	% en volumen
Nitrógeno (N ₂)	45 - 66
Dióxido de carbono (CO ₂)	11 - 29
Agua (H ₂ O)	10 - 39
Oxígeno (O ₂)	4 - 12
Resto (incluidos contaminantes)	< 1

la industria cementera y el medio ambiente

Adicionalmente, la valorización energética de residuos se lleva a cabo con las siguientes garantías:

- Los combustibles alternativos provienen de gestores autorizados y sólo son aceptados tras un control de su composición y una verificación de su aptitud para ser valorizados en la planta cementera.
- Durante su valorización, tanto los parámetros que aseguran la adecuada combustión, como las emisiones del proceso, son controladas, verificando que se adecuan a las condiciones establecidas por las autoridades competentes. Estas condiciones se han detallado en la Directiva Europea 2.000/76/CE, que dedica un anexo especial a la valorización de residuos en fábricas de cemento, y son mucho más estrictas que las habituales de funcionamiento.

La combustión de residuos en el horno de clínker tiene lugar en una o dos zonas, en función de la tecnología empleada:

- a) En el mechero principal, presente en todos los hornos, situado en la parte más baja del horno rotatorio. 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.
- b) En la zona del horno en que se produce la descarbonatación de la caliza (calcinación), en la que la combustión se realiza a temperaturas cercanas a los 1200 °C, manteniéndose una temperatura superior a 850 °C durante unos 3 segundos.

La ubicación concreta de la segunda zona de combustión varía para distintas tipologías de hornos:

- Los hornos más modernos disponen de una cámara de combustión en la parte baja de la torre de ciclones (precalcinador), donde se realiza la combustión con aporte de aire caliente proveniente del enfriador de clínker (Figura 2). Algunos hornos disponen de precalcinador sin aporte de aire terciario, por lo que la combustión se realiza con el exceso de oxígeno proveniente del mechero principal.

- En hornos vía seca que no disponen de precalcinador o en hornos vía semiseca o semihúmeda, la combustión puede realizarse en la primera zona del horno rotatorio. Este sistema está especialmente indicado para combustibles densos y alimentados en tamaños relativamente grandes (pe.: neumáticos enteros o troceados, Figura 3).

- En hornos vía húmeda o en hornos largos, la alimentación de combustibles alternativos puede realizarse en una zona adecuada del horno rotatorio (sistema patentado 'Mid Kiln'). La apertura realizada en el horno rotatorio y el sistema de compuertas permite que se pueda alimentar combustible en cada rotación del horno.

En las condiciones de combustión descritas, los compuestos orgánicos contenidos en los residuos son destruidos, dando como resultado la formación de CO₂ y H₂O. La energía liberada en la combustión se aprovecha en el proceso de fabricación de clínker.

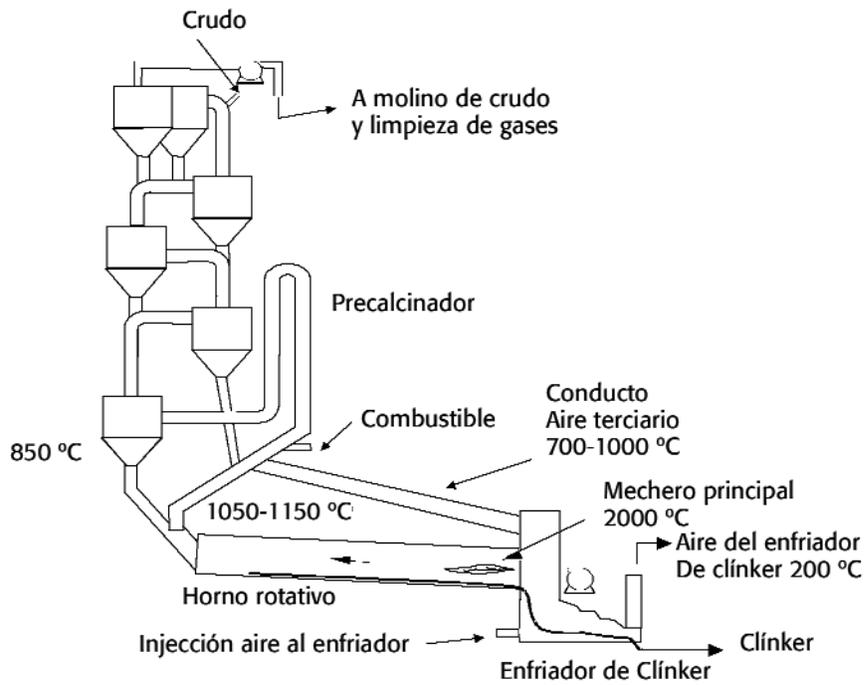
En el caso de que el residuo contenga cloro o azufre, la combustión generará gases ácidos como el cloruro de hidrógeno y el óxido de azufre. Estos gases son neutralizados y absorbidos por la materia prima, de naturaleza alcalina. Las sales inorgánicas formadas se incorporan al clínker.

Al igual que los combustibles fósiles empleados tradicionalmente, los residuos pueden contener pequeñas cantidades de metales. Los numerosos estudios realizados sobre el comportamiento de los metales han demostrado que son retenidos mayoritariamente en el clínker. La retención alcanza cifras muy próximas al 100 % [6], lo que garantiza que los metales contenidos en los residuos no van a presentar un problema de emisiones. Los metales relativamente volátiles como el mercurio y el talio no tienen estas retenciones por lo que no se emplean combustibles que los contengan.

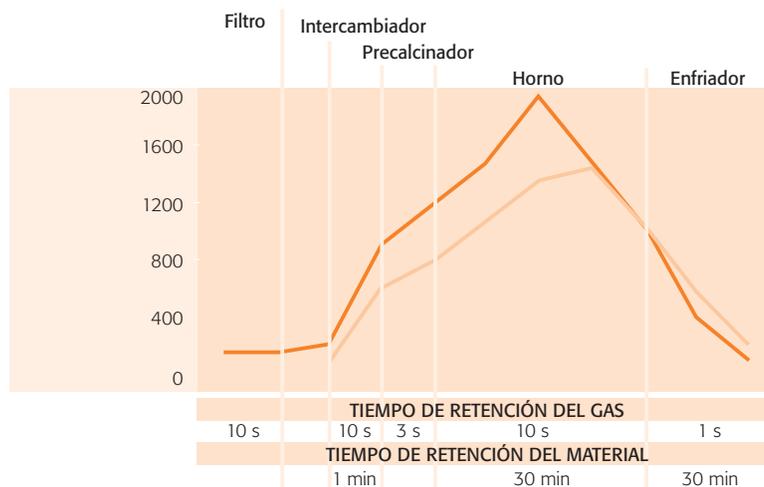
Por otra parte, los combustibles alternativos pueden aportar minerales que contribuyan a formar los compuestos del clínker. Los neumáticos usados, por ejemplo, además de energía aportan hierro para la composición del clínker; las harinas animales aportan calcio. En este caso, además de la valorización energética, los minerales contenidos en el residuo se reciclan en el clínker.

la industria cementera y el medio ambiente

Figura 2.- Esquema de horno con intercambiador de ciclones y precalcinador. Debajo los perfiles de temperaturas correspondientes a cada zona. [Fuente: Informe "Empleo de residuos como combustibles alternativos en la industria del cemento". Comisión Europea] [5].

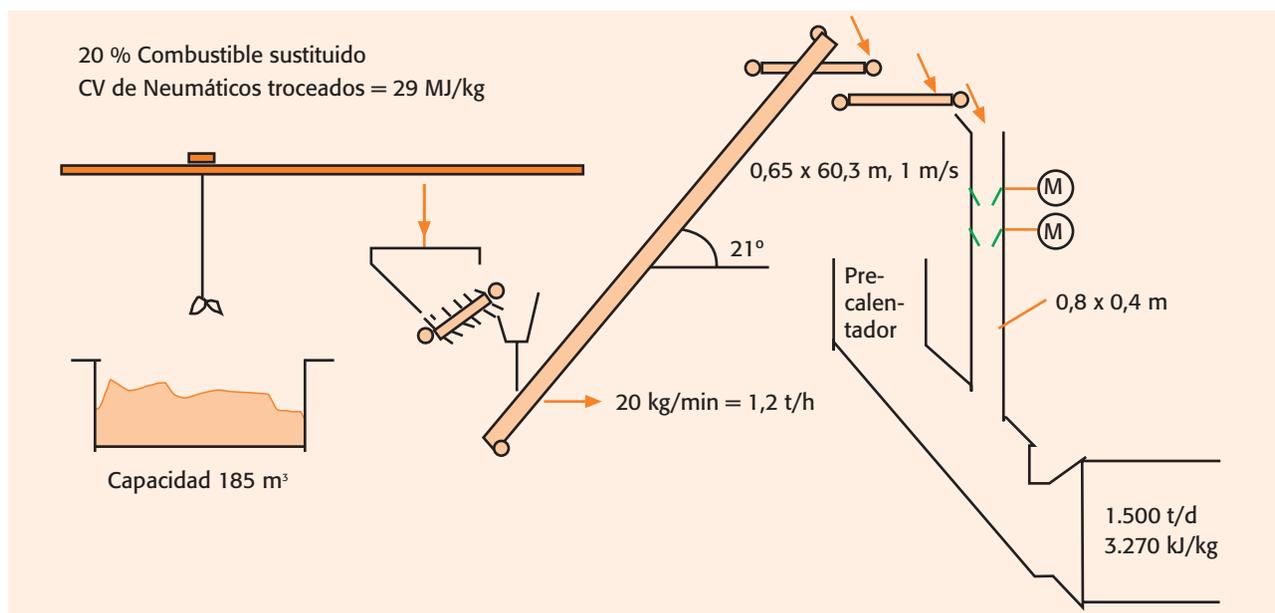


Perfiles de temperatura.



la industria cementera y el medio ambiente

Figura 3.- Alimentación de neumáticos troceados al horno. Ejemplo. [Fuente: Informe "Empleo de residuos como combustibles alternativos en la industria del cemento. Energie. Comisión Europea].



3.3. Dioxinas y furanos y uso de combustibles alternativos

Aunque como regla general la combustión de residuos es una potencial fuente de dioxinas, los hornos de cemento tienen unas características especiales que evitan la generación de dioxinas. Las temperaturas de combustión en la llama principal duplican las temperaturas necesarias para la destrucción de estos compuestos, y los gases permanecen mucho tiempo a esas altas temperaturas. Para evitar la formación de dioxinas y furanos en los procesos de combustión de residuos se exige que los gases de combustión permanezcan tiempos superiores a 2 segundos a temperaturas superiores a 850 °C o superiores a 1.100 °C en presencia de cloro. Estas condiciones se superan holgadamente en los hornos de clinker, como se ha visto en los perfiles de temperaturas anteriores.

Por otra parte, para la formación de dioxinas posteriormente a combustión se requiere simultáneamente la presencia de cloro, presencia de orgánicos (precursores) y un rango de temperaturas entre 200° y 400°. Estas condiciones no se producen en los hornos de clinker españoles y europeos en general: por una parte los gases no están en ese rango de temperaturas el tiempo suficiente, pues son enfriados en su

intercambio térmico con el crudo y a veces adicionalmente en torres de enfriamiento. Además la presencia de cloro se suele limitar en el horno porque produce problemas de pegaduras y por requisitos de la calidad del cemento. Por otra parte los orgánicos han sido destruidos durante la combustión, y salvo casos en los que la materia prima contenga gran cantidad de orgánicos no habrá precursores en los rangos de temperaturas descritos.

Por todo ello las mediciones realizadas durante el uso de residuos han demostrado que las emisiones son muy bajas [7, 8], y que no se emiten dioxinas por el hecho de sustituir parte del combustible tradicional por el combustible de residuos [9]. Estos estudios han sido realizados por múltiples organismos:

- Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas [10], dentro de los trabajos de desarrollo del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes Orgánicos persistentes. Los investigadores han establecido que las plantas de cemento con tecnología moderna, bien operadas y mantenidas, no presentan incremento de emisiones de dioxinas al usar residuos como combustible. En sus campañas de mediciones se incluyeron pruebas con neumáticos y disolventes, entre otros.

la industria cementera y el medio ambiente

- El Instituto de Química Ambiental de Barcelona, del CSIC, realizó un estudio [11] en el que los residuos empleados eran harinas animales y neumáticos. Los niveles de emisión de dioxinas y furanos estaban en el rango de niveles de emisión documentados en el Inventario Nacional de Dioxinas para fábricas de cemento que no usaban residuos.
- El Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales, del Ministerio de Industria y Energía, CIEMAT, evaluó las emisiones de hornos que empleaban neumáticos, disolventes, pinturas, barnices, aceites usados, harinas animales, serrín, etc. no apreciando un incremento de las mismas por el cambio de combustible [12].
- La Agencia Francesa de Medio Ambiente [13] realizó una comprobación de más de 60 mediciones previamente a decidir que en Francia las harinas animales se destinarían prioritariamente a los hornos de cemento como parte de la solución a la crisis de las vacas locas.

Llama del horno de clínker.



- La Agencia de Medio Ambiente de Estados Unidos, que durante algunos años llamó la atención sobre las potenciales emisiones de los hornos industriales que usaban residuos peligrosos sin realizar controles de dioxinas, logró que se pusiera un límite de emisión, aunque no tan estricto como el europeo, para estas instalaciones. Ciertos hornos de cemento empleados allí, sí presentaron emisiones de dioxinas mayores de lo permitido en

Europa debido posiblemente a una combinación de condiciones de temperatura en los electrofiltros, compuestos orgánicos en las, materias primas naturales, etc. Tras posteriores investigaciones más sistemáticas la EPA concluyó que las emisiones de dioxinas en hornos de cemento no dependían del combustible utilizado sino de otros parámetros como las temperaturas de dispositivos de limpieza de gases [14]. Tampoco se halló dependencia de las emisiones con el contenido en cloro de los residuos peligrosos alimentados, dado el alto porcentaje de retención de cloro por el ambiente alcalino del horno. En 1997 la EPA afirmaba que *“La combinación de mucho tiempo en la cámara de combustión y altas temperaturas hace que los hornos de cemento sean un ambiente idóneo para la combustión de combustible derivado de neumáticos. Las emisiones de los hornos no se ven afectadas negativamente por el uso de estos combustibles respecto a los de base”* [15]. Como consecuencia del avance en sus estudios sobre el tema, la EPA rebajó su estimación de las emisiones de la combustión de residuos peligrosos en hornos de cemento en un 97 % desde 1990, mientras que el uso de residuos peligrosos en hornos de cemento en EEUU se ha incrementado en casi 200.000 toneladas anuales desde entonces.

- El Instituto para el Carbón Limpio (Reino Unido), ha realizado una revisión de los datos de emisiones en Europa, y Australia, y también concluye que el uso de combustibles alternativos no ha resultado en un incremento de las emisiones de dioxinas y furanos [16].
- El Instituto Noruego de Investigación SINTEF [17] ha llevado a cabo una recopilación y análisis de estudios de emisiones de hornos de cemento que abarcan más de 1.700 medidas de dioxinas y furanos y otros compuestos orgánicos persistentes en hornos de cemento de los cinco continentes, operados en condiciones tanto normales como extremas, y usando combustibles tradicionales y alternativos, incluyendo peligrosos. Se presenta un conjunto de estudios de emisión y se muestra que la combustión de residuos peligrosos en hornos de cemento no tiene un efecto significativo en la formación y emisión de dioxinas y furanos. Como conclusión más

la industria cementera y el medio ambiente

amplia establece que el uso de residuos como combustibles o como materias primas alternativas, alimentados al quemador principal, precalcinador o al precalentador no influye en los niveles de emisión de contaminantes orgánicos persistentes (POPs).

- Los resultados de mediciones realizadas durante una década en hornos de cemento australianos no mostraron ninguna diferencia significativa en los niveles de emisión de dioxinas debida al uso de residuos como combustible y situaron la contribución del sector cementero como insignificante con respecto al total de emisiones en Australia [18].
- En Alemania se vienen realizando estudios de emisiones de dioxinas desde finales de los 80 con combustibles tradicionales y alternativos como aceites, neumáticos, o disolventes, sin apreciar influencia por el tipo de combustible. En 1999 la proporción de energía usada en los hornos que procedía de residuos era del 23 %, y en 2003 había aumentado a un 35 %, manteniéndose los niveles de emisión. Más de 200.000 t anuales de residuos peligrosos son valorizados cada año en los hornos de cemento alemanes [17].

Por otra parte el departamento de toxicología de la Universidad Rovira Virgili ha realizado un estudio de evaluación de riesgos sobre la salud que la pequeña emisión de dioxinas y metales de una fábrica podría generar en el entorno de una fábrica que lleva más de 100 años de operación. Para ello se compararon contenidos de estas sustancias en suelos, vegetales y aire circundante a la fábrica con otras zonas no expuestas a la influencia de la cementera, incluyendo zonas rurales. Los resultados fueron similares, no evaluándose un riesgo adicional para la salud de los habitantes de la zona.

Gracias a la abrumadora evidencia científica y al alto grado de controles que existen sobre el uso de residuos en la industria cementera, es posible contrarrestar los temores que en ocasiones se han intentado difundir para frenar algunos proyectos de sustitución de combustibles, so pretexto de una supuesta amenaza de contaminación que nunca se ha documentado en instalaciones cementeras del tipo de las existentes en España.

3.4. Calidad de los cementos producidos

Las características medioambientales de los productos derivados del cemento no se ven afectadas por el empleo de combustibles alternativos en el proceso de fabricación del cemento. Estos productos tienen las mismas propiedades que los elaborados con cemento fabricado con combustibles fósiles, tanto desde el punto de vista de las prestaciones técnicas como del comportamiento ambiental.

La fracción inorgánica de los combustibles alternativos, incluidos metales pesados, se combinan en el clínker de cemento. Del mismo modo forman parte del clínker los metales contenidos en las materias primas naturales empleadas. En la práctica no se producen cambios significativos en las concentraciones de metales pesados por el empleo de combustibles alternativos en la fabricación de cemento [19].

Los metales pesados presentes en el cemento están incorporados a la estructura mineralógica del clínker, y químicamente ligados mediante las reacciones alcalinas que tienen lugar cuando el cemento reacciona con el agua para dar a sus productos derivados la resistencia mecánica que les caracteriza. Esta fijación química, además de la alta densidad y baja permeabilidad del hormigón, da como resultado un potencial muy bajo de liberación de metales al medio acuoso (lixiviación). La lixiviación de metales pesados ha sido objeto de estudio en numerosas investigaciones. Todas ellas demuestran que la emisión es muy reducida, cualquiera que sea el combustible empleado para la fabricación de cemento. Las cantidades lixiviadas han sido siempre inferiores a los umbrales de detección de las técnicas de análisis o con valores muy inferiores a los niveles permitidos para el agua potable [20].

3.5. Limitaciones a la sustitución con combustibles alternativos

Aunque existe una amplia variedad de residuos que pueden aprovecharse de manera segura en los hornos de clínker, no todos son utilizables y antes de cada prueba o proyecto definitivo se realiza una cuidadosa selección de tipos y dosificación. Para los fabricantes de cemento la utilización de residuos como combustibles alternativos no debe perjudicar el

la industria cementera y el medio ambiente

comportamiento ambiental de la instalación, ni dificultar la operación de la fábrica, ni afectar a la calidad del cemento.

Las limitaciones en cuanto a los tipos de residuos derivan de los considerandos anteriores, y dependen de cada instalación concreta, aunque como reglas generales se pueden citar las siguientes:

- El contenido en cloro en el cemento está limitado al 0,1 % en peso, por lo que debe limitarse en cierta medida el contenido de cloro en los combustibles. También algunas sales que forma el cloro pueden dar lugar a pegaduras y atascos en los ciclones. Por otra parte, la fijación de ciertas sales en el clínker puede ser objeto también de limitación, como el caso del fósforo.
- Por otra parte, ya se ha comentado que los metales más volátiles (Hg, Tl) escapan en cierta medida a la acción del horno y pueden ser emitidos parcialmente a la atmósfera. Su contenido en los combustibles alternativos debe ser por tanto objeto de limitación y control.

4. La nueva normativa sobre uso de residuos como combustible en hornos de cemento

4.1. Marco legal general: la Ley de residuos

El marco legal general sobre los residuos es la Ley 10/98 de residuos. Establece como objetivo fomentar por este orden la reducción, reutilización, reciclado, y otras formas de valorización de los residuos.

La Ley define la valorización como todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos. De acuerdo con la Orden Ministerial MAM/304/2002, la valorización incluye el uso principal como combustible (por ejemplo en hornos de cemento) y no la incineración.

La Ley exige que la valorización de residuos cuente con una autorización autonómica y que el Gobierno y, en su caso las comunidades autónomas, establezcan los requisitos de las plantas, procesos y productos de la valorización, con especificación de las exigencias de calidad y las tecnologías a emple-

ar para preservar la salud humana y el medio ambiente. Estas especificaciones las veremos más adelante en el RD 653/2003 [21].

Los poseedores de residuos estarán obligados, salvo que procedan a gestionarlos por sí mismos o que se trate de residuos municipales, a entregarlos a un gestor de residuos para su valorización o eliminación, o a participar en un acuerdo voluntario o convenio de colaboración que comprenda estas operaciones. Todo residuo potencialmente reciclable o valorizable deberá ser destinado a estos fines, evitando su eliminación en todos los casos posibles. En la práctica, este principio choca con el hecho de que la eliminación en forma de vertido se sigue practicando por inercia y sigue siendo una opción barata pues su precio en España todavía no incluye los costes medioambientales que genera.

Desarrollando esta ley han surgido planes de gestión de residuos, en los que por ejemplo se establecen los siguientes objetivos ecológicos:

- Prohibición del vertido de neumáticos enteros a partir del año 2003 y de neumáticos troceados a partir del 2006. Se recuperará y valorizará el 100 % de las cantidades de estos neumáticos fuera de uso que se generen. Esta valorización se realizará mediante reciclaje o valorización energética, por ejemplo para los neumáti-

Depósito de neumáticos usados.



la industria cementera y el medio ambiente

cos de vehículo antes de 2007 se deberá hacer mediante al menos el 20 % de recauchutado, al menos 25 % de reciclaje, por lo que el porcentaje restante debe ser destinado a valorización energética, que equivale hasta unas 180.000 toneladas de neumáticos fuera de uso.

- Valorización energética de unas 230.000 t de lodos de depuración hacia 2005. Normalmente estos lodos requerirán un pretratamiento de secado para su valorización.

Otras normas legales que afectan al marco de uso de residuos como combustible son:

- Ley 16/2002 sobre Prevención y Control integrados de la contaminación. Exige que las fábricas de cemento de más de 500 t/d de capacidad cuenten con una Autorización Ambiental Integrada antes del 31 de octubre de 2007 ó cuando realicen una modificación sustancial para el medio ambiente en sus instalaciones. Incluye las autorizaciones relativas a valorización de residuos.
- Real Decreto 1481/2001. Prohíbe el vertido de neumáticos enteros, y prohíbe el vertido de neumáticos troceados a partir de julio de 2006. También prohíbe el vertido de residuos sin tratar, puesto que una vez tratados su reciclaje o valorización energética se ve facilitada. Establece objetivos de reducción de vertido de residuos urbanos biodegradables en los vertederos. Estos objetivos de reducción son, para el 2006, vertido de menos del 75 % respecto de la cantidad generada en 1995, menos del 50 % en 2009 y menos del 35 % en 2016.

4.2. Marco legal particular: el Real Decreto 653/2003

Hasta el año 2000 los condicionantes ambientales legales de las fábricas de cemento que usaban residuos como combustible se derivaban de la siguiente legislación:

- Real Decreto 1217/1997 de incineración de residuos peligrosos. Establece la "regla de la mezcla" para instalaciones que utilicen energía térmica de los residuos, reduciendo los límites de emisión en función del porcentaje

de residuos empleados como combustible hasta un valor límite.

En muchas ocasiones sus disposiciones resultaban ambiguas y la aplicación de la "regla de la mezcla" no era sencilla pues había elementos de las fórmulas que no estaban definidos.

La Directiva 76/2000 de incineración de residuos propone un enfoque integrador sobre los efectos ambientales, puesto que es una directiva posterior a la IPPC, y sobre los distintos tipos de residuos; y actualiza las exigencias de la Directiva Marco de Residuos, que exige a los Estados miembros tomar las medidas necesarias para garantizar que los residuos se valorizarán o eliminarán sin poner en peligro la salud humana ni perjudicar el medio ambiente.

Con el conocimiento actual y las mejores técnicas disponibles, y aplicando el principio de precaución, la directiva establece los límites de emisión y otros condicionantes ambientales que deben cumplir las instalaciones donde se realice un tratamiento térmico de residuos, para lograr un elevado grado de protección del medio ambiente y la salud de las personas (Considerando 7) [22]. La distinción entre residuos peligrosos o no peligrosos de la legislación anterior marcará una diferencia entre algunas condiciones de operación y control, pero no será relevante a la hora de limitar las emisiones, lo cual se hará a partir de ahora de un modo igualmente exigente.

La transposición de la Directiva al ordenamiento jurídico español se ha hecho mediante el Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos, publicado en el BOE el día 14 de junio de 2003. El Decreto recoge las disposiciones de la directiva y añade algunas exigencias y matices derivados principalmente de coincidencia temporal del plazo de adaptación al Real Decreto (hasta el 28 de diciembre de 2005) y el plazo de adaptación de la industria a la Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación [23].

4.2.1 Ámbito de aplicación

El Real Decreto se aplicará a cualquier instalación fija o móvil en la que se realice un tratamiento térmico de los residuos, como:

la industria cementera y el medio ambiente

- Instalaciones de incineración, pirólisis, gasificación (puesto que los gases resultantes posteriormente se queman).
- Instalaciones de fabricación de productos materiales o de generación de energía que utilicen residuos como combustible.

Citamos algunas excepciones de interés:

- Instalaciones que sólo incineren canales o partes de animales que no se consideren subproductos transformados (las harinas animales no entrarían por tanto en esta excepción). Estas instalaciones están sujetas a otra normativa, de marcado carácter sanitario.
- Instalaciones que sólo traten residuos vegetales, corcho o madera sin tratar, con ciertas condiciones en cuanto al aprovechamiento energético.
- Instalaciones experimentales que traten menos de 50 t/año.

El Real Decreto distingue dos tipos de instalación: incineradoras, y coincineradoras (como centrales térmicas, cementeras), etc. que se definen como las instalaciones cuya finalidad principal sea la generación de energía o la fabricación de productos materiales y que utilice residuos como combustible habitual o complementario, o bien elimine residuos mediante tratamiento térmico.

El RD se aplica tanto a los residuos peligrosos como no peligrosos, pero en el caso de los residuos peligrosos se exigirán unos controles adicionales. Aunque muchos residuos líquidos tienen en general la clasificación de peligrosos, a efectos de este Real Decreto no se incluirán como peligrosos los siguientes residuos:

- Residuos líquidos combustibles, incluidos los aceites usados, que tengan un contenido de hidrocarburos aromáticos policlorados menor de 50 ppm, un poder calorífico inferior de 30 MJ/kg, y que no contengan ciertos metales o compuestos orgánicos o inorgánicos en cantidades que impidan que la valorización se realice sin perjudicar al medio ambiente o la salud humana, lo

cual en la práctica se traduce en que sean residuos adecuadamente manipulados y almacenados, y su combustión cumpla los límites de emisión descritos más adelante.

- Residuos líquidos combustibles que no puedan provocar en los gases directamente resultantes de su combustión emisiones mayores a las procedentes del gasóleo.

4.2.2 Fechas de Aplicación

El Real Decreto está actualmente en vigor, aunque cuenta con un periodo transitorio de adaptación para las instalaciones existentes.

Para coincineradores existentes la fecha de aplicación será el 28 de diciembre de 2005. Se definen coincineradores existentes (Artículo 3.6.d) como instalaciones que estén en funcionamiento en junio de 2003 y que comiencen a coincinerar antes del 28 de diciembre de 2004. La adaptación al Real Decreto supondrá adaptar antes del 28 de diciembre de 2005 las correspondientes autorizaciones que tengan otorgadas por su Comunidad Autónoma incluyendo los aspectos de control y límites de emisiones que establece el Real Decreto.

Teniendo en cuenta que la práctica totalidad de las fábricas de cemento con hornos está sometida a la Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, este procedimiento se puede realizar simultáneamente a la adaptación a la IPPC o por separado (Dispo. Transitoria 2), de modo que las alternativas son:

- Pedir la autorización integrada antes de principios de 2005, de modo que ésta contemple el uso de residuos como combustible y sea otorgada con los procedimientos de control de los residuos y limitación y control de emisiones.
- Pedir la autorización de coincinerador o actualizar la de gestor conforme al Real Decreto antes de principios de 2005 y posteriormente la autorización ambiental integrada (que englobará la anterior) antes de principios de

la industria cementera y el medio ambiente

2007. (Estas fechas se indican teniendo en cuenta los plazos administrativos necesarios para la concesión de estas autorizaciones)

4.2.3 Requisitos generales

Autorización

Las instalaciones deberán contar con una autorización, que será la Autorización Ambiental Integrada en las que estén sometidas a la Ley IPPC. Es decir, las fábricas de cemento que valoricen residuos tendrán una autorización en la que se integre la actividad de fabricación de cemento, y la autorización como instalación de coincineración. La antigua autorización de valorización según la Ley 10/98 desaparece, por estar su contenido englobado en la nueva autorización integrada.

La solicitud de la autorización contendrá la siguiente información:

- Descripción de las medidas previstas para cumplir los requisitos de control, medición (muestreo y monitorización) de emisiones, limitación de emisiones, control operacional, y control de entrega y recepción de los residuos, de acuerdo a lo que se expondrá en los siguientes apartados.
- Descripción de las medidas previstas para la recuperación del calor. En el caso del horno de cemento, el calor de combustión es recuperado con mucha efectividad para el precalentamiento y cocción de la materia prima.
- Descripción de las medidas para reducir al mínimo los residuos generados por la coincineración. En el caso del horno de cemento no se generan residuos de coincineración.
- Descripción de tipos y cantidades de residuos a emplear, de acuerdo con el Catálogo Europeo de Residuos, así como su poder calorífico inferior, forma de alimentación y punto de alimentación al proceso. Grado de aprovechamiento energético resultante cuando se quemen los residuos en las proporciones solicitadas. El sentido de esta última información se debe a que a partir del 40 % de aprovechamiento de residuos peligrosos (con las

Fábrica de cemento.



excepciones mencionadas en el ámbito de aplicación) se exigirán unas condiciones especiales de control.

La autorización será otorgada por la Comunidad Autónoma e indicará:

- Código CER de los residuos autorizados y cantidades.
- Capacidad de coincineración de la instalación, total y por horno.
- Procedimientos de muestreo y medición de contaminantes, incluyendo periodicidad.
- En caso de residuos peligrosos: flujos mínimos y máximos de cada residuo, PCI mín. y máx., y contenidos máximos de PCB, PCP, Cl, F, S, y metales pesados.

Esta autorización ambiental integrada se revisa cada 8 años, o cuando tenga lugar una modificación sustancial, por ejemplo, cambios de funcionamiento de la instalación que conlleven la valorización de residuos peligrosos.

Condiciones de entrega y recepción de residuos. Garantías medioambientales I

El operador tomará todas las precauciones necesarias para impedir o limitar en la medida de lo posible los efectos nega-

la industria cementera y el medio ambiente

tivos sobre el medio ambiente o la salud humana de la entrega y recepción de los residuos. La aplicación de la normativa sobre almacenamiento de productos químicos y el diseño de accesos o rutas para los camiones suelen ser las medidas tomadas.

Previamente a la aceptación el operador determinará la masa y tipo del residuo entrante. En caso de residuos peligrosos, el operador deberá disponer de información sobre su composición y características, para comprobar que son acordes con su autorización, y sobre sus riesgos para tomar las precauciones adecuadas (evitar mezclas, equipos de protección contra incendios...). El procedimiento de aceptación será precedido por una comprobación documental, y un muestreo representativo a conservar durante 1 mes tras su tratamiento.

Condiciones de diseño, equipamiento y explotación. Garantías medioambientales II

Debe existir una persona física responsable de la gestión de la instalación.

La temperatura de los gases resultantes de la coincineración será superior a 850° durante al menos 2 segundos. En caso de residuos peligrosos con más del 1 % de cloro procedente de compuestos organohalogenados, la temperatura deberá superar los 1.100°.

Cuando se ponga en funcionamiento la instalación, al menos una vez, se verificarán estas condiciones en las condiciones más desfavorables de funcionamiento previsibles. Puesto que las temperaturas del horno de clínker superan con creces las requeridas, esta comprobación no supondrá dificultad.

Se realizarán mediciones continuas de temperatura cerca de la pared interna de la cámara de combustión o en algún lugar del horno que la autoridad acepte como representativo. También del oxígeno en el horno.

Las instalaciones dispondrán de un sistema automático de alimentación que impedirá la alimentación de residuos en caso de que no se den las condiciones anteriores o cuando las mediciones en continuo muestren el incumplimiento de

los límites de emisión debido a perturbaciones o a fallos en los dispositivos de depuración.

La operación se realizará de modo que se cumplan los límites de emisión y se respeten las normas de calidad atmosférica.

Las zonas de almacenamiento de residuos se diseñarán y explotarán de modo que se impidan los vertidos accidentales de sustancias contaminantes, y los vertidos de aguas contaminadas de escorrentía de precipitaciones.

Silo de harinas animales.



Control y seguimiento de las emisiones. Garantías medioambientales III

En general, se realizarán las mediciones puntuales y de contraste de los equipos de medición en continuo de acuerdo con los requisitos establecidos en la autorización, y su

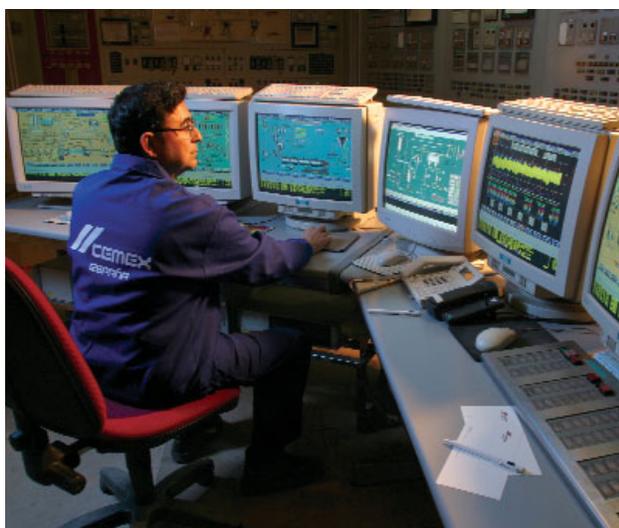
la industria cementera y el medio ambiente

muestreo y análisis se harán de acuerdo a normas CEN, o en su defecto ISO, u otras de calidad aceptada.

Se requieren mediciones en continuo de emisiones de partículas, CO, NO_x, SO₂, COT, HCl, HF. Debido a las dificultades técnicas existentes todavía en la medición en continuo de HF sin interferencias, se podrá sustituir la medición en continuo de HF por mediciones puntuales en instalaciones que disponen de un tratamiento de gases que mantenga las emisiones por debajo de los límites, como el horno de cemento. La Comunidad Autónoma puede autorizar otras posibles excepciones en la medición de HCl y SO₂, pero no son necesarias en general gracias a las nuevas técnicas de medición en continuo.

También se medirá en continuo el contenido de agua, presión y oxígeno en los gases de salida, para poder expresar los contenidos de contaminantes a las condiciones normales de gas seco, 1 atmósfera de presión, y 273 K de temperatura y 10 % de oxígeno. La corrección al 10 % de oxígeno no se realizará en las instalaciones que empleen residuos peligrosos cuando los gases de salida ya tengan una concentración de oxígeno menor del 10 %. No será necesario medir el agua si los gases son secados previamente a su análisis. Se tendrá en cuenta la incertidumbre de los equipos de medición.

Sala de control.



El control de metales pesados y dioxinas y furanos se realizará el primer año al menos cada 2 meses, luego 4 veces al año.

Para obtener las medias diarias de emisión de un contaminante y poder comparar ese valor con los límites de emisión, el Real Decreto establece lo siguiente:

Los equipos de medición en continuo serán objeto de control y supervisión una vez al año, y calibrado mediante mediciones paralelas con los métodos de referencia cada 3 años.

Las medias semihorarias servirán para obtener una media de emisión diaria del horno de cemento. Puesto que es posible que los equipos de medición requieran un cierto mantenimiento, se exige un tiempo de disponibilidad mínimo de estos equipos.

Cumplimiento de valores límite de emisión. Garantías medioambientales IV

Los valores límite de emisión para cualquier instalación en la que se realice un tratamiento térmico de residuos vienen recogidos en los Anexos del Real Decreto 653/2003. Esto es muy importante pues hasta la fecha en España se permitía el uso como combustible de determinados tipos de aceites o subproductos animales en instalaciones de combustión que no cuentan con las garantías necesarias en lo que a condiciones de proceso y de control ambiental se refiere.

En el anexo IV figuran los límites de emisión para vertidos de aguas residuales procedentes de la depuración de gases de escape. Puesto que en los hornos de cemento la limpieza y depuración de los gases de combustión se realiza en seco, no existen vertidos de esta agua y no será de aplicación este Anexo.

En el Anexo V se determinan los valores límite de emisión de las instalaciones de incineración, y en el II los valores límite de emisión de las instalaciones de coincineración. Los hornos de cemento son instalaciones de coincineración, aunque en determinados casos muy especiales les serán de aplicación los límites establecidos en el Anexo V.

la industria cementera y el medio ambiente

Estos casos, muy improbables por ahora en España, son los siguientes:

- cuando más del 40 % de su consumo térmico provenga de residuos peligrosos (definidos con las excepciones mencionadas),
- cuando usen como combustible residuos municipales urbanos mezclados (es decir, los que no provengan de recogida selectiva) no tratados previamente (mediante clasificación o tratamientos físicos, químicos, biológicos o térmicos).

En el Anexo II.1 aparecen las disposiciones específicas para los hornos de cemento en que se coincieren residuos. Debido al creciente papel de la industria cementera europea en la valorización energética de residuos, se han establecido unos límites de aplicación directa y clara, para evitar las arbitrariedades a las que puede dar lugar la denominada "regla de la mezcla". Esta regla procede de la anterior legislación, y se aplica al resto de instalaciones de coincineración, de modo que su límite habitual de emisión se verá rebajado en cierta proporción en función del grado de sustitución de combustible.

Cabe destacar que las dioxinas y furanos y los metales pesados, contaminantes de especial trascendencia medioambiental, tienen el mismo límite de emisión tanto para las instalaciones de incineración como para las cementeras y otras instalaciones de combustión que coincieren residuos.

Los valores medios diarios, o los valores medios de las mediciones puntuales (puesto que en una medición puntual se suelen tomar dos o tres muestras de gas) se compararán con los valores límite de la Tabla 3.

Acceso a la información y participación pública

Dentro de la política de transparencia en materia de información medioambiental, están previstas las siguientes medidas de acceso a la información y participación pública respecto a las fábricas de cemento (u otras instalaciones) que valoricen residuos.

- La tramitación de nuevas solicitudes incluirá información pública y envío de alegaciones a la autoridad competente.
- Se pondrá a disposición del público una copia de la autorización.

Tabla 3.- Límites de emisión para combustión de residuos en hornos de cemento.

Contaminante	Concentración límite de emisión (en mg/Nm ³ salvo indicación)	
Partículas sólidas	30 (50*)	
NO _x	800 (500**) (1.200*)	
SO ₂	50 (***)	
COT	10 (***)	
HCl	10	
HF	1	
PCDD/F's	0,1 ng I-TEQ/Nm ³	
Metales pesados	Cd+Tl	0,05
	Hg	0,05
	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0,5

(*) La Comunidad Autónoma podrá aplicar ese límite hasta el 1 de enero de 2008 a las instalaciones que quemen menos de 3 toneladas/hora de residuos

(**) Hornos de cemento de nueva construcción

(***) La Comunidad Autónoma podrá autorizar exenciones en los casos en que el COT y el SO₂ no procedan de la incineración de residuos.

la industria cementera y el medio ambiente

- Las instalaciones de capacidad mayor de 2 toneladas/hora presentarán anualmente un informe público de seguimiento de la marcha del proceso, de sus emisiones y su comparación con los límites.
- La lista de instalaciones de capacidad menor de 2 t/h también será pública.

5. Perspectivas en el uso de combustibles alternativos

5.1. Potencial de sustitución. Experiencia internacional

El empleo de combustibles alternativos es una práctica asentada en la mayoría de los países desarrollados desde hace más de veinte años, entre los que destacan por el nivel de sustitución con residuos: Suiza, Holanda, Austria, Francia, Bélgica, Alemania y Japón.

En la actualidad, más del 12 % de los combustibles utilizados en la industria cementera de la Unión Europea son alternativos. Aproximadamente el 68 % de las fábricas de clínker (unas 150 de las 220 existentes) emplean combustibles alternativos, con un consumo total equivalente a 3,5 millones de toneladas de carbón. El nivel de sustitución mantiene una tendencia creciente, y en algunas regiones se ha superado la cifra del 50 %.

En Japón y Estados Unidos también se cuenta con amplia experiencia en este tema. Los residuos empleados principalmente son similares a los de mayor uso en Europa: neumáticos usados, disolventes, aceites, etc. En varios municipios de Japón se están instalando fábricas de cemento nuevas que aporten a la vez una solución a sus residuos y una fuente de material de construcción, denominado "ecocemento" [24].

El potencial de sustitución con combustibles alternativos podría alcanzar la práctica totalidad de la energía utilizada, cerca de 30 millones de toneladas de combustible al año. No es de esperar que se alcance en el corto plazo la cifra máxima mencionada, pero sí que se llegue en los próximos años

Tabla 4.- Utilización de residuos como combustible alternativo en Europa en 2001.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD EN TONELADAS
Combustibles sólidos (80 %)	3.532.000
Harinas animales (se incluye también grasas)	890.000
Neumáticos fuera de uso	554.000
Plásticos	210.000
Papel/cartón/madera	180.000
Serrín Impregnado	167.000
Residuos de destilación/lodos de carbón /residuos de hidrocarburos	112.000
Lodos de depuración/lodos de papelera	107.000
Residuos de ánodos	89.000
Residuos municipales	41.000
Esquistos	14.000
Envases y embalajes	12.000
Residuos de agricultura	11.000
Otros Residuos clasificados como peligrosos	357.000
Otros residuos no peligrosos	788.000
Combustibles líquidos (20 %)	841.000
Aceites usados y emulsiones	402.000
Disolventes y similares	266.000
Otros residuos líquidos clasificados como peligrosos	173.000
TOTAL	4.373.000

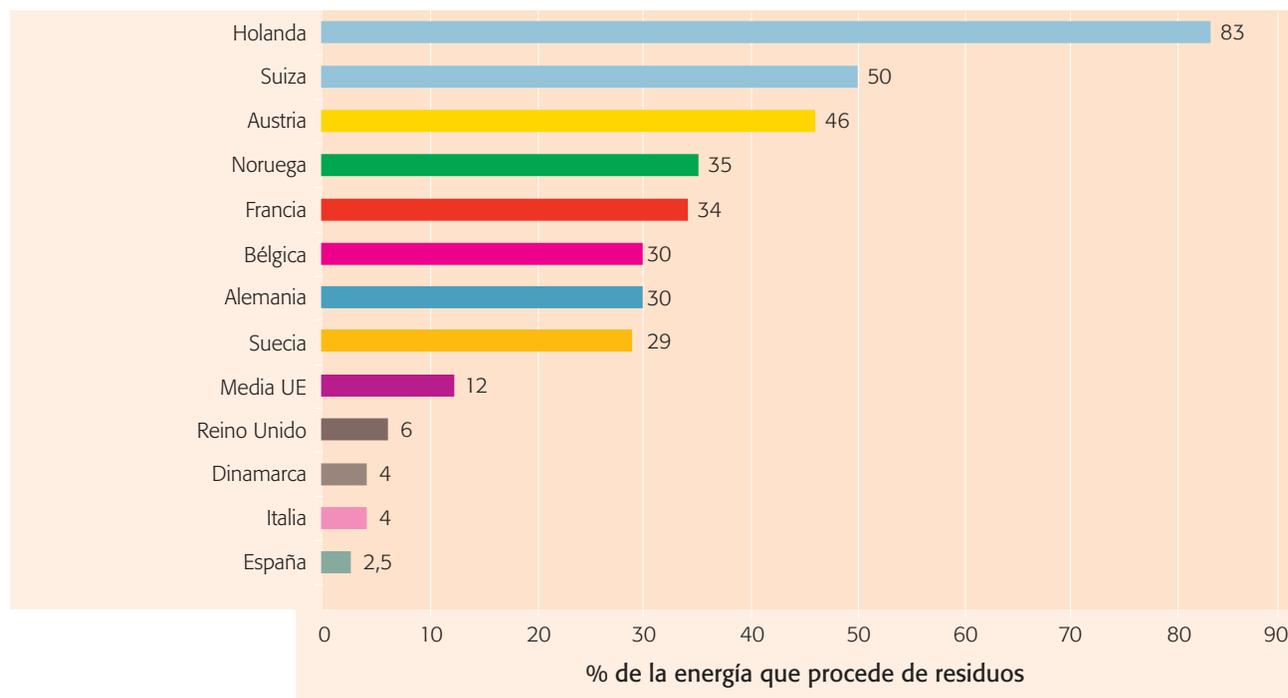
a una media para la Unión Europea de un 20 %, equivalente a unos 6 millones de toneladas de residuos orgánicos al año.

Entre los años 2001 y 2004 la Asociación Europea de Fabricantes de Cemento (Cembureau) recopiló información sobre las cantidades y tipos de residuos utilizados como combustible entre sus asociados. En la Tabla 4 podemos ver las cantidades de combustibles alternativos empleadas anualmente en Europa. En total suman más de 4.370.000 de residuos, de los cuales un tercio tiene la clasificación de peligroso, y que equivalen a más de 3,5 millones de toneladas de carbón.

En la Figura 4 podemos comparar las últimas cifras disponibles del grado de sustitución de combustibles fósiles por residuos en diversos países europeos.

la industria cementera y el medio ambiente

Figura 4.- Consumo de combustibles alternativos en la industria cementera de varios estados europeos en 2001-2003.



5.2. Perspectivas en España

En España cabe esperar un aumento similar al experimentado en Europa, donde se ha pasado del 3 % en 1990 al 12,2 % en 2001.

La valorización de residuos en hornos de cemento se ha visto impulsada en España en los últimos años por los siguientes motivos:

- Mayor concienciación en la correcta gestión de los residuos por parte de las Comunidades Autónomas, principales responsables en esta materia. Caben destacar las iniciativas de coordinación en el País Vasco y en la Generalitat Valenciana plasmadas en acuerdos concretos de colaboración entre Administración y empresas para reciclar y valorizar tipos concretos de residuos como lodos de depuración, neumáticos, harinas animales, residuos líquidos, etc.
- Impulso legislativo del Ministerio de Medio Ambiente para promover la recuperación de los residuos en lugar de su vertido.

- Mayor aceptación en el entorno de las fábricas gracias a una mejor información ciudadana derivada de una política de transparencia y comunicación de las empresas y al compromiso de las corporaciones locales hacia el beneficio medioambiental de su región.

- Colaboración estrecha con los trabajadores, plasmada en los sucesivos acuerdos entre la Agrupación de Fabricantes de Cemento y las secciones sectoriales autonómicas de los sindicatos CCOO y UGT, amparado por las Consejerías de Medio Ambiente en Andalucía (2002) Castilla-La Mancha (2003). Recientemente, en octubre de 2004 estos acuerdos se han ampliado a todo el territorio nacional mediante el **Acuerdo para la Valorización Energética de Residuos en la Industria del Cemento**, firmado entre Oficemen y las Direcciones sectoriales FECOMA-CCOO y MCA-UGT. Los principales puntos de este acuerdo son los siguientes:

- Objetivos de mejora medioambiental en cuanto a emisiones puntuales y dispersas, para fábricas de cemento en general.

la industria cementera y el medio ambiente

- Política de eficiencia energética y sustitución de combustibles fósiles por residuos. Se acuerda fomentar, entre otros, el uso de combustibles alternativos, con determinadas condiciones. Estas condiciones, desde el punto de vista técnico, implican la limitación y control de emisiones con anterioridad a la fecha de aplicación del Real Decreto de incineración. Por otra parte los proyectos se llevarán a cabo tras un intercambio de información con los representantes de los trabajadores y con especial atención sobre los aspectos relacionados con la prevención de riesgos laborales, que serán evaluados de manera específica.
- Política de participación de los trabajadores. La participación de los trabajadores se llevará a cabo tanto en el ámbito de fábrica, mediante la creación de la figura del delegado de medio ambiente, como en el ámbito sectorial, mediante la creación de una Comisión de seguimiento del acuerdo y una Fundación Laboral del Cemento. Entre los fines de esta Fundación destacan el fomento de la investigación, desarrollo, promoción y

formación sobre medio ambiente, salud y prevención de riesgos laborales en la industria del cemento.

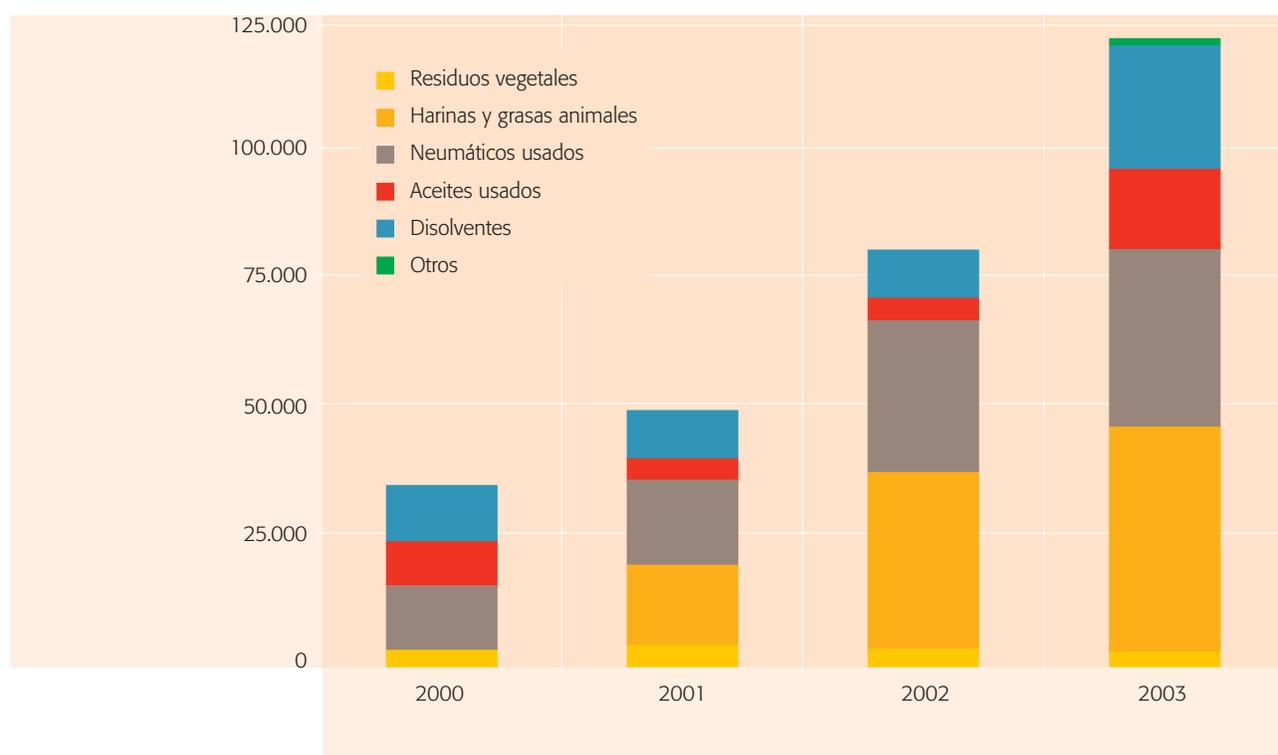
El sector cementero español utilizó en el año 2003 unas 121.000 toneladas de residuos como combustibles alternativos, que supusieron una media entorno al 2,5 % del consumo térmico de los hornos de clínker. De las 34 fábricas de cemento que disponen de horno de clínker gris, están valorizando residuos 16. En la Figura 5 podemos ver la evolución de los distintos tipos de residuos utilizados en los últimos años [25].

5.3. Contribución al Protocolo de Kioto y al Plan de Fomento de Energías Renovables

La recuperación de estos recursos combustibles evitó en el año 2003 el consumo de recursos energéticos no renovables en unas 67.000 toneladas de petróleo equivalente (tep), y su correspondiente transporte a España, país muy deficitario en energía.

Este uso también es importante para El Plan de Fomento de Energías Renovables [26] (1999-2010). Este Plan tiene

Figura 5.- Utilización de combustibles alternativos en las cementeras españolas (Cifras en toneladas).



la industria cementera y el medio ambiente

como objetivo para el año 2010 el aprovechamiento energético de alrededor de 10 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) de biomasa al año, mientras que entre todos los sectores suman poco más de 3 millones de tep. Esto requeriría un aumento anual respecto a los datos de 2001 de 700.000 toneladas en todos los sectores. Los Ministerios de Medio Ambiente e Industria y Energía tienen mucho interés en el desarrollo de este Plan al que la industria cementera podría contribuir en mayor medida si empleara parte de los residuos biodegradables que actualmente se están depositando en vertederos.

Es precisamente la reducción de emisiones de CO₂, dentro de los compromisos adoptados por los estados europeos para cumplir el Protocolo de Kioto, un aspecto clave del uso de combustibles alternativos. El ahorro en emisiones de CO₂ derivado de esta práctica tiene lugar de modo evidente cuando se usan residuos de biomasa, pero también cuando se usan otro tipo de residuos, como muestra la Figura 6.

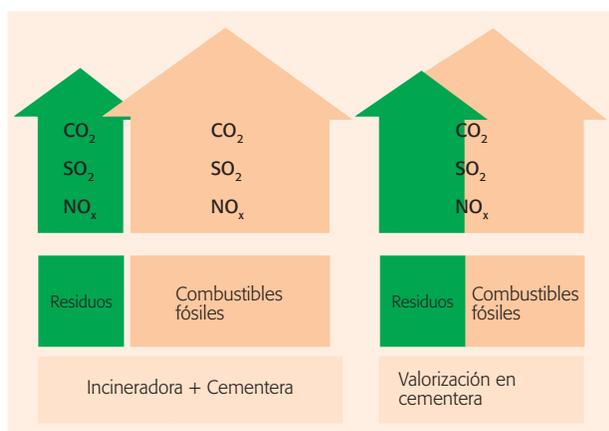
Para cuantificar estos ahorros son necesarios estudios de Análisis de Ciclo de Vida, en los que se compara el balance total de emisiones de CO₂ derivadas del tratamiento de un tipo concreto de residuos [27]. Como ejemplo de estos estudios cabe citar:

- Estudio de utilización de plásticos de envases en cementeras, del Fraunhofer Institute for Food and Package [28]. Cuantificó las reducciones de CO₂ que supondría el uso como combustible de los plásticos obtenidos de las

plantas de recuperación de plásticos procedentes de la recogida selectiva. El ahorro de CO₂ global que se producía por cada tonelada de plástico utilizado variaba entre 2 y 3 toneladas por cada tonelada de plástico empleado, según se comparase con la opción de vertido o de incineración con recuperación de calor.

- “Estudio comparativo del efecto ambiental asociado al tratamiento de harinas animales en distintas instalaciones”, del Institut Cerdà [29], muestra que por cada tonelada de harina animal que se valoriza en un horno de cemento, se ahorran entre 4,7 y 4,8 t de CO₂ respecto de las emitidas globalmente si se opta por llevar estos materiales a vertedero, o a incineradora o a central de generación eléctrica.
- La revisión crítica de estudios de Análisis de Ciclo de Vida encargada por la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea [30] sobre técnicas de recuperación de aceites usados mostró que la opción de valorización energética en cementera era la única que se mantenía como la más positiva respecto al calentamiento global, incluso comparándola con la regeneración de los aceites, por el consumo energético que conlleva ésta.

Figura 6.- Reducción de las emisiones globales con la valorización.



[1] “Informe estratégico sobre el vertido de residuos en España y Portugal”. ISR.2004

[2] “Informe de coyuntura del MIMAM 2003. Eliminación y tratamiento de residuos urbanos.”

[3] “Estadística de Residuos 2002”. INE.

[4] “Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de Fabricación de Cemento”. Ministerio de Medio Ambiente.

[5] “Empleo de Residuos Industriales como Combustibles Alternativos en la Industria del Cemento”. Publicación del Programa Energie de la Dirección General de Energía y Transporte. Comisión Europea.

[6] Publicación ISR “ La contribución de las cementeras a la gestión de residuos en Europa”.

la industria cementera y el medio ambiente

- [7] "Environmental data of the german cement industrie 2001" Verein Deustcher Zementwerke E.V.
- [8] "First evaluation of pcdd/fs releases to the atmosphere from the manufacture of cement in Spain" Fabrellas, B.et al. Organohalogen Compd. 56, 139-142. (2002).
- [9] "PCDD/F Emissions from German Cement Clínter kilns". M. Schneider. Organohalogen Compounds, Volume 27, 1996
- [10] "Standardized Toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases". United Nations Environmental Program. 2003.
- [11] "Polychlorinated dibenzo-p-dioxin/polychlorinated dibenzofuran releases to the atmosphere from the use of secondary fuels during clínter formation". Abad et al. Environmental Science and Technology 2004, 38. También en Cemento Hormigón 2004.
- [12] "Global assesment of pcdd emissions from the spanish cement sector: effect of conventional/alternative fuels. Organohalogen compounds". Fabrellas et al. Volumen 66 (2004).
- [13] "La experiencia de las empresas francesas sobre la utilización de los combustibles de sustitución". A. Capmas. Revista Cemento Hormigón. Nº 861.
- [14] "Emissions testing of A.G. Cement Company. Waste derived fuel facility". EPA, 1995
- [15] "Emisiones al aire de la combustión de llantas usadas". USEPA 1997.
- [16] "Co-utilisation of coal and other fuels in cement kilns". Clean Coal Center, UK.2003.
- [17] "Formation and release of POPs in the cement industry" SINTEF. 31 marzo 2004.
- [18] "Sources of dioxins and furans in Australia- Air Emissions- Revised Edition" Environment Australia, Chemicals and environment branch. Mayo 2002
- [19] "Empleo de combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Efecto en las características y propiedades de los clínteres y cementos". Puertas et al, Revista de Materiales de Construcción. 54, 2004.
- [20] "Lixiviación de metales y otros compuestos en productos fabricados con cemento." Revista Cemento Hormigón. 2004.
- [21] Real Decreto 653/2003 de 30 de mayo sobre incineración de residuos. BOE 14 de junio de 2003.
- [22] Directiva 2000/76/CE sobre incineración de residuos. DOCE 28/12/2000.
- [23] "La Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación". Revista Cemento Hormigón. Nº 838.
- [24] "Aiming to create a sustainable cement industry". Kazusuke Imamura. Japan for Sustainability. Business Leaders on the Environment, oct. 2002.
- [25] "Anuario 2003", Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- [26] "Eficiencia energética y energías renovables". IDAE nº4 2002.
- [27] "Environmental relevance of the use of secondary constituents in cement production", ZKG internacional 1/1997. "CO₂ reduction in the cement industry". V. Hoeing, M. Schneider. Cement Industry Research Institute Congress, 2002.
- [28] Utilization of plastic wastes from sales packaging in the cement industry. Ecological analysis by the LCA principle. Fraunhofer Institute of foods technology and packaging. 1997.
- [29] "Estudio comparativo del efecto asociado al tratamiento de harinas cárnicas", Institut Cerdá. Revista Cemento Hormigón. Junio 2002.
- [30] "Critical Review of existing studies and Life Cicle Analysis on the regeneration and incineration of waste oils", European Comission. DG Environment. Diciembre 2001.