



Club Español de los Residuos

Cuadernos del CER

Nº 3

**“Contribución de la industria del
cemento a la gestión de residuos en
Europa”**

Septiembre, 2001

Agradecimientos

Agradecemos al Grupo HISALBA el apoyo prestado al poner a nuestra disposición toda la información requerida, así como por los contactos internacionales, lo cual ha facilitado enormemente las tareas en la elaboración del presente documento.



ÍNDICE

0. SÍNTESIS.....	1
1. OBJETO DEL INFORME	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. RECICLADO MATERIAL DE RESIDUOS EN CEMENTERAS	9
3.1. Materiales secundarios en la formulación del crudo	9
3.2. Materiales secundarios en la adición para la fabricación de cemento	10
4. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS EN EL PROCESO DE CEMENTO. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	12
4.1. Condiciones termoquímicas de los hornos de clínker.....	12
4.1.1. Limitaciones al uso de los combustibles de sustitución	18
4.2. Residuos utilizados como combustible	19
4.3. Mercado de residuos con destino a cementeras	37
5. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	43
6. PLATAFORMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS COMO COMBUSTIBLES	51
6.1. Plantas de preparación de Combustible Derivado de Residuos (CDR).....	57
6.1.1. El proceso de fabricación.	58
6.1.2. Balance de masas y energía.	64
6.2. Relación de plataformas de acondicionamiento de residuos como combustibles.	66
7. SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA.....	68
7.1. Cementeras en Europa.....	68
7.2. Cementeras con autorización para gestionar residuos.	70
7.3. Residuos gestionados en las cementeras europeas.	71
7.4. Situación particular en España.....	73
8. TENDENCIAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN CEMENTERAS.	78
8.1. Otros residuos valorizables en cementeras.	78
8.2. Posibilidades del sector del cemento para valorizar residuos.	79
8.2.1. Posibilidades de valorización en España.....	85
9. ASPECTOS LEGAL, ADMINISTRATIVO Y COMERCIAL.....	92
9.1. Marco legal y administrativo	92
9.2. Autorización de Gestor de Residuos	94

ANEXOS	102
ANEXO I: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.....	103
I.1. Dosificación y molienda de crudo	10
I.2. Cocción de materiales.....	105
I.3. Molienda de cemento.....	111
Anexo II: NORMATIVA PARA LA OBTENCIÓN DEL PERMISO DE GESTOR DE RESIDUOS EN LOS ESTADOS MIEMBRO DE LA UNIÓN EUROPEA.....	114
Anexo III: AUTORIDADES COMPETENTES EN MATERIA DE CONCESIÓN DE PERMISOS EN LOS ESTADOS MIEMBRO DE LA UNIÓN EUROPEA.....	116
Anexo IV: RELACIÓN DE PLANTAS DE FABRICACIÓN DE CLÍNKER EN LA UNIÓN EUROPEA Y SUIZA.....	117
Anexo V: METODOLOGÍA DEL POTENCIAL DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA Y MATERIAL DEL RESIDUO	129
REFERENCIAS.....	130

SÍNTESIS

En el presente informe se describe someramente el proceso de fabricación del cemento, con sus tres etapas: preparación y molienda de las materias primas, cocción para obtener el clínker y molienda y adición al clínker para obtener el cemento.

El proceso necesita que en la etapa de cocción se alcancen altas temperaturas, superiores a 1.400 °C, con temperaturas de llama de hasta 2.000 °C, por lo que es un proceso con un alto consumo energético.

En estas condiciones, se pueden utilizar determinados residuos como combustibles alternativos con algunas ventajas medioambientales como:

- ❑ Interacción de los gases con la materia prima de forma que la parte no combustible queda retenida en el proceso e incorporada al clínker de manera prácticamente irreversible.
- ❑ No se generan residuos que haya que tratar posteriormente ni las emisiones a la atmósfera se ven afectadas negativamente.
- ❑ Se reduce el consumo de combustible fósiles no renovables.
- ❑ Disminuyen las emisiones globales a la atmósfera respecto a si esos residuos se tuvieran que incinerar en instalaciones específicas o eliminar en vertedero y utilizar combustibles fósiles en la cementera.

Los residuos que se pueden utilizar en las plantas de cemento pueden ser muy variados y sus características dependerán de cual vaya a ser su utilización:

- ❑ Como materia prima en la formulación del crudo.
- ❑ Como combustible en la fase de cocción (sinterización).
- ❑ Como adición al clínker en la fabricación de cemento.

En la formulación del crudo se utilizan materiales calizos, arenas y cenizas de pirita principalmente, aunque en menor medida también lodos de papelería, arenas de fundición, residuos de demolición, etc.

Como adiciones en la formulación del cemento se están utilizando escorias de horno alto, puzolanas, cenizas volantes de centrales térmicas, calizas, humo de sílice, esquistos, sulfatos de calcio, etc. Las cantidades a utilizar tienen unas limitaciones reguladas por una norma europea, la EN 197-1/2000.

Ahora bien, el informe se centra más en la utilización de los residuos como combustibles alternativos y para ver sus posibilidades en primer lugar se analizan las condiciones termoquímicas de los hornos, en los que tradicionalmente se han venido utilizando combustibles fósiles.

De los tres sistemas de proceso, vía seca, vía húmeda y vía semiseca o semihúmeda (según el sistema de alimentación), el de vía húmeda es el de mayor consumo de energía y el de vía seca el de menor.

Las condiciones de los hornos permiten tiempos de residencia de los gases, a temperaturas superiores a 1.200 °C, de más de 3 segundos y además el ambiente dentro de ellos es claramente alcalino, con lo que se produce un efecto de depuración que les permiten la utilización de esos combustibles alternativos. Entre las ventajas ambientales de estos hornos cabe destacar:

- ❑ Trabajan en una atmósfera oxidante y a muy altas temperaturas (superiores a 1.450 °C para materiales y a 2.000 °C para la llama, con un exceso de oxígeno de 2 – 3 %).
- ❑ Tienen una alta inercia térmica (evita los riesgos de bajadas bruscas de temperaturas durante periodos de tiempo cortos).
- ❑ Ambiente alcalino (lo que permite neutralizar ciertos contaminantes).
- ❑ Un largo periodo de contacto entre los gases de combustión y los componentes alcalinos (mejora la eficiencia de depuración de contaminantes).
- ❑ Retención de partículas y cenizas en el clínker (con lo que no se generan residuos secundarios).

Aunque también hay que tener en cuenta que alguna de esas características implica determinadas limitaciones técnicas, como la cantidad de cloro a introducir en los sistemas de vía seca, para evitar que las pegaduras o costras que se forman a causa de los cloruros acaben taponando la alimentación del horno.

Los metales pesados, en cambio, quedan retenidos mayoritariamente en el clínker y, posteriormente, en el polvo que se capta en los electrofiltros o filtros de mangas, que se vuelve a reintroducir al proceso.

Con esas condiciones del proceso los residuos que se suelen utilizar como sustitutos del combustible tradicional suelen ser:

- ❑ Aceites usados y residuos aceitosos
- ❑ Disolventes
- ❑ Líquidos y pastosos orgánicos combustibles
- ❑ Neumáticos usados
- ❑ Residuos de plástico
- ❑ Residuos de papel
- ❑ Residuos agrícolas
- ❑ Lodos de depuración
- ❑ Líquidos de bajo poder calorífico
- ❑ Harinas de animales
- ❑ Otros

Para que un residuo sea considerado apto para su utilización como combustible alternativo ha de reunir las características propias de un buen combustible, esto es:

- ❑ suficiente poder calorífico,

- ❑ ausencia de interferencias en las características del clínker,
- ❑ ausencia de emisiones contaminantes,
- ❑ coste razonable.

Con estas características los combustibles alternativos que más se están utilizando en la Unión Europea son los líquidos orgánicos de alto poder calorífico, los aceites usados, los neumáticos, los plásticos (procedentes de equipos eléctricos y electrónicos, de residuos municipales y de fragmentación de vehículos) y en menor medida, las harinas de carne y hueso, los lodos de depuradora y los combustibles derivados de residuos (CDR).

De estos combustibles alternativos se dan en el informe sus características principales para que se puedan comparar con las del carbón, coque de petróleo o fueloil que tradicionalmente se ha utilizado.

De estos combustibles alternativos se producen cantidades que permiten mantener un nivel de sustitución sin problemas de suministro. Así se estima que se producen 3,75 Mt/a de residuos peligrosos incinerables, 2,5 Mt/a tanto de neumáticos como de aceites usados y 3 Mt/a de harinas de carne y hueso.

En el informe se incluyen los límites que fija la Directiva 2000/76/CE relativa a la *incineración de residuos* cuando se utilizan combustibles alternativos, directiva que deberá estar transpuesta a la reglamentación nacional antes del 28 de diciembre de 2002, aplicándose esos límites a partir de esa fecha para nuevas instalaciones y a partir del 28 de diciembre de 2005 para instalaciones existentes. También se presenta el comportamiento de los hornos frente a los principales contaminantes que se pueden llegar a introducir al proceso.

Así, los halógenos y el azufre, se neutralizan debido al ambiente alcalino, sin embargo se deben controlar las cantidades de dichos elementos que se adicionan para evitar problemas de atascos y de operación en el proceso.

Los metales quedan retenidos en el clínker y el polvo, que a su vez se retiene en los sistemas de desempolvado y se reincorporan al proceso. Se dan valores de los estudios realizados por M. Von Seebach y por Roth en que se alcanzan niveles de retención superiores al 99 %.

El comportamiento en cuanto a las dioxinas y furanos no se ve afectado por la utilización de combustibles alternativos, también respaldado por pruebas realizadas en Alemania. Incluso, a la vista de los datos que se aportan, de análisis de emisiones cuando se estaban sustituyendo parte del coque de petróleo por líquidos orgánicos procedentes de residuos, se comprueba que los valores de emisión de dioxinas y furanos están muy por debajo de los límites establecidos. Igual ocurre para el resto de parámetros.

Los valores altos de NO_x y de CO₂ son consecuencia de las altas temperaturas y de la descarbonatación propia del proceso.

También se aportan datos de pruebas realizadas comparando las emisiones y el contenido de metales en el clínker usando y sin usar neumáticos, plásticos (los tres tipos) y harinas de carne y hueso.

Con objeto de evitar que las cementeras se tengan que dedicar a la labor de búsqueda de residuos y acondicionamiento de los mismos para su utilización, el informe presenta también la posibilidad de utilizar plataformas de preparación de combustible alternativo capaces de adecuar los residuos a las características requeridas para cada instalación de valorización. Con ello también se consiguen importantes reducciones en las inversiones a realizar en las plantas de cemento.

Una variante de estos centros de preparación de combustibles son las plantas de preparación de combustibles derivados de residuos (CDR), por lo que se explica como se obtienen los CDR y las plantas principales que hay dedicadas a producir este combustible alternativo.

Para poder valorar los aspectos económicos, se plantean las inversiones a realizar por una planta que produzca 990.000 t/a de clínker (del orden de 280 millones de pesetas), los ahorros que se producen al sustituir un 10 % de coque de petróleo por un combustible líquido por el que además recibirá 4 ptas./kg., que ascienden a 80 millones de pesetas por ahorro de combustible y 90 millones de pesetas por gestión de residuos, aunque esta última cifra puede variar en función del poder calorífico del combustible alternativo.

En la Unión Europea hay 231 plantas de fabricación de clínker, en todos los países de la Unión, de las que 108 utilizan combustibles alternativos en su proceso productivo para rebajar su factura energética.

Aunque la media de sustitución en la UE es del 13 %, países como Alemania, Austria, Bélgica, Francia y Suecia, sobrepasan el coeficiente del 20 %, habiendo fábricas que incluso se acercan al 50 % de sustitución, sumando todos los combustibles alternativos que utilizan, como la planta de Obourg, que pasó de un coeficiente en 1987 del 4 % a un 44,5 % en 1999, haciendo que Bélgica subiera desde el 1 % en 1987 hasta el 32 % en 2000. Que es una práctica en alza lo muestra el hecho de que en 1994 se utilizaron en la UE, 674.000 t/a y en 1997 ya se alcanzaron 2.505.000 t/a.

En España hay 36 fábricas de clínker, de las que 12 tienen algún tipo de autorización para utilizar combustibles alternativos, más otras tres plantas que están utilizando harinas de carne y hueso (cinco en total). Entre esas fábricas en el año 2000 utilizaron más de 39.000 toneladas de combustibles, lo que representa un 1,2 % de sustitución térmica.

También se realizan proyecciones como puede evolucionar el consumo de combustibles, tradicionales y de sustitución, en los próximos años, según se alcancen coeficientes de sustitución del 20 ó del 30 %, que serían de 5,3 y casi 8,5 Mt/a, respectivamente. Para el caso español la proyección se hace para unos coeficientes del 10, 20 y 30 % de sustitución, que supondrían 0,33, 0,67 y 1,03 Mt/a, respectivamente.

Por último se repasan los aspectos administrativos y los trámites necesarios para conseguir una autorización para utilizar combustibles alternativos.

En los anexos, además de la descripción del proceso, también se incluye una relación de las plantas con hornos de clínker en la Unión Europea.

1. OBJETO DEL INFORME

El presente informe tiene por objeto estudiar la participación de la industria del cemento en la gestión de residuos en la Unión Europea. En él se presentan las características técnicas que presentan los hornos de clínker y demás instalaciones del proceso de fabricación de cemento, de cara a su utilización para valorizar unas determinadas corrientes de residuos.

También se contemplan aspectos como el administrativo y el comercial. El administrativo desde el enfoque de los requisitos necesarios para obtener la autorización para realizar esa nueva actividad de gestión residuos. Y el comercial, desde la óptica de los residuos que se generan en la Unión Europea (UE), para comprobar si puede haber un mercado potencial suficiente y estable para la valorización de éstos en la industria cementera, así como los aspectos económicos de este mercado.

Igualmente se incluyen en el informe las plantas cementeras existentes en la Unión Europea, cuantas tienen algún tipo de autorización para valorizar residuos y cuales son esos residuos cuya gestión se realiza en cementeras.

Se particulariza la situación española en estos aspectos en comparación con el resto de la Unión Europea.

Por último, se analizan las tendencias en la gestión de residuos en este tipo de instalaciones y las posibilidades que tienen para valorizar los residuos generados en Europa.

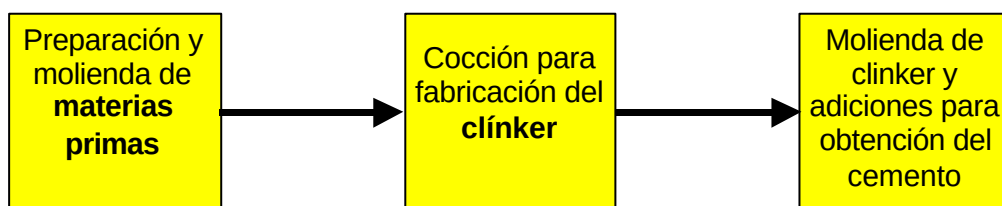
2. INTRODUCCIÓN

El cemento es un producto básico en la construcción, que se obtiene a base de procesar determinados minerales, que se extraen de las canteras, se preparan, se muelen y se introducen a unos hornos donde se producen las reacciones químicas necesarias para su transformación en un producto intermedio denominado clínker. El clínker se mezcla y muele finamente con otros productos, como yeso y otras adiciones para obtener finalmente el cemento.

En el Anexo I se encuentra con detalle el proceso de fabricación del cemento y en la figura 2.1, un diagrama simple con las tres etapas básicas de dicho proceso:

- a) Obtención, preparación y molienda de las materias primas (caliza, arcilla, marga y pizarras, principalmente), que son las que aportan los compuestos minerales necesarios para el proceso: carbonato cálcico, óxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro. A la mezcla pulverulenta de esos minerales se le denomina **crudo o harina**.
- b) Sinterización del crudo en hornos rotatorios hasta alcanzar prácticamente su fusión, con unas temperaturas de los materiales cercanas a los 1.450 °C (que para la llama suben a unos 2.000 °C). Posteriormente se enfrían bruscamente dichos materiales para obtener un producto intermedio llamado **clínker**, que es una combinación de silicatos y ferroaluminatos de calcio.
- c) Molienda del clínker obtenido con otros componentes: reguladores de fraguado y adiciones, que darán lugar a los distintos tipos de **cemento**.

Figura 2.1.- Diagrama simple de bloques del proceso



El cemento tiene unas características como aglomerante hidráulico que hacen que se haya convertido en un elemento indispensable para la construcción y las obras civiles, especialmente en forma de productos derivados de él, como el hormigón, que fragua y se endurece cuando se amasa con agua y áridos.

Las condiciones que deben tener los hornos de clínker para que se produzcan las reacciones de transformación, como altas temperaturas (hasta 2.000 °C en la llama), largos periodos de residencia en una atmósfera rica en oxígeno y un ambiente alcalino debido a las materias primas, hacen que en este tipo de instalaciones se puedan emplear determinados residuos como combustibles alternativos a los fósiles utilizados tradicionalmente, con algunas ventajas medioambientales como:

- ❑ Interacción de los gases con la materia prima de forma que la parte no combustible queda retenida en el proceso e incorporada al clínker de manera prácticamente irreversible.
- ❑ No se generan residuos que haya que tratar posteriormente ni las emisiones a la atmósfera se ven afectadas negativamente.
- ❑ Se reduce el consumo de combustible fósiles no renovables.
- ❑ Disminuyen las emisiones globales a la atmósfera respecto a si esos residuos se tuvieran que incinerar en instalaciones específicas y utilizar combustibles fósiles en la cementera.

Estas ventajas no implican que no haya que llevar un adecuado control en la fábrica, tanto de los gases que salen por la chimenea como de las condiciones de operación de la misma y de la composición de los residuos que se admiten para su valorización.

En Europa hay alrededor de 230 fábricas que producen clínker, y de ellas unas 100 plantas están utilizando algún tipo de residuo para su valorización en sus instalaciones, obteniendo aproximadamente un 13 % de coeficiente de sustitución de los combustibles tradicionales por otros alternativos procedentes de residuos.

3. RECICLADO MATERIAL DE RESIDUOS EN CEMENTERAS

A la vista de las características del proceso de fabricación del cemento (ver Anexo I), existen una serie de residuos y subproductos que podrían ser utilizados como materiales secundarios en cada una de las fases principales de dicho proceso:

- ❑ Como materia prima en la formulación del crudo.
- ❑ Como combustible en la fase de cocción (sinterización).
- ❑ Como adición al clínker en la fabricación de cemento.

Cuando se emplean como materias primas, tanto en la formulación del crudo como en el cemento, se trata claramente de reciclaje de materiales, mientras que en el caso de su utilización como sustituto de combustible tradicional, es más bien una valorización energética, aunque haya algunos componentes de esos productos que puedan aportar sustitutos de materias primas (caso del hierro de los neumáticos, por ejemplo).

A continuación se presentarán los residuos susceptibles de ser reciclados materialmente, es decir, aquellos que se emplean como materias primas y para la formulación del cemento.

3.1. Materiales secundarios en la formulación del crudo

Las materias primas comúnmente utilizadas para el aporte de los componentes necesarios para fabricar el clínker son caliza, arcilla, pizarra y marga o esquisto.

Para poder utilizar materiales secundarios procedentes de residuos o subproductos como materias primas, será necesario que tenga en su composición alguno de los elementos necesarios para la fabricación de clínker, es decir, que debe estar compuesto básicamente por alguno de los óxidos metálicos indicados en la tabla I.1. Además, no debe incorporar sustancias que perjudiquen al proceso o al propio cemento.

Históricamente se han venido utilizando como correctores de la composición del crudo, materiales como:

- ❑ Materiales calizos de alta pureza, como corrector de óxido de calcio.
- ❑ Arena, como corrector de óxido de silicio.
- ❑ Cenizas de pirita, como corrector de óxido de hierro.

Las cenizas de pirita son un subproducto de la tostación de pirita, en el proceso de obtención de hierro.

También son susceptibles de sustituir o complementar a los anteriores, los siguientes residuos o subproductos:

- ❑ Lodos de papelera o materiales calizos, de alto contenido en carbonato cálcico, provenientes del tratamiento de pasta de papel.

- ❑ Arenas de fundición, con alto contenido en óxido de silicio
- ❑ Residuos de demolición.
- ❑ Cualquier material formado mayoritariamente por los óxidos de la tabla I.1., con las limitaciones expresadas anteriormente.

3.2. Materiales secundarios en la adición para la fabricación de cemento

Los materiales que pueden ser empleados como adición al clínker en la molienda de cemento están especificados en la norma europea EN 197-1/2000 (o la equivalente a la versión de 1992, la norma UNE 80 301/95), en la que se describen los componentes del cemento portland ordinario y sus especificaciones (ver tabla 3.1).

Para poder emplear un material secundario como adición, es necesario que tenga una cierta actividad, es decir, que reaccione con las moléculas presentes en el clínker para formar complejos que colaboren al endurecimiento del cemento, o que aporten características que mejoren las propiedades del mismo, tales como trabajabilidad, retención de agua, resistencia a sulfatos y al hielo, altas resistencias, etc.

Entre los materiales especificados en la norma como componentes del cemento, se pueden citar los siguientes:

- ❑ Escoria granulada de horno alto.
- ❑ Puzolana natural o industrial.
- ❑ Ceniza volante de central térmica.
- ❑ Caliza.
- ❑ Humo de sílice.
- ❑ Esquistos calcinados.
- ❑ Filler y materiales de relleno (masillas).
- ❑ Sulfato de calcio (regulador de fraguado).
- ❑ Aditivos.

La escoria de horno alto y las cenizas volantes son las adiciones más empleadas en Europa, incluyendo a España, donde entre 1970 y 1995 se han empleado cerca de 15 millones de toneladas de cenizas volantes de centrales térmicas de carbón y más de 10 millones de toneladas de escorias de horno alto.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) recoge en la norma EN 197-1/2000¹, anteriormente comentada, la relación de componentes que se ha comprobado contribuyen a mejorar las prestaciones y características del cemento y que se muestran en la Tabla 3.1 que se incluye a continuación:

¹ Norma EN 197-1/2000 . Parte 1: *Composición, especificaciones y criterios de conformidad para cementos comunes,*

Tabla 3.1.- Relación de materiales usados como aditivos en la fabricación de cemento.

Material	Requisitos como aditivo	Observaciones
Sulfato de Calcio		Se añade como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), en forma hemihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), anhidra (CaSO_4) o como mezcla de ellas. A pesar de encontrarse en forma natural, también es subproducto de determinados procesos industriales de desulfuración de gases.
Humo de Sílice	Pérdida de ignición < 4 % Sup. Específica $\geq 15 \text{ m}^2/\text{g}$	Partículas esféricas de la reducción de cuarzo con carbón. Contenido en $\text{SiO}_2 > 85\%$ en peso. Se añade en forma de bolitas, pellets o compactada para mejorar las propiedades puzolánicas del cemento.
Caliza	$\text{CaCO}_3 > 75\%$ en peso Arcilla < 1.20 g/100g Sup. Esp. $\approx 5000 \text{ cm}^2/\text{g}$	
Escorias de Alto Horno	$(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2) > 1$	Residuo de la fundición de hierro mineral en alto horno. Se compone de al menos 2/3 en peso de ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2$), más Al_2O_3 y otros componentes minoritarios. Se añade al clínker para mejorar las propiedades hidráulicas.
Esquistos Calcinados	Indice Compresión > 25 Mpa Indice Expansión < 10mm.	Contienen principalmente Ca_2SiO_4 y CaAl_2O_4 , presentes en el cemento, pequeñas cantidades de CaO y CaSO_4 , así como una mayor proporción de óxidos puzolánicos (SiO_2). Se añade al cemento en forma molida para mejorar sus propiedades hidráulicas y puzolánicas.
Materiales Puzolánicos	Contenido Si > 25% en peso	De origen natural o industrial, las puzolanas se componen esencialmente de SiO_2 y Al_2O_3 y una pequeña proporción de óxidos férricos. Se añaden al cemento en forma de fino polvo que al contacto con el agua forma silicatos y aluminatos cálcicos. Estos compuestos son los responsables del proceso de endurecimiento.
Cenizas Volantes de Central Térmica	<u>Silíceas</u> : $\text{CaO} > 10\%$, $\text{Ca} < 1\%$, $\text{SiO}_2 > 25\%$ en peso. <u>Calcáreas</u> : $\text{CaO} > 10\%$	Fracción sólida de la depuración de gases en las plantas de combustión de carbón. Se añade al cemento para mejorar sus propiedades hidráulicas y puzolánicas. Pueden ser de naturaleza silícea o calcárea: ▪ <u>Silícea</u>: polvo fino con propiedades puzolánicas. Contiene SiO_2, Al_2O_3 y trazas de Fe_2O_3. ▪ <u>Calcárea</u>: polvo fino con propiedades hidráulicas y/o puzolánicas. Contiene CaO, SiO_2, Al_2O_3 y trazas de Fe_2O_3 y otros compuestos.

4. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS EN EL PROCESO DE CEMENTO. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

4.1. Condiciones termoquímicas de los hornos de clínker

El proceso de fabricación de cemento es un proceso con un consumo intensivo de energía, debido fundamentalmente a las altas temperaturas que es necesario alcanzar para el correcto desarrollo del mismo. El consumo energético va a depender de las materias primas empleadas y sobre todo de la tecnología y del sistema de alimentación empleados, ya que los sistemas de alimentación por vía húmeda necesitarán evaporar el agua introducida con las materias primas. En estas circunstancias el consumo de combustibles en el horno de clínker se sitúa entre 700 y 1.300 kcal/kg. de clínker (3.000 – 5.500 MJ/t), o bien entre 100 y 185 kg. de carbón o de coque por tonelada de cemento.

Tradicionalmente esta energía se ha suministrado mediante distintos combustibles fósiles, como carbón, coque de petróleo, fueloil y gas natural. Más recientemente se han incorporado otros combustibles alternativos, alcanzando una distribución en el año 1995 en la industria cementera europea como la indicada en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. - Consumo de combustibles en la Industria Cementera Europea (1995)

COMBUSTIBLES	%
Carbón	36
Lignito	6
Coque de Petróleo	39
Fueloil	7
Gas Natural	2
Combustibles alternativos	10

Porcentajes que para el caso español varían notablemente, pues en 1999 fueron: carbones 9,4 %, coque de petróleo 86,6 %, fueloil 2,6 %, gas natural 0,1 % y **combustibles alternativos 1,2 %**.

El consumo de energía eléctrica se realiza principalmente en las operaciones de molienda, tanto de las materias primas antes de su cocción, como del clínker y las adiciones para obtener el cemento. Entre ambas operaciones suponen aproximadamente el 75 % de la electricidad consumida en la fábrica, el otro 25 % se emplea en el transporte de materiales, impulsión de gases y despolvado de los mismos (electrofiltros). El consumo total se sitúa aproximadamente entre 90 y 120 kWh/t de cemento, dependiendo de la tecnología utilizada y el tipo de cemento fabricado.

Por esta razón en la mayoría de las plantas se trabaja de manera que se optimicen las instalaciones (moliendo de noche, por ejemplo) en función de los costes de producción.

Según esto, los costes energéticos de combustible y energía eléctrica representan entre un 30 y un 40 % de los costes de fabricación, por lo que la reducción del

consumo de energía y la diversificación de las fuentes energéticas se convierte en un asunto de máxima importancia para la competitividad de las empresas cementeras.

Los esfuerzos para reducir el consumo de combustible se han centrado en dos líneas principalmente, la modernización de las instalaciones utilizando hornos de mayor tamaño y eficiencia y la modificación de la composición del cemento para incorporar en la molienda otros materiales distintos del clínker.

Aunque en los últimos 100 años se ha realizado un continuo progreso en la modernización de la industria cementera, mejorando la eficiencia energética de los hornos y desarrollando nuevos tipos (ver tabla 4.2.), incluso en las últimas dos décadas se ha reducido el consumo de energía para fabricar una tonelada de cemento aproximadamente en un 30 %, esta reducción se encuentra en una fase asintótica, es decir, que en el futuro ya no habrá apenas margen de maniobra para seguir reduciendo.

Por esta razón se ha buscado utilizar la flexibilidad de los hornos de esta industria para sustituir los combustibles tradicionales por otros procedentes de residuos o subproductos.

Tabla 4.2.- Evolución histórica de la eficiencia de los hornos de clínker

Tipo de Horno	Año	Eficiencia (Kcal / kg. clk.)	CO₂ combust. (Kg. / t clínker)
Hornos de flecha	1880	3.000	1.900
Primeros hornos rotativos	1900	2.500	1.583
Primeros hornos vía húmeda	1940	1.500	950
Hornos vía húmeda modernos	1955	1.300	823
Hornos largos vía seca	1970	1.050	665
Hornos con precalentamiento	1975	850	538
Hornos con precalcinador	1980	800	507
Precalcinador con 40 % combustible	1995	750	380
Precalcinador con 60 % combustible	2000	725	298

Dependiendo de la tecnología empleada, la combustión en el horno de clínker se realiza en una o dos zonas:

- ❑ En el mechero principal que todos los hornos tienen, situado en la parte más baja del horno rotatorio. En él la llama alcanza temperaturas entorno a los 2.000 °C y los gases de combustión se mantienen a más de 1.200 °C durante un tiempo superior a 5 segundos (ver tabla 4.3 y figuras 4.1 y 4.2), en atmósfera oxidante.
- ❑ En la zona en que se produce la descarbonatación de la caliza (calcinación), donde la combustión se realiza a unos 1.200 °C, manteniéndose durante unos 3 segundos a más de 850 °C.

La segunda zona de combustión varía según la tipología del horno utilizado en el proceso:

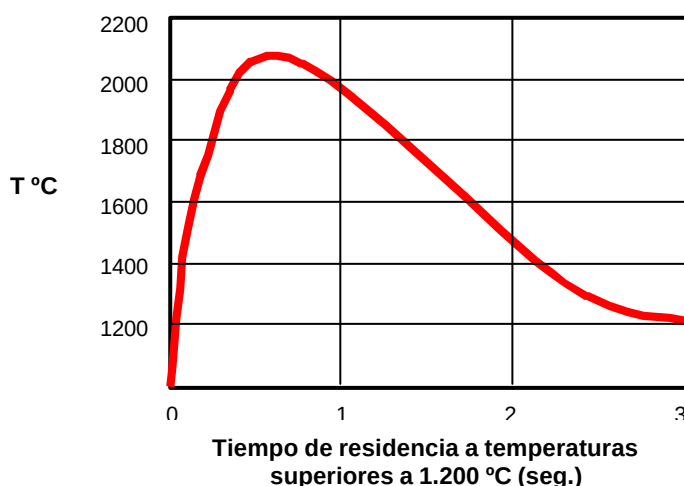
- ❑ Los más modernos disponen de una cámara de combustión (precalcinador), situada en la parte inferior de la torre de ciclones, en la que se utiliza como comburente el aire caliente proveniente del enfriador de clínker. En el caso de no disponer del aporte de este aire terciario, la combustión se realiza con el exceso de oxígeno del quemador principal del horno.
- ❑ En los hornos de vía seca sin precalcinador y los de vía semiseca y semihúmeda, puede realizarse esa segunda combustión en el primer tramo del horno rotatorio.
- ❑ En los hornos de vía húmeda o en los largos, se puede realizar una combustión con combustibles alternativos en una zona idónea de temperatura, mediante un sistema de alimentación llamado “*Mid Kiln*”, en el que un sistema de compuertas permite alimentar de combustible en cada vuelta de rotación del horno.

Tabla 4.3.- Condiciones de combustión en los diferentes sistemas

Sistema	Tiempo retención a >1.200 °C (seg.)	Temperatura llama (°C)
Húmedo	> 11	1.950 – 2.300
Seco	> 5,4	2.150
Semihúmedo/semiseco	> 6,7	1.930 – 2.000

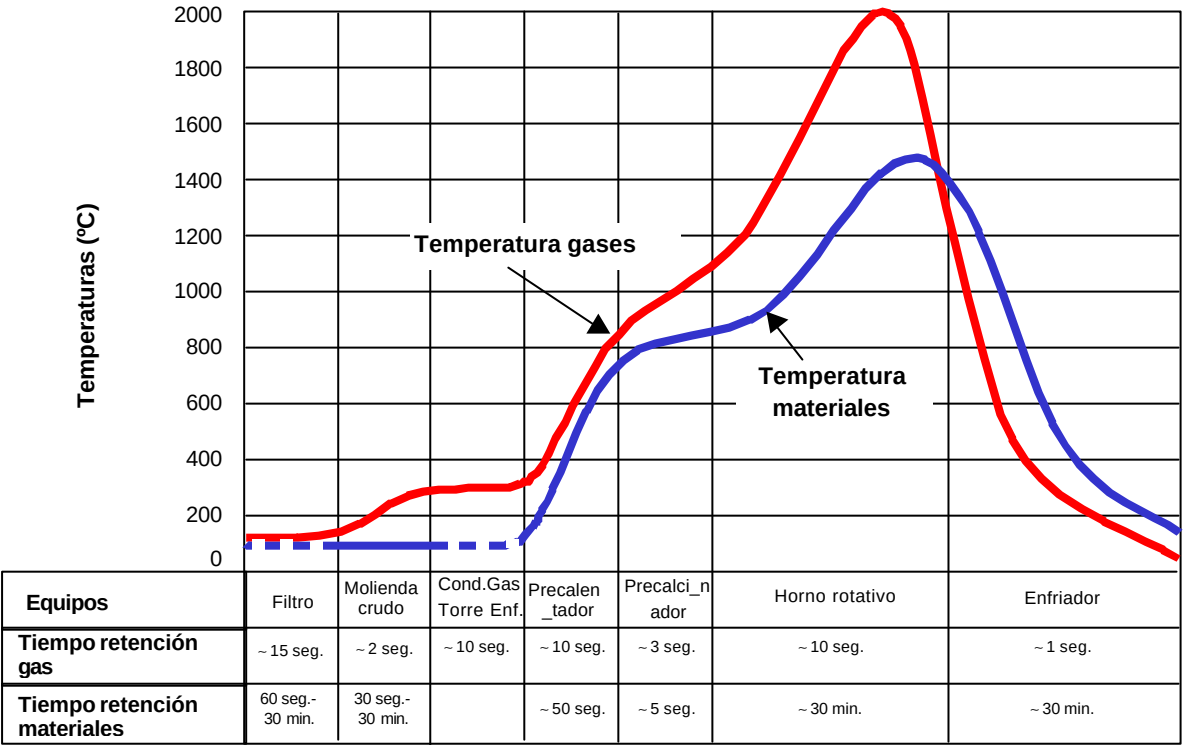
En el caso más desfavorable de los hornos cortos de vía seca, el tiempo de permanencia de los gases a una temperatura superior a 1.200 °C es de más de 3 segundos (ver figura 4.1.)

Figura 4.1.- Tiempo de residencia de los gases a más de 1.200 °C en un horno corto de vía seca



Las temperaturas de los gases y de los materiales en un proceso de fabricación de cemento dotado de precalentador de ciclones y precalcinador (operación compuesta) es aproximadamente el mostrado por la figura 4.2.

Figura 4.2.- Diagrama de Temperaturas de gases y material en un horno con precalentador de ciclones y precalcinador



Ante estas condiciones térmicas de los hornos de clínker y las demás características del proceso del cemento, en muchos países se optó por utilizar determinados residuos y subproductos como sustitutos de parte de los combustibles fósiles tradicionales, permitiendo reducir el coste de fabricación del cemento y realizar una labor de apoyo en la gestión de residuos.

Teniendo en cuenta que los parámetros necesarios para una adecuada destrucción de los residuos incinerables son:

- ❑ Preparación del residuo y dosificación adecuada.
- ❑ Temperatura de los gases de combustión superior a 850 °C (1.100 °C cuando son residuos halogenados).
- ❑ Tiempo de residencia de los gases a dicha temperatura durante más de 2 segundos.
- ❑ Concentración de oxígeno suficiente para la completa oxidación de los residuos incinerados.

- ❑ Una turbulencia tal que permita una mezcla eficaz con el aire de combustión.
- ❑ Unos niveles de depuración que permitan cumplir los límites impuestos de emisión de contaminantes a la atmósfera.

Los hornos de clinker cumplen a la perfección todos estos parámetros, incluso tienen una serie de características que les permiten mejorar sobradamente algunos de ellos:

- ❑ Trabajan en una atmósfera oxidante y a muy altas temperaturas (superiores a 1.450 °C para materiales y a 2.000 °C para la llama, con un exceso de oxígeno de 2 – 3 %).
- ❑ Tienen una alta inercia térmica (evita los riesgos de las bajas temperaturas durante periodos de tiempo cortos).
- ❑ Ambiente alcalino (lo que permite neutralizar ciertos contaminantes).
- ❑ Un largo periodo de contacto entre los gases de combustión y los componentes alcalinos (mejora la eficiencia de depuración de contaminantes).
- ❑ Retención de partículas y cenizas en el clinker (con lo que no se generan residuos secundarios).

En una combustión tradicional se obtienen CO₂ y H₂O como productos principales de las reacciones de oxidación de los hidrocarburos, sin embargo en el proceso cementero, debido a la alta temperatura del horno, se oxida el nitrógeno del aire empleado en la combustión, emitiendo niveles de NO_x del orden de 500 – 2.000 mg/Nm³, fundamentalmente son NO y NO₂ (> 90 % NO, < 10 % NO₂).

Adicionalmente, también se genera una mayor cantidad de CO₂, como consecuencia de la descarbonatación. La composición típica de los gases de salida del horno y los contaminantes presentes en ellos, es la mostrada en la tabla 4.4., donde se dan unos rangos amplios, no solamente por las diferencias técnicas de los hornos, sino también por las diferentes características de las materias primas.

Con las condiciones de combustión de los hornos de clinker y demás instalaciones del proceso cementero, los compuestos orgánicos contenidos en los residuos o subproductos destinados a sustituir parte de sus combustibles tradicionales, se oxidarán formando mayoritariamente CO₂ y H₂O y liberando energía que será aprovechada para el proceso de fabricación de clinker.

Otros compuestos que pueden estar presentes en los combustibles de sustitución (o en los tradicionales y en las materias primas) se comportarán de distinta manera según su naturaleza. Así el cloro y el azufre podrán formar gases ácidos como el cloruro de hidrógeno y el óxido de azufre. Estos gases, debido al ambiente alcalino, se neutralizarán y se absorberán por la materia prima. De esta forma las sales inorgánicas (cloruros alcalinos y sulfatos) que se forman se incorporan al clinker, ya que el 99 % de esos cloruros alcalinos se volatilizan a 1.400 °C y comienzan a condensar a 800 °C.

Se han realizado numerosos estudios sobre el comportamiento de los metales pesados dentro del horno (presentes en las materias primas o en los combustibles, tanto tradicionales como de sustitución), obteniéndose que éstos se combinan con la sílice

para formar principalmente silicatos complejos, que son incluidos en la estructura cristalina del clinker. Por ello, salvo para los metales relativamente volátiles como el mercurio, el talio y el cadmio, se alcanzan retenciones muy próximas al 100 %. Cuando la aplicación del cemento es para preparar hormigones o morteros, se produce un *efecto multibarrera* por los siguientes motivos:

- ❑ Incorporación química y estructural en los minerales del clinker.
- ❑ Fijación química y estructural en la hidratación de los productos.
- ❑ Encapsulación física en estructuras densas del hormigón o del mortero.

Según investigaciones realizadas por Holderbank, puestas de manifiesto por Josef H. Waltirsberg en la reciente Conferencia Internacional sobre Dioxinas y Residuos organizada por el Club Español de Residuos, si se observan las reglas de una buena operación, en los precalentadores y calcinadores de los hornos de clinker no se producen emisiones de dioxinas y furanos por encima del nivel de detección (aproximadamente 0,06 ng-ITEQ/m³). De igual manera, ni la formación ni la emisión de dioxinas y furanos están influenciadas por el tipo de combustible que se utilice (fósil o alternativo).

Tabla 4.4.- Composición típica y concentración de contaminantes en los gases del horno de clinker.

Composición de los gases	%
Nitrógeno (N ₂)	45 – 66
Dióxido de carbono (CO ₂)	11 – 29
Vapor de agua (H ₂ O)	10 – 39
Oxígeno (O ₂)	3 – 10
Otros (incluidos contaminantes)	< 1
Concentración contaminantes	mg/Nm ³
Polvo	20 – 200
NO _x	500 – 2.000
SO ₂	5 – 2.500
TOC	10 – 100
CO	200 – 2000
Fluoruros	< 5
Cloruros	< 25
PCDD/F (Dioxinas y furanos)	< 0,1 (ng/Nm ³)
Metales pesados	
Grupo I: Hg, Cd, Tl	< 0,1
Grupo II: As, Co, Ni, Se, Te	< 0,1
Grupo III: Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, Zn	< 0,3

4.1.1. Limitaciones al uso de los combustibles de sustitución

La Directiva 2000/76/CE *relativa a la incineración de residuos* fija unos límites para las emisiones a la atmósfera (ver tabla 5.1.) que habrá que respetar a partir del momento de aplicación, 28 de diciembre de 2002 para nuevas instalaciones y 28 de diciembre de 2005 para instalaciones existentes. Las emisiones de la cementera estarán muy poco influenciadas por el tipo de combustible utilizado, incluso la utilización de residuos de base acuosa puede reducir las emisiones de NO_x .

No obstante, deben realizarse balances de masa que permitan comprobar que la combustión de residuos o subproductos no afectan negativamente al comportamiento ambiental de la instalación, estableciéndose también los controles necesarios.

Pero por otro lado el propio proceso impone una serie de limitaciones a los contenidos de determinados elementos que pueden estar presentes en los combustibles para no perjudicar la calidad del producto ni la operatividad del proceso. Entre éstos se pueden destacar:

- ❑ **Óxido de magnesio.** Se combina hasta un 2 % en las fases principales del clínker. Si se supera ese 2 % aparece MgO (periclase), que reacciona con el agua para el fraguado, formando Mg(OH)_2 , reacción que es muy lenta, continuando incluso cuando las demás reacciones de endurecimiento ya han concluido. Como el Mg(OH)_2 ocupa más volumen que el MgO , se pueden provocar grietas, lo que se conoce como *la expansión por la magnesia*.
- ❑ **Azufre.** El exceso de azufre puede dar lugar a la formación de costras en el horno rotatorio, creando problemas de operación pero no de emisiones. El azufre del combustible se transforma en sulfatos que se retienen en el clínker.

En el cemento es necesaria una cierta cantidad de sulfato cálcico (yeso molido) para regular su tiempo de fraguado. Para evitar *la expansión por sulfatos*, la cantidad máxima de SO_3 que se admite en el cemento es entre el 3 % y el 4 %.

- ❑ **Cloro.** El cloro reacciona con los álcalis y forma cloruros que son transportados por los gases y precipitan en el intercambiador de calor, retornando con el material y vaporizando de nuevo en la zona de sinterización. Se forma así un circuito cerrado hasta que por pegaduras o formación de costras se detiene la explotación del horno, razón por la que debe limitarse el cloro total entrante en los hornos de vía seca a unos 200 mg de Cl por kg. de clínker. Esto se puede evitar mediante la desviación de una fracción de los gases del horno, utilizando una línea de *by-pass* para recoger el gas y enfriar los gases, con objeto de condensar las sales cloradas.

Como el cloro facilita la corrosión de las armaduras, los estándares europeos no admiten que el cemento tenga más del 0,1 % (1.000 ppm) de cloro.

- ❑ **Fósforo.** El contenido de P_2O_5 debe limitarse, ya que contenidos mayores del 0,5 % pueden provocar fuertes retrocesos en las características del cemento, particularmente en la resistencia inicial.
- ❑ **Metales.** La mayoría de los metales se fijan a los productos sólidos del proceso y su incorporación al cemento puede afectarle negativamente si se superan determinadas concentraciones.

Así, en el caso del plomo, una mayoría del mismo se retiene en el clínker, pero si el contenido de halógenos en el horno es alto, forma compuestos más volátiles (como el cloruro de plomo), reteniéndose en este caso la mayoría del plomo en el polvo.

Para el caso del Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, V y Zn se han medido porcentajes de retención en los sólidos del proceso de más del 99 % (muy próximos al 100 %). En cambio en el caso de metales más volátiles, como el Hg y el Tl, los porcentajes de retención son menores, lo que obligará a controlar su concentración en las materias primas y en los combustibles, especialmente en los de sustitución, para evitar su emisión a la atmósfera.

A la vista de estas limitaciones del proceso, se deberán controlar en la entrada total de los elementos potencialmente perjudiciales para el mismo, estableciendo los análisis necesarios, tanto en las materias primas como en los combustibles, que impidan sobrepasar los umbrales a partir de los cuales se pueden producir perjuicios al proceso o al medio ambiente.

4.2. Residuos utilizados como combustible

Existe una gran variedad de combustibles que pueden ser utilizados en el proceso de producción de cemento, aunque históricamente ha sido el carbón el más empleado para la alimentación de los hornos de clínker, en la actualidad se aprecia un aumento del consumo del coque de petróleo (ver apartado 9.2.) y de los combustibles alternativos o de sustitución, tanto líquidos como sólidos. A continuación se muestra un listado de sustancias que pueden ser utilizados como combustible alternativo:

LÍQUIDOS

Baja o media toxicidad

- Aceite usado
- Lodos aceitosos
- Residuos de refinería / fondos de destilación
- Subproductos de alquitrán
- Alquitrane ácidos

- Lodos ácidos
- Residuos de la fabricación de pinturas (disolventes, etc.) / lodos de pinturas
- Residuos de la industria química
- Residuos de hidrocarburos / hidrocarburos con lodos
- Lejías negras y aguas residuales industriales
- Parafinas

También se utilizan algunos otros residuos de alta toxicidad, pero más puntualmente y controladamente, como el caso de una cementera escandinava, con autorización para utilizar residuos contaminados con PCB's, o en la crisis de los *pollos belgas*, en que el gobierno belga recurrió a las cementeras para destruir las harinas y grasas procedentes de los animales contaminados con PCB's o dioxinas.

SÓLIDOS

De fácil molienda

- Rechazos de minas de carbón
- Lignitos de baja calidad
- Residuos de carbón
- Residuos de carbón vegetal
- Cenizas de alto contenido en carbono
- Grafitos
- Harinas cárnicas y de hueso

De mediana o difícil molienda

Gran tamaño

- Neumáticos
- Revestimiento de baterías
- Rechazos domésticos
- Pellets de CDR
- Residuos de automóvil
- Corteza
- Astillas de madera
- Piñas
- Residuos del aceite de palmera
- Caparazones de coco
- Aceitunas prensadas
- Turba
- Restos de calderas (aluminio)

Pequeño tamaño

- Cáscara de arroz
- Paja
- Serrín
- Tierras de batán (Fuller)
- Restos finos de CDR
- Polvo de grafito
- Goma y caucho molido
- Resinas de intercambio iónico

Resulta frecuente entre las instalaciones que valorizan residuos el hecho de agruparlos y clasificarlos según su tipología. Para ello se establecen una serie de familias que permiten en todo momento identificar de forma rápida la naturaleza de éstos, su poder calorífico y otros aspectos de interés. A pesar de no existir una clasificación estándar, la siguiente representa un ejemplo significativo:

1. Aceites usados y residuos aceitosos
2. Disolventes
3. Líquidos y pastosos orgánicos combustibles
4. Neumáticos usados
5. Residuos de plástico
6. Residuos de papel
7. Residuos agrícolas
8. Lodos de depuración
9. Líquidos de bajo poder calorífico
10. Harinas de animales
11. Otros

La utilización de estos u otros residuos como sustitutos de los combustibles tradicionalmente empleados en la industria cementera se encuentra sujeta a condiciones administrativas y de proceso. Sin olvidar que el objetivo primordial es la fabricación de un producto de calidad, a un coste razonable y sin poner en peligro la salud de las personas o la integridad del medio ambiente, la incorporación de residuos al proceso ha de ser consecuente con esta premisa. De ahí que, ni todo residuo puede ser valorizado, ni toda instalación puede valorizar residuos.

Para que un residuo sea considerado interesante para su utilización como combustible alternativo ha de tener una ventaja económica respecto a estos y además ha de reunir las características propias de un buen combustible, esto es:

- ☐ suficiente poder calorífico,
- ☐ ausencia de interferencias en las características del producto,
- ☐ ausencia de emisiones contaminantes,

En la mayoría de los casos, las dos últimas características no suelen suponer ningún obstáculo. En materia de costes, es evidente que el empleo de residuos como combustible supone una disminución del coste total de producción y que lejos de ser un impedimento para la empresa, representa un incentivo, especialmente cuando se cobra un precio por la gestión del residuo. Por otro, en cuanto a las emisiones contaminantes, múltiples estudios han demostrado que, en condiciones adecuadas, la utilización de residuos como combustible alternativo no genera incremento alguno en las emisiones a la atmósfera de metales pesados, contaminantes orgánicos, etc., con respecto al empleo de carbón, fueloil u otros combustibles tradicionales.

Basándose en esto, va a ser el propio poder calorífico del residuo y el hecho de que su naturaleza (física y/o química) afecte o no negativamente sobre la composición final del cemento, los factores que van a determinar si éste puede o no ser alimentado al

horno. De manera general, si los ensayos de caracterización revelan un buen poder calorífico (ver tabla 4.5.) y ausencia de sustancias contaminantes o presencia de éstas por debajo de determinados niveles (establecidos a criterio del propio productor), el residuo podrá ser incorporado al horno como combustible alternativo.

Cuando se lleva a cabo la caracterización del residuo, hay dos parámetros de especial importancia y que son considerados como limitantes a la hora de aceptarlo o no como combustible; por un lado el contenido en cloro y, por otro, la concentración de metales pesados.

Las condiciones de operación que se dan en el interior del horno favorecen la formación de sales alcalinas, en particular cloruros y sulfatos, que en determinadas cantidades pueden provocar atascos y obturaciones en los conductos del sistema, en concreto en la torre de ciclones. Es por ello que el contenido de cloro en el combustible (tradicional o alternativo), y en ocasiones el de azufre, se encuentran limitados, ya sea por la normativa de calidad del cemento o en base a los criterios propios del productor. Estos valores pueden variar, pero en general han de encontrarse por debajo del 4-5% para cloro (en ocasiones, especialmente en hornos de vía seca, rondan el 0.5-1%) y del 6-7% para azufre.

Los metales pesados, igual que el resto de elementos químicos, no son destruidos durante el proceso de fabricación. De ahí que si éstos se introducen en el horno (bien como parte de la materia prima, bien como parte del combustible), lo abandonan en la misma proporción, ya sea incorporados a la corriente gaseosa generada en su interior (especialmente talio y mercurio, los más volátiles) o, más comúnmente, al propio clínker. Por un lado la normativa que limita las concentraciones de metales pesados en los gases de combustión emitidos a la atmósfera (Véase *Tabla 5.1.*) y, por otro, las precauciones adoptadas por el propio fabricante con el fin de no mermar la calidad de su producto (se adoptan niveles máximos para evitar problemas posteriores de lixiviación), hacen que éste sea un parámetro vigilado y controlado estrechamente.

Resulta complicado establecer unas pautas que determinen la aptitud de un residuo para ser usado como combustible alternativo. Esto va a venir condicionado no sólo por la propia naturaleza del residuo, sino por las peculiaridades técnicas de cada instalación y proceso (tipo de sistema de alimentación del residuo, proceso de vía húmeda, semiseca o seca, etc.), así como por las exigencias marcadas por la normativa vigente en cada estado. A continuación, la tabla 4.6 muestra la relación de combustibles alternativos que pueden ser utilizados en plantas cementeras, junto con los criterios específicos marcados por cada estado de la Unión para la utilización de cada uno de ellos.

Análogamente, se utilizan gráficos como el de la figura 4.3, para determinar las cantidades de cada combustible alternativo a introducir, en función de su composición y la posible incidencia sobre las proporciones de materias primas.

Tabla 4.5. Poder Calorífico de los combustibles alternativos más utilizados (Kcal/Kg.).

Material	PCI (Kcal/Kg.)	
Poliétileno puro	11.000	PODER CALORÍFICO ALTO
Petróleo ligero	10.000	
Petróleo pesado	9.500	
Poliestireno puro	9.500	
Grasa animal	9.300	
Alquitrán (subproducto)	9.100	
Caucho puro	8.600	
Antracita	8.100	
Aceites usados y residuos de refinería	7.200 - 9.100	
Neumáticos usados	6.700 - 7.600	
Carbón bituminoso (pobre en cenizas)	6.900	
Plásticos mezclados	6.300	
Carbón bituminoso (rico en cenizas)	5.700	
Lodos y alquitranes ácidos (destil. Petróleo)	3.800 - 5.200	PODER CALORÍFICO MEDIO
Lignito	3.800 - 5.000	
Residuos de caldera (industria del aluminio)	4.800	
Residuos de aceite de palmera (10 % humedad)	4.500	
Harinas animales	4.400	
Residuo de olivas prensado	4.300	
Turba seca (10% humedad)	4.300	
Textiles	4.300	
Tierras Fuller o de batan (destilación de petróleo)	3.100 - 4.300	
Madera seca, corteza y serrín (10 % humedad)	3.800	
Corteza de arroz (10 % humedad)	3.800	PODER CALORÍFICO BAJO
Residuos de trituradora	3.600	
RDF de origen doméstico (10 % humedad)	3.600	
Papel y cartón (secado al aire)	3.600	
<i>Resofuel</i> (Combustible de residuos hidrocarburos)	2.600	
Lodos de depuración secos (10 % humedad)	2.400	
Rechazo doméstico (30 % humedad)	2.000	
Lodos de depuración secos (30 % humedad)	1.800	
Aceites de esquistos	1.000	

Figura 4.3.- Diagrama de mezclas complejas de cenizas de carbón y combustibles de sustitución

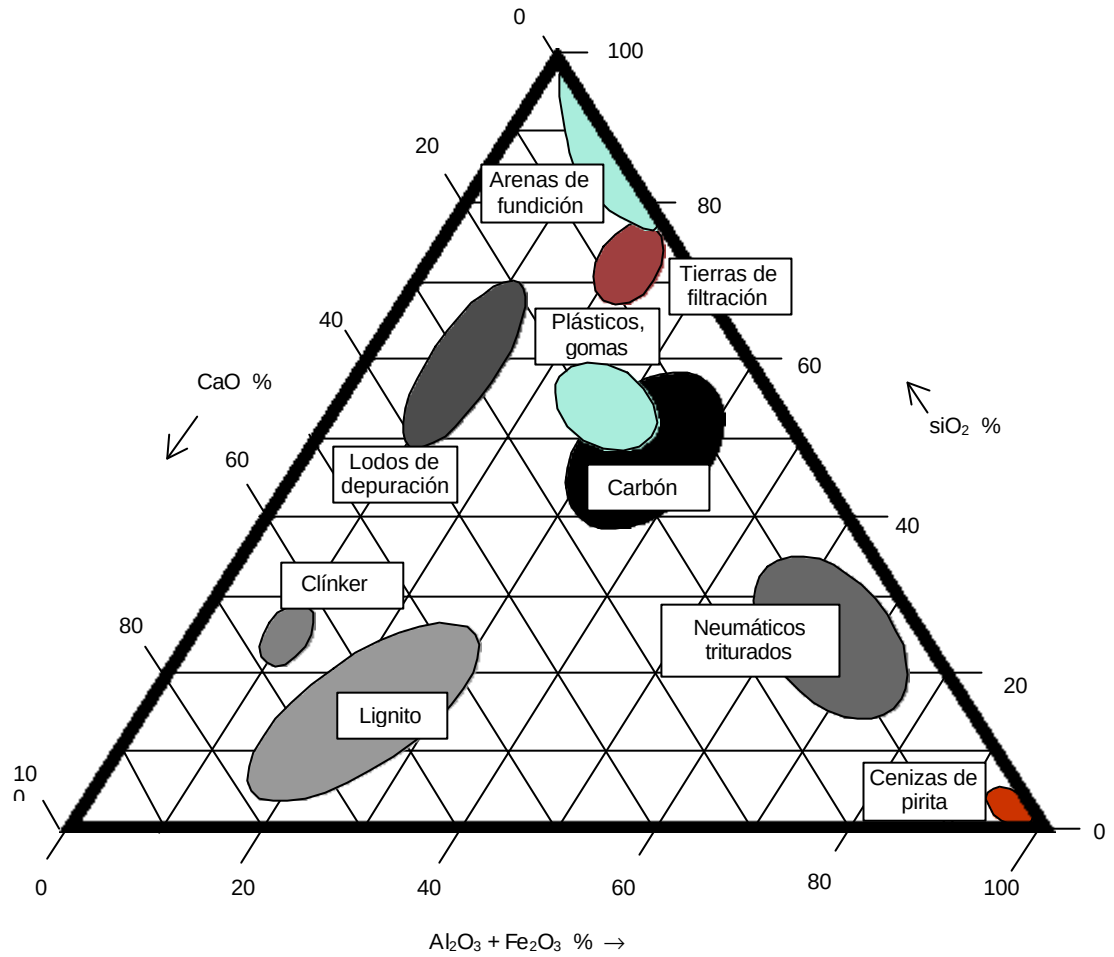


Tabla 4.6.- Relación de combustibles alternativos permitidos en plantas cementeras en los estados miembros de la Unión Europea.

% CA: fracción de combustible alternativo en porcentaje másico. MP: metales pesados

País	Materiales Sintéticos	Neumáticos	Aceite Usado	Disolventes	Madera Reciclada	Residuos Domésticos	Lodos de Depuración	Rechazo derivado de Combustibles	Otros
Alemania	< 70% CA	< 25% CA	< 40% CA	< 25% CA	< 60% CA	No	No	< 25% CA	Ver Comentarios
Austria	< 2% CI	Sí	Sí	Sí	-----	-----	-----	-----	Plásticos y Lodos de Papelera.
Bélgica (Valonia)	Max. 120 GJ/h	Max. 120 GJ/h	20 - 36 GJ/t < 40% CA	20 - 30 GJ/t < 40% CA	11 - 15 GJ/t Max. 120 GJ/h	7 - 15 GJ/t Max. 120 GJ/h	6 - 15 GJ/t Max. 120 GJ/h	10 - 20 GJ/t 120 GJ/h	Todos los sólidos y líquidos peligrosos y aguas de proceso (lodos con compuesto orgánicos).
	< 40% CA	< 40% CA	13 - 50 kt/año < 2 - 6 % CI	< 2 - 6 % CI	< 40% CA	< 40% CA	< 40% CA	< 40% CA	
						< 1% CI	< 1% CI	< 1% CI	
España	-----	-----	PCB < 50 ppm	-----	-----	-----	-----	-----	Ver Comentarios
Francia	Ver (1)	Ver (1)	Ver (2)	Ver (2)	Ver (1)	Ver (1)	Ver (1)	Ver (1)	Harinas animales
Grecia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Irlanda	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Ver Comentarios
Luxemburgo	No	18.000 t/a	No	No	No	No	No	No	Ver Comentarios
Países Bajos	y papel,	y otros materiales de caucho,	No	No	No	No	No	No	Ver Comentarios
	Max. 80.000 t/a	Max. 50.000 t/a							
Portugal	15.00 kJ/kg.	23.900 kJ/kg.	36.500 kJ/kg.	21.000 kJ/kg.	No	No	No	No	Cenizas y residuos de origen industrial como materia prima secundaria.
	32.000 t/a (a1)	10.000-15.000 t/a	5.700 t/a (a2)	17.000 t/a (a3)					
	< 2% CI	12% CA	< 2% CI	< 2% CI					
	MP<2.5% *		MP<2.5% *	MP<2.5% *					
Reino Unido	Sí	0.6 % CI	Sí	21 - 42 MJ/kg.	Sí	Sí	Sí	Sí	Papel y cartón.
				< 2% CI					
				< 1.800 ppm MP					
				0.2 - 0.5 % S					
Suecia	+ neumáticos: 12 t/h	6t/h	25.000 m³/a	6000 m³/a	----	----	----	----	Ver Comentarios
	< 50% CA	Max. 25% CA	Max. 0.5 % CI	Max. 25 % CA					
	< 0.5 % CI	< 0.5 % CI	Max. 2 ppm PCB	Max. 1% CI					
	< 0.04 PAH	< 0.04 PAH							

COMENTARIOS:

En el año 1998 se presentó dentro de un grupo de trabajo de IMPEL la presente tabla, que es el resultado de una encuesta realizada entre los estados miembros de la UE.

Austria: (1) No existen limitaciones legales; los combustibles alternativos permitidos se especifican en el permiso. (2) Límites: controles ELVs y BAT

Bélgica (Valonia):

1. Todos los sólidos peligrosos: 7 - 12 GJ/t, 44.000 - 180.000 t/a, < 40% CA, < 2 - 6% Cl; Todos los líquidos peligrosos: Max. 21 GJ/t, 22.000 - 70.000 t/a, < 40% CA, < 2 - 6% Cl; Aguas de proceso: 7 - 12 GJ/t, 20.000 t/a, < 40 % CA, < 6 % Cl.

2. Las concentraciones de metales pesados pueden fijarse para cada tipo de residuo a utilizar. En ocasiones, la composición puede variar debido a estudios o ensayos adicionales realizados con (ver valores con *) o sin la aprobación de las autoridades. Los valores más comunes son: Hg, 5 - 10 ppm; Cd, 40* - 100 ppm; Tl, 25 - 100 ppm; Cr, 600* - 2000 ppm; Cu, 900* - 2000 ppm; Co, 80* - 2000 ppm; Ni, 200* - 2000 ppm; Zn, 5000 ppm; Pb, 900* - 2000 ppm; V, 200* - 2000 ppm;...

3. Otras sustancias se encuentran en el permiso: Azufre, 3% ; PCB, 30 ppm; Compuestos halogenados, 2000 ppm; Nitruros, 800 ppm.

Francia: La autoridad local controla la instalación para asegurar que ésta no representa un peligro para el medio ambiente y que se minimizan los riesgos derivados del uso de combustibles alternativos. La autoridad puede establecer valores específicos. (1) Valores límite para cloro y metales pesados. (2) Para residuos peligrosos: si Cl > 1%, la temperatura debe ser > 1100 °C; contenido en metales pesados: Hg < 10 mg/kg., Cd+Hg+Tl < 100 mg/kg., Sb+As+Pb+Cr+Co+Ni+V+Sn+Te+Se < 2500 mg/kg. Las plantas de cemento no pueden incinerar residuos < 5000 kJ/kg. Si se da este caso, el poder calorífico se fija en 5000 kJ/kg. para calcular el porcentaje de contribución térmica.

España: En la autorización se especifican los residuos permitidos en cada instalación, así como los controles a realizar en ella.

Alemania: El poder calorífico mínimo lo fija la autoridad competente. Los valores límite para metales pesados se aplican en comparación con los estipulados para carbones primarios (Cd, 2.5 - 5 ppm; Tl, 0.5 - 2 ppm; Hg, 0.5 - 1 ppm; Sb, 15 - 30 ppm; As, 2.5 - 20 ppm; Pb, 50 - 100 ppm; Cr, 30 - 100 ppm; Co, 60 - 150 ppm; Mn, 50 - 150 ppm; Ni, 12 - 100 ppm; V, 5 - 20 ppm, Sn, 5 - 40 ppm; Be, 0.2 - 2 ppm; Se, 1- 10 ppm; Te, 1 - 5 ppm; Cl, 0.5 %; S. 0.2%).

Grecia: Sólo un grupo reducido de plantas está experimentando con el uso de combustibles alternativos en pequeñas cantidades. Para este período de prueba se adoptan los valores límite marcados por la Directiva 94/67/EC relativa a la incineración de residuos peligrosos.

Irlanda: Hasta la fecha, EPA sólo ha concedido licencias para el uso de combustibles convencionales a plantas convencionales.

Luxemburgo: condiciones especiales para la introducción de neumáticos.

Países Bajos: Se permiten los siguientes combustibles alternativos: lodos procedentes de plantas de depuración de aguas residuales domésticas e industriales (max. 100.000 t/a), restos orgánicos de animales (100.000 t/a) y residuos de la industria fotoquímica.

Portugal: a1 (sintéticos) + a2 (aceite usado) + a3 (disolventes) se incineran juntos con un ratio de mezcla < 25% en 2 hornos; * Hg < 20 ppm, Cd+Tl < 200 ppm. Estos valores son sólo orientativos de cara al permiso. Las cenizas y residuos industriales son materias primas secundarias.

Reino Unido: (1) En general, no se permite el uso de combustibles alternativos si no se han realizado ensayos previos. (2) Valores permitidos: Poder Calorífico: no especificado, pero es poco probable que esté por debajo de 11 MJ/kg. para materiales sintéticos y residuos domésticos; Cantidad Máxima: no aplicable; Otras Especificaciones: dependen de los ensayos. (3) Los valores límite individuales para metales pesados y otros parámetros se fijan en función de los resultados del ensayo. (4) Hasta la fecha, sólo se han concedido permisos para disolventes y neumáticos usados.

Suecia: Se procesan aceites usados.

En este sentido, la línea de actuación seguida por las cementeras europeas permite destacar tres grandes familias de residuos, que dadas sus características son las más utilizadas en la actualidad como combustibles alternativos. Estas familias son los neumáticos usados, los aceites usados y los llamados líquidos alternativos, que engloban residuos procedentes en su mayoría del sector químico tales como disolventes orgánicos, pinturas, pigmentos, barnices, etc. No obstante, como se observa en la tabla, existen otras familias que también reúnen los requisitos para ser utilizadas como combustible, pero que por unas u otras razones (menor poder calorífico, peor maleabilidad, etc.) son menos utilizadas en la actualidad.

Los neumáticos usados están compuestos fundamentalmente por cauchos naturales y artificiales, alambre de acero y textiles, junto a negro de humo, otros materiales de carga (SiO_2) y otras pequeñas cantidades de aditivos, que le confieren las características necesarias para su utilización (ver tabla 4.7). Debido a sus componentes presenta una doble ventaja para su utilización en cementeras, por un lado, como combustible, pues tienen un poder calorífico de 6.700 – 8.200 kcal/kg. (similar a los combustibles tradicionales utilizados en la industria del cemento) y, por otro lado, como aporte de materias primas necesarias para el proceso (hierro y sílice). Por dichas razones, desde el primer momento ha sido una de las familias más utilizadas como combustible alternativo en las cementeras.

Tabla 4.7.- Composición típica y elemental de un neumático al final de su vida útil (NFV)

Material			Porcentaje	Elemento	%
Caucho			36,0 %	Carbono	78 - 83
Material de carga (Si O ₂ , hollín)			37,0 %	Hidrógeno	6 - 7
Oxido de cinc			1,2 %	Oxígeno	3,5 - 5,0
Plastificantes			3,0 %	Nitrógeno	0,2 - 0,4
Azufre			1,3 %	Azufre	1 - 1,6
Acero, textiles			18,0 %	Cloro	0,07 - 0,1
Resto			3,5 %	Na ₂ O	0,1 - 0,2
Total			100,0 %	K ₂ O	0,08 - 0,14
				Cenizas	5 - 10
Material	NFV turismos	NFV camiones	NFV media	Volátiles	60 - 65
				Carbono fijo	30 - 35
Caucho:				P.C.I. (kcal/kg.)	8.200
				SiO ₂ (ppm)	20.000
				Al ₂ O ₃ (ppm)	5.000
- Natural	15 %	40 %	30 %	Fe ₂ O ₃ (ppm)	20.000
- Sintético	25 %	8 %	15 %	CaO (ppm)	500
Ingredientes relleno	28 %	23 %	26 %	V (ppm)	-
Textiles	5 %	7 %	6 %	Ni (ppm)	-
Acero	13 %	22 %	16 %	Cr (ppm)	500
Aceites y otros	14 %	0 %	7 %	Zn (ppm)	11.000

Los aceites usados en su mayoría son aceites lubricantes (mayoritariamente de automoción) que han perdido sus características originales como consecuencia de su uso, aunque también se encuentran entre los aceites usados otros tipos de aceites, como los aceites hidráulicos y de engranajes, y en menor medida los de corte y por error los dieléctricos.

Los aceites, como productos derivados del petróleo, tienen un poder calorífico similar al del fueloil (9.500 – 9.700 kcal/kg.), por lo que los aceites usados también se convirtieron rápidamente en posibles combustibles alternativos en la industria del cemento, especialmente para la fabricación de cemento blanco. Este producto residual, debido a sus características y componentes, requiere un control analítico riguroso para no originar problemas en su combustión, especialmente en lo referente a su contenido en cloro y en plomo.

Al cambiar los automóviles el combustible, pasando a utilizar combustibles sin plomo, así como la utilización de aditivos en el aceite con menor nivel de cloro, ha tenido como consecuencia una disminución de esos contaminantes en el aceite usado. Ver la tabla 4.8, en la que se muestra la evolución de la composición del aceite usado recogido por una de las empresas españolas que más aceite recogen y analizan, durante los años 1991 a 1999.

Tabla 4.8.- Evolución de la composición del aceite usado

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
PCB's	11	5	5,75	4,5	1,9	5,5	0,7	0,5	<0,5
Pto. Inflamación (°C)	>120	>120	<120	<120	>120	<120	>120	>120	>120
PCI (kcal/kg.)	9.816	9.127	9.682	9.607	9.772	9.657	9.721	9.793	9.873
AZUFRE (%)	0,54	0,70	0,64	0,47	0,44	0,40	0,47	0,49	0,78
COLORO (%)	0,30	0,20	0,17	0,07	0,06	0,08	0,08	0,073	0,057
FLUOR (%)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
COBRE (ppm)	99	26	25	22,3	20,5	25	20	19	16
PLOMO (ppm)	1.297	1.436	837	632	575	624	406	330	271
CROMO (ppm)	25	8	7	<5	<5	<5	<5	<5	5,2
NÍQUEL (ppm)	200	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
CADMIO (ppm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5,3
VANADIO (ppm)	3,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,7
AGUA (%)	3,7	3	3,6	2,9	1,0	4,2	4,5	3,5	2,82
SEDIMENTOS (%)	0,28	0,45	0,45	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	0,42
DENSIDAD (gr/cc)	0,89	0,85	0,90	0,90	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87

Esta mejora en sus componentes, ha traído consigo que el aceite usado, una vez desclasificado por un Centro de Transferencia, se venda a unos precios que no lo hacen tan interesante para las cementeras españolas, donde debe competir con un combustible barato como es el coque de petróleo y porque los gestores de aceites usados encuentran otras instalaciones dispuestas a pagar precios más altos al sustituir fueloil en sus quemadores.

No obstante sí seguirán recuperándose energéticamente en las cementeras aquellos aceites que por sus características o composición requieran de unas instalaciones que garanticen la destrucción de contaminantes presentes en ellos, caso de aceites industriales, residuos aceitosos, etc.

En cuanto a los líquidos alternativos, son una combinación de distintos componentes químicos pertenecientes a las familias de residuos anteriormente indicadas, especialmente los disolventes no halogenados o ligeramente halogenados, residuos de hidrocarburos, residuos de destilación, líquidos orgánicos, fondos de tanques, etc. Entre esos componentes químicos cabe citar:

- Hidrocarburos aromáticos
- Hidrocarburos alifáticos
- Alcoholes
- Acetatos
- Cetonas
- Ésteres
- Glicoles
- Hidrocarburos ligeramente clorados
- Hidrocarburos oxigenados

Al ser un producto tan heterogéneo, no se puede determinar una composición característica, entonces lo que se hace es establecer unos parámetros a cumplir por los líquidos alternativos con destino a cada instalación, es decir, que cada instalación fija unas cantidades máximas y/o mínimas de ciertos elementos que debe cumplir el líquido alternativo con destino a cada cementera. Un par de ejemplos de cómo son esas especificaciones a cumplir por los líquidos alternativos se muestra en la siguiente tabla 4.9.:

Tabla 4.9.- Especificaciones de los líquidos alternativos con destino a cementeras

Parámetro	Especificación-1	Especificación-2
Viscosidad	< 300 cp	≤ 100 cp
Partículas	< 6 mm	< 4,5 mm
Poder Calórico	4.400 kcal/kg. (18 GJ/t)	4.500-6.000 kcal/kg. (19-25 GJ/t)
Halógenos (Cloro + bromo)	0,7 % en peso respecto clínker	0,7 – 1 % en peso
pH	> 4, < 11	≥ 5, ≤ 101
Azúfre	< 2,0 %	≤ 1,0 % en peso
Flúor	< 5,0 %	≤ 1,0 % en peso
Contenido en cenizas	< 15,0 %	≤ 10 % en peso
Metales		
Plomo	< 3.000 ppm	≤ 200 ppm
Cromo	< 3.000 ppm	≤ 2.000 ppm
Arsénico	< 200 ppm	≤ 200 ppm

Cadmio	< 250 ppm	≤ 20 ppm
Antimonio	< 500 ppm	≤ 100 ppm
Mercurio	< 100 ppm	≤ 15 ppm
Talio	< 100 ppm	≤ 10 ppm
Cinc	< 3.000 ppm	≤ 2.000 ppm
PCB's	< 50 ppm	≤ 50 ppm
Radioactividad	No presencia	No presencia

Aunque las cementeras europeas utilizan distintos tipos de combustibles fósiles, para que se puedan establecer comparaciones, a continuación, en la tabla 4.10, se muestran los contenidos de determinados elementos presentes en el carbón (según dos diferentes estudios), en el fueloil y en 15 muestras de coque de petróleo.

Tabla 4.10.- Composición de carbón, fueloil y coque en determinados elementos (ppm, salvo donde se indican otras unidades)

Elemento	Carbón (s/Kleppinger – 1992)			Carbón (s/Spung – 1985)	F.O. (s/Kleppinger – 1992)	Coque de petróleo (2000)
	Nº muestras	Valor medio	Desviación Estándar			
Metales		ppm	ppm	Ppm	ppm	
Antimonio				1,19		3,32
Arsénico	3.527	20,3	41,8	9 – 50	0,36	74,17
Bario				24,5		
Berilio				2,27		
Cadmio	3.527	0,91	7,3	0,1 – 10	0,3	1,86
Cobre	3.527	17,8	17,8		5,3	
Cromo	3.527	20,5	27,5	5 – 80	0,40	509,93
Manganeso	3.527	100	100		0,49	
Mercurio				0,24		< 1
Níquel	3.527	16,9	19,2	20 – 80	24,0	
Plomo	101	34,8	43,7	11 – 270	1	19,18
Selenio				3,56		
Plata				0,06		
Talio				0,2 – 4		0,78
Vanadio				30 – 50		
Cinc	101	272	694	16 – 220		26,67
Halógenos	101	0,14 %	0,14 %			0,017 %
Bromo				7 – 11		
Cloro				100 – 2.800		
Flúor				50 – 370		
Yodo				0,8 – 11,2		
Azufre						6,35 %
Cenizas						2,49 %
Volátiles						10,27 %
P.C.I.	101	7.083 kcal/kg.	258 kcal/kg.			8.296 kcal/kg.

Conviene destacar que existen otros muchos aspectos que también van a condicionar la elección. Así por ejemplo el suministro de residuos al horno ha de producirse de manera continua, para lo cual es necesario la previsión de espacios (abiertos o cerrados), silos o tanques para el almacenamiento de los residuos. Éstos pueden encontrarse en la propia instalación o fuera de ella, en cuyo caso será preciso transportarlos de forma segura y controlada. Asimismo, con frecuencia es necesario un acondicionamiento previo del residuo, ya sea mediante trituración o corte para el caso de sólidos o mediante procesos de mezcla y homogeneización para el caso de líquidos, con el fin de adecuarlos a las condiciones de almacenamiento, manipulación y combustión de la fábrica de cemento. Igualmente, esto puede llevarse a cabo dentro de la propia planta o en instalaciones específicas denominadas “plantas de blending”, que serán abordadas con más detalle en el capítulo 6.

Entre los residuos que necesitan un acondicionamiento en Centros de Preparación de Combustible externos a las cementeras están las plantas de preparación de CDR (Combustible Derivado de Residuos). El CDR procedente de los residuos municipales es un combustible que también puede sustituir a los combustibles tradicionales en las cementeras, de hecho es muy usado en plantas de Alemania, Dinamarca, Francia, Suecia y Reino Unido. Las características principales de este producto se pueden apreciar en la tabla 4.11:

Tabla 4.11.- Características principales del CDR

Aspectos físicos	CDR en masa	CDR en pellets
Tamaño [mm]	< 20	30 – 50
Densidad	0,1 – 0,20	0,20 – 0,30
Cenizas (principalmente SiO ₂ , Al ₂ O ₃) [%]	10 – 20	10 – 20
Humedad [%]	10 – 15	2 – 10
Cloro [%]	0,2 – 0,7	0,2 – 0,7
Azufre [%]	~ 0,1	~ 0,1
Metales pesados totales (principalmente Cu, Zn, Ba, Mn, Pb) [ppm]	< 1.000	< 1.000
P.C.I. [kcal/kg.]	3.500	4.700

Como la Directiva 94/67/CE, *relativa a la incineración de residuos peligrosos* (próximamente derogada por la 2000/76/CE), establecía que las instalaciones de co-incineración no debían superar el límite del 40 % de residuos peligrosos sustituyendo a combustibles tradicionales, muchas plantas cementeras europeas comenzaron a utilizar masivamente otros residuos no peligrosos, con un cierto poder calorífico, para seguir sustituyendo combustibles tradicionales.

Esta circunstancia trajo consigo el incremento en la utilización como combustibles de residuos plásticos, de papel, etc. y la utilización de otros como los CDR (Combustible Derivado de Residuos). Las características de los CDR se detallan en el capítulo 6, al tratar las plantas de preparación de combustibles con destino a cementeras.

En cuanto a los plásticos se van a distinguir tres clases de mezclas de plásticos, dependiendo de su origen: plásticos procedentes de residuos de equipos eléctricos y electrónicos (REEE), plásticos procedentes de residuos municipales y residuos de fragmentación de vehículos al final de su vida útil.

Los plásticos procedentes de los REEE suelen contener elevados contenidos de metales pesados, procedentes de los restos de hilos y cables eléctricos, lo mismo que el cloro (procedente del PVC) y el bromo y el antimonio (procedentes de los aditivos de dichos plásticos), lo que representa una dificultad para su utilización como combustible alternativo.

Los plásticos procedentes de los residuos municipales, como tienen más cantidad de polietileno de baja densidad, tienen una densidad menor que los plásticos procedentes de REEE y un poder calorífico mayor. También tienen una presencia muy inferior de metales, siendo el origen del antimonio los aditivos retardantes de llama de los polímeros y el del plomo, los estabilizantes del PVC.

Los vehículos cuando llegan al final de su vida útil se descontaminan en primer lugar, para a continuación separar las piezas y materiales que se pueden reutilizar, reciclar o recuperar. Cuando ya no se pueden aprovechar más en los desguaces, lo que queda del vehículo se suele enviar a las plantas de fragmentación, donde se trituran y se suelen separar en cuatro fracciones: chatarra metálica férrea, chatarra no férrea, material inerte y residuo ligero. Esta última fracción, que representa como media un 20 % del peso del vehículo al final de su vida, es la que se puede utilizar como combustible alternativo en las cementeras y está constituido por la parte orgánica ligera procedente de las tapicerías, salpicaderos, guarniciones, juntas, manguitos, etc., formando un conjunto heterogéneo de cauchos, goma, polietileno, plásticos acrílicos, etc. Las proporciones aproximadas pueden ser las indicadas en la tabla 4.12., donde se puede apreciar que tienen una parte importante de elementos inertes, que aunque no tengan utilidad como combustibles si pueden tenerla como materias primas en la fabricación del clínker.

Tabla 4.12.- Componentes de los residuos de fragmentación ligera de los vehículos al final de su vida útil

Componentes	%
Plásticos y textiles	40
Caucho	30
Vidrio	13
Inertes y tierras	15
Restos de metales no férreos	2

En la tabla 4.13 se muestra la composición elemental típica de las tres clases de plásticos, con especial incidencia en los metales pesados que pueden estar presentes en cada uno de los tipos de plásticos y expresados en las unidades que se indican sobre la propia tabla:

Tabla 4.13.- Composición elemental de plásticos procedentes de REEE, residuos municipales y residuos de fragmentación ligera.

Elementos	Plásticos de REEE	Plásticos de Res. Municipales	Plásticos de Res. de fragmentación
Carbono [%]	51,5	75,0	3,0 (fijo)
Hidrógeno [%]	5,2	10,0	
Nitrógeno [%]	1,2	0,1	
Azufre [%]	0,3	0,1	
Cloro [%]	2,0	0,4	0,7
Bromo [%]	0,1	0,6	
Cenizas [%]	12,0	3,7	32,0
Humedad [%]			1,4
Densidad [gr/cm ³]			0,33
Volátiles [%]			59,0
Al [%]			1,1
Ca [%]			5,3
Fe [%]			5,0
Mg [%]			6,8
As [ppm]	< 1	< 15	< 250
Cd [ppm]	42	41	230
Cr [ppm]	493	150	170
Cu [ppm]	3.900	300	7.000
Hg [ppm]	0,5	0,4	
Ni [ppm]	308	37	210
Pb [ppm]	3.500	190	3.000
Sb [ppm]	1.700	700	110
Sn [ppm]	1.150	< 15	< 50
Sr [ppm]			500
Tl [ppm]	< 10	< 10	
V [ppm]	5	< 5	<50
Zn [ppm]	650	500	4.000
Poder calorífico [kcal/kg.]	5.800	9.000	4.600

En 1999 afloró un problema con unos pollos destinados a consumo humano, que tenían un alto contenido en PCB's, provenientes de su alimentación con piensos que tenían dicho elemento. A consecuencia de dicho problema, fue necesario eliminar en Bélgica unas 40.000 toneladas de harinas y grasas animales provenientes del sacrificio de animales contaminados (o potencialmente contaminados) con PCB's/dioxinas, para lo cual se recurrió a las cementeras de dicho país. Las autoridades belgas realizaron estudios al respecto y concluyeron que estas harinas y grasas animales podían ser utilizadas como combustibles de sustitución en los hornos de las cementeras.

Cuando en el año 2000 estalló la crisis de la encefalopatía espongiforme bovina (EEB), también llamado mal de las "vacas locas", a consecuencia de la alimentación de las vacas con harinas de origen animal, una de las soluciones que se han propuesto ha sido la destrucción de dichas harinas en las cementeras.

Los residuos sólidos que se producen en los mataderos son fundamentalmente: los materiales especificados de riesgo (MER), los despojos y otros. Los MER, que incluyen

el encéfalo, los ojos, las amígdalas, la médula espinal (de bóvidos de más de 12 meses de edad) y el intestino, deben ser destruidos en plantas específicamente autorizadas para ello. Como otros residuos se incluyen los excrementos, contenido del estómago de los animales, pezuñas, cuernos, etc., que en muchos casos acaban en vertederos.

Por el contrario los despojos, incluida la sangre, procedentes de los mataderos, carnicerías, salas de despiece, decomisos, etc., tradicionalmente se venían utilizando para fabricar harinas de carne y hueso, parte de las cuales se utilizaba para la fabricación de piensos para animales.

Ante la prohibición de utilizar estas harinas para consumo animal y con el fin de no crear otro problema mayor que paralizara todos los mataderos, se buscaron posibilidades para gestionar las harinas de origen animal. Como se contaba con la experiencia belga, uno de los primeros destinos en que se pensó fue el de las cementeras. Así en España se firmó el 11 de enero de 2001 un Acuerdo Marco entre el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y la patronal cementera, OFICEMEN, que establece las bases generales de colaboración hasta el año 2005, que está encuadrado dentro de las medidas adoptadas en el “Plan Coordinado de Actuación de Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas de lucha contra la EEB en España y medidas colaterales”.

La composición química y demás propiedades de las harinas las convierten en un producto capaz de sustituir parte del combustible tradicional de las cementeras, entre el 55 % y el 60 % en peso de las mismas lo constituyen proteínas, en la que participan más de una veintena de aminoácidos, como componente orgánico fundamental (si tienen más del 55 % se les llama harinas de carne y si contienen entre 40 – 55 %, son harinas de carne y hueso y si son menos del 40 %, harinas de hueso). Entre la componente inorgánica, hay una presencia bastante importante de calcio y fósforo (procedentes del fosfato de los huesos), así como porcentajes menores de azufre y cloro (los valores de Cl pueden variar entre el 0,5 y el 1 %). La composición, no obstante, es muy variable debido a las diferencias de composición de la materia prima original y a las diferencias de proceso seguido por cada fabricante. Un ejemplo de composición elemental es el reflejado en la tabla 4.14. El poder calorífico inferior de las harinas de carne y hueso en ese caso fue del orden de 4.400 kcal/kg., pero en otras experiencias se han encontrado valores menores de 3.000 kcal/kg.

La cantidad de cloro y azufre es lo suficientemente escasa como para, en principio, no representar un riesgo de atasco en los ciclones del precalentador de los sistemas de alimentación por vía seca, dicho cloro no es probable que esté en forma de compuestos organoclorados (precursores en la formación de dioxinas), sino en forma iónica, procedente del cloruro de sodio (sal común) y de los ácidos de los jugos gástricos cuando se utilizan los intestinos y estómago para fabricar las harinas.

Sin embargo la presencia de ese cloro, especialmente cuando es como ácido procedente de los jugos gástricos, es lo suficientemente importante para que la destrucción de las harinas requiera de unas instalaciones adecuadas y capaces de neutralizar los gases clorados que se puedan formar, como ocurre en las cementeras, que además no aporte compuestos fenólicos u otros orgánicos que reaccionen con el cloro para dar organoclorados.

Las cantidades de grasa presentes en la parte orgánica de las harinas (un 5% si están desengrasadas y superior si no lo están), son las que pueden representar algún inconveniente en la operación del horno, pues a temperaturas cercanas a los 50 °C, fluidifican, formando grumos y pegándose en las paredes de las tuberías e inyectores. Esa temperatura es fácilmente alcanzable por el aire utilizado para su transporte neumático hacia el quemador del horno, lo que obligará a instalar refrigeradores para dicho aire a la salida de la soplante.

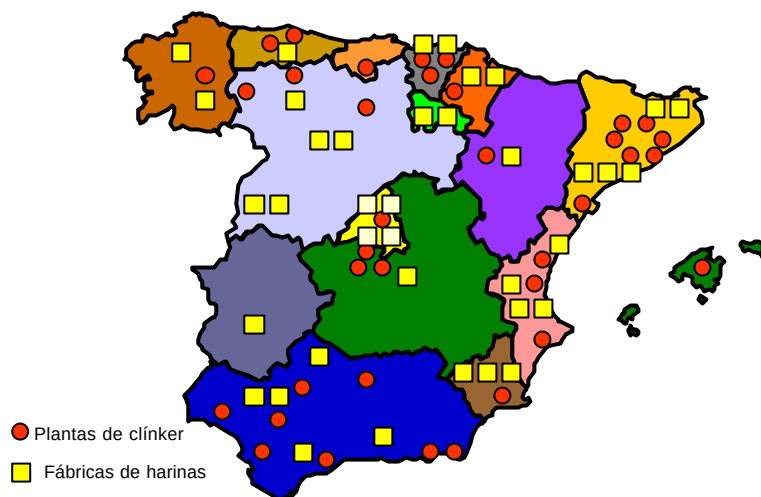
La humedad también obliga a tener unas precauciones adicionales, ya que es un producto sensible al deterioro y la putrefacción microbiana. Por esta circunstancia, conviene que la humedad no alcance valores por encima del 10 %.

Tabla 4.14.- Composición elemental de unas harinas de carne y hueso

Elemento	%
Humedad	6,5
Proteína bruta	52,0
Grasa	10,5
Cenizas	34,0
SiO ₂	0,8
Al ₂ O ₃	0,2
Fe ₂ O ₃	0,05
CaO	10,2
MgO	0,4
Na ₂ O	0,6
K ₂ O	0,2
P ₂ O ₅	9,1
Cl	0,5 – 1,5
S	0,6
Poder calorífico (kcal/kg.)	3.000 - 4.200

Una de las ventajas que presenta la valorización de las harinas de carne y hueso en plantas cementeras es la proximidad de estas instalaciones a las fábricas de harinas. La situación para el caso español se puede apreciar en la figura 4.4.:

Figura 4.4.- Situación de las plantas de clínker y las fábricas de harinas de carne y hueso en España



I

Otro de los flujos de residuos que pueden recuperarse en las cementeras es el que corresponde a los lodos de depuradoras, ya sean de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales. Estos lodos no tienen un contenido orgánico muy alto pero si tienen una fase mineral rica en componentes básicos utilizados en la fabricación del clínker. Los contenidos en metales de estos lodos pueden ser los indicados en la tabla 4.15:

Tabla 4.15.- Contenido en metales de los lodos de depuradoras de aguas municipales e industriales (ppm).

Elemento	Lodos municipales	Lodos industriales
Antimonio		> 50
Arsénico	10 – 15	10 – 150
Bario	> 3.000	
Boro	200 – 1.400	
Cadmio	> 1.100	> 100
Cinc	50 – 29.000	20 – 20.000
Cobalto	> 800	> 100
Cobre	45 – 16.000	> 3.000
Cromo	22 – 30.000	10 – 7.000
Estaño		> 150
Estroncio	> 2.300	
Magnesio		10 – 12.500
Manganeso	100 – 9.000	>13.000
Mercurio	0,1 – 90	> 100
Níquel	> 2.800	> 1.000
Plata	> 1.000	
Plomo	80 – 26.000	> 1.500
Selenio	10 – 180	< 10

Talio		< 10
Vanadio	> 2.100	> 60

4.3. Mercado de residuos con destino a cementeras

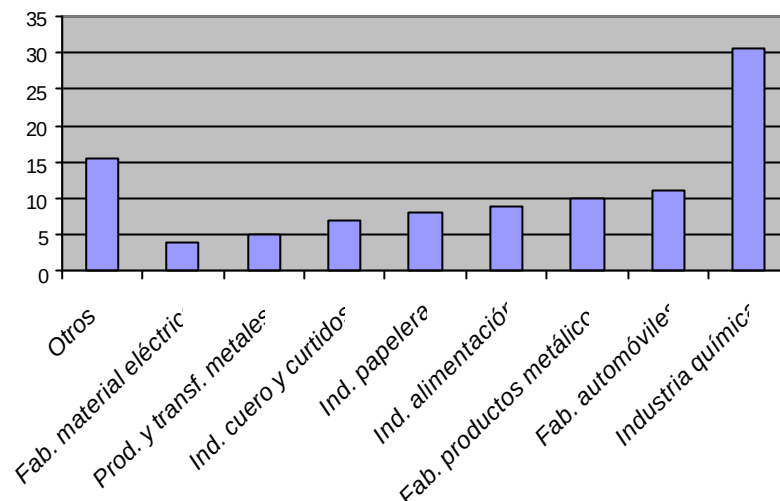
Cualquier actividad de aprovechamiento de los residuos va a estar siempre ligada a los parámetros de cantidad/volumen y naturaleza de los residuos a gestionar. En los procesos de valorización energética en los que tiene lugar la combustión o co-combustión de los mismos, este parámetro cobra si cabe mayor importancia. Para garantizar un óptimo funcionamiento del horno y altos rendimientos de combustión, es preciso asegurar un flujo continuo de la corriente de residuos así como la homogeneidad de la misma, que permita minimizar fluctuaciones que se traducen normalmente en pérdidas de eficacia no deseadas durante el proceso.

En la Unión Europea se generaron en el año 1998, 350 millones de toneladas (Mt) de residuos industriales, de los cuáles aproximadamente 25 Mt correspondieron a residuos peligrosos, esto es algo más del 7 %. La Tabla 4.16 recoge las cantidades de generadas en cada uno de los estados miembro y la Figura 4.5 la producción de residuos peligrosos por sectores industriales.

Tabla 4.16.- Producción de residuos industriales y peligrosos en la Unión Europea en 1998 (en Millones de toneladas)

País	Residuos Industriales (RI)	Residuos Peligrosos (RP)	Porcentaje de RP sobre RI (%)
Alemania	77.7	9.09	11.70
Austria	36.5	1	2.74
Bélgica	13.3	0.24	1.80
Dinamarca	2.6	0.25	9.62
España	13.8	1.7	12.32
Finlandia	15.4	0.5	3.25
Francia	40	3.95	9.88
Grecia	4.3	0.45	10.47
Irlanda	7.12	0.99	13.90
Italia	34.3	2.7	7.87
Luxemburgo	1.3	0.09	6.92
Países Bajos	19.9	0.92	4.62
Portugal	0.66	0.08	12.12
Reino Unido	70	2.54	3.63
Suecia	13	0.5	3.85
TOTAL	350	25	7.15

Figura 4.5.- Producción de residuos peligrosos por sectores industriales en la Unión Europea (%).



A la vista de los datos, se observa como son los sectores químico y del automóvil los que generan un mayor volumen de residuos peligrosos en el conjunto de la Unión Europea. No obstante, cuando se habla de residuos susceptibles de ser valorizados en cementeras, no todo el conjunto de los industriales y/o peligrosos queda englobado, sino que, como ya ha sido comentado con anterioridad, hay una serie de parámetros a controlar que determinan si es posible o no su utilización.

Los neumáticos usados, los aceites usados y los líquidos alternativos constituyen las familias de residuos que por su naturaleza más se adecuan al proceso de valorización y los que más se están utilizando en la actualidad.

La generación de neumáticos tiene dos fuentes principales, por un lado la reposición que como consecuencia del mantenimiento de los vehículos se realiza periódicamente y, por otro, los neumáticos procedentes de los vehículos al final de su vida útil.

Según los informes de los Estados Miembros, se estima que en el periodo 1999-2000, se generaron más de 2,5 millones de toneladas al año. En la Tabla 4.17 se muestra la generación en los países de la Unión Europea de los neumáticos fuera de uso en los años 1996, 1998 y 2000, aunque los datos del año 2000 son simplemente una corrección estadística en algunos países (Portugal y Reino Unido) respecto a los datos de 1998.

Tabla 4.17.- Producción de neumáticos al final de su vida útil en los países de la Unión Europea en diferentes años(en toneladas) y ratio de generación

País	1996	1998	2000	Población	Kg./hab/año
Alemania	650.000	650.000	650.000	82.060.000	7,92
Austria	40.000	41.000	41.000	8.075.000	5,08
Bélgica	65.000	70.000	70.000	10.192.000	6,87
Dinamarca	38.000	38.500	38.500	5.295.000	7,27
España	115.000	330.000	330.000	39.348.000	8,39
Finlandia	30.000	30.000	30.000	5.147.000	5,83
Francia	480.000	380.000	380.000	58.815.000	6,46
Grecia	58.000	58.500	58.500	10.508.000	5,57
Irlanda	7.640	7.640	7.640	3.693.000	2,07
Italia	360.000	360.000	360.000	56.911.000	6,33
Luxemburgo	2.000	2.000	2.000	424.000	4,72
Países Bajos	65.000	65.000	65.000	15.650.000	4,15
Portugal	19.825	45.000	52.000	9.957.000	5,22
Reino Unido	400.000	380.000	435.000	8.848.000	7,36
Suecia	65.000	65.000	65.000	59.084.000	7,35
TOTAL	2.395.465	2.522.640	2.584.640	374.007.000	6,91

Fuente: Informe Eurostat (Oficina de Estadística de la UE) de 1998

También se incluye en la tabla el ratio de generación en kg. por habitante y año, con una media de 6,9 kg./hab./año, que según ETRA (European Tyre Recovery Association), corresponde aproximadamente a 1 neumático/habitante/año. Esta cifra es ligeramente superior a la que habitualmente se tomaba para realizar estimaciones, que era de 6,5 Kg./hab/año. El aumento puede ser debido al incremento del peso medio de los neumáticos de los vehículos, ya que cada vez se comercializan más turismos todoterreno, monovolúmenes y vehículos con mayores prestaciones que necesitan neumáticos mayores. Según datos de PIRELLI Neumáticos, el peso medio de los neumáticos de turismo es de unos 7 kilos (entre 6,5 y 9 kg./ud).

Observando los ratios de los distintos países se aprecia en algunos unos ratios demasiado bajos, mientras que en otros esos ratios son altos, ello puede ser debido a las dificultades de estimación de la cantidad de neumáticos que se quedan anualmente fuera de uso. No obstante, el valor medio europeo es un dato admisible para realizar estimaciones de generación de neumáticos al final de su vida útil.

En cuanto a la generación de aceites usados en la Unión Europea, en la Comisión se manejan datos propuestos por la Consultora TN SOFRES para el año 1999, según los cuales se generan unas 2.410 Mt/año, de las que se recogen unas 1.692 Mt/año.

Estas cifras están basadas para la mayoría de países en los datos calculados hace una década, según los cuales del total de aceite consumido se producían unas mermas cercanas al 50 %, es decir, que del total de aceite vendido se convertía en aceite usado solamente el 50 % (cifras elaboradas por el grupo de trabajo de la Federación

Británica de Lubricantes en 1990, que coincidían con los elaborados en 1996 por el grupo de trabajo de CONCAWE). De esa cantidad de aceite usado generado se calculó que se podía recoger un 50 – 60 % del mismo, aunque esta última cifra la han subido recientemente a un 70 %. De ahí las cifras oficiales que se manejan: consumo de aceite, 4.995 Mt/a, generación de aceite usado, 2.410 Mt/a y aceite usado recogido, 1.692 Mt/a.

Sin embargo, un estudio reciente realizado en el Reino Unido por la industria petrolera, ha revelado que las mermas que se producen actualmente en el aceite consumido son solamente del 35 %, es decir que del aceite vendido se convierte en aceite usado un 65 %.

Igualmente, se ha podido comprobar que en los países nórdicos de Europa, el porcentaje de aceite usado que se recoge respecto al que se genera está en valores superiores al 90 %, mientras que en los estados del sur, esta cifra está aumentando (de un 41 % en 1997 se ha pasado a un 57 % en 1999, según datos oficiales) y se espera que en breve esté en valores superiores al 70 % de media. Por todo ello, se puede estimar que en los próximos años la cifra de media europea de recogida de aceite usado generado será superior al 80 %.

En la tabla 4.18 se presentan los datos oficiales de la producción y recolección de aceites usados en la Unión Europea (de procedencia TN SOFRES) y los calculados de acuerdo con esos nuevos ratios de reciente comprobación, es decir, un 65 % de los aceites minerales consumidos para los aceites usados generados y un 80 % de los aceites usados generados para los aceites recogidos. Por ello en dicha tabla también se incluyen los aceites minerales consumidos en la Unión Europea en el año 1999.

Tabla 4.18.- Consumo, generación y recogida de aceites usados en la UE en 1999 (toneladas)

País	Consumo de aceite mineral	Datos oficiales		Datos calculados	
		Generados	Recogidos	Generados	Recogidos
Alemania	1.115.000	641.000	453.000	724.750	579.800
Austria	108.000	57.000	38.000	70.200	56.160
Bélgica	186.000	93.000	45.000	120.900	96.720
Dinamarca	77.000	41.000	40.000	50.050	40.040
España	501.000	251.000	158.000	325.650	260.520
Finlandia	92.000	46.000	35.000	59.800	47.840
Francia	905.000	383.000	246.000	588.250	470.600
Grecia	88.000	44.000	18.000	57.200	45.760
Irlanda	39.000	20.000	10.000	25.350	20.280
Italia	666.000	222.000	166.000	432.900	346.320
Luxemburgo	10.000	5.000	4.000	6.500	5.200
Países Bajos	161.000	81.000	53.000	104.650	83.720
Portugal	109.000	55.000	20.000	70.850	56.680
Reino Unido	790.000	390.000	351.000	513.500	410.800
Suecia	148.000	81.000	55.000	96.200	76.960
TOTAL	4.995.000	2.410.000	1.692.000	3.246.750	2.597.400

El caso de los líquidos alternativos es un tanto singular. Esta familia de residuos engloba todas aquellas sustancias líquidas procedentes de la industria química que reúnen las características de poseer elevado poder calorífico y bajo contenido en cloro. Entre ellas figuran pinturas, adhesivos, barnices, disolventes orgánicos (hidrocarburos, cetonas, alcoholes, amidas, tolueno, xileno,...) etc. Debido a la gran diversidad de sustancias que integran esta categoría, resulta complicado encontrar datos de generación por países, aunque como referencia cabe señalar que, como ya se ha mencionado, el sector de la industria química es con diferencia el primer productor de residuos industriales peligrosos, por delante de otros como el de la automoción, fabricación de productos metálicos o alimentación.

Considerando que en la actualidad la cantidad de total de residuos utilizados como combustible alternativo ronda los 2.75 millones de toneladas al año, y que sólo los datos de generación de aceites y neumáticos usados (sin incluir los líquidos alternativos) suponen 5.2 millones de toneladas, parece que la viabilidad del mercado está garantizada. Si a esos 5.2 millones se añaden los datos de generación de líquidos alternativos, residuos de papel, lodos de depuración, materiales sintéticos y plásticos entre otros, parece que la cantidad total de residuos sería más que suficiente para satisfacer demandas correspondientes a tasas de sustitución en el ámbito comunitario del 20%.

Sin embargo, la utilización de otros sistemas de gestión de residuos de rango inferior en la jerarquía medioambiental europea, como los vertederos, o las restricciones administrativas para la obtención de autorizaciones, hacen que en la actualidad se esté en las tasas de utilización inferiores a ese 20 % propuesto.

En cuanto a las harinas de origen animal, procedentes de los residuos de mataderos, salas de despiece, carnicerías, animales muertos, etc., se generan en la Unión Europea algo más de 3 millones de toneladas al año, distribuidas por países de la manera que se indica en la tabla 4.19:

Tabla 4.19.- Producción de harinas de carne y hueso, plumas y volatería, en la UE en 1999 (salvo el dato de Portugal que es de 1998)

País	Toneladas / a
Alemania	701.517
Austria	87.913
Bélgica / Luxemburgo	119.007
Dinamarca	214.309
España	420.000
Finlandia	25.500
Francia	540.290
Grecia	10.000
Holanda	253.000
Irlanda	102.000
Italia	434.000
Portugal	32.000
Reino Unido	102.200
Suecia	39.500
Total	3.081.236

Aunque no se recupere energéticamente en las cementeras europeas la totalidad de las harinas de origen animal que se generan en la Unión Europea, no debería haber problemas de suministro para aquellas plantas que decidan sustituir parte de sus combustible fósiles tradicionales por este residuo, siempre que se evite el vertido de las harinas y se exijan las debidas garantías ambientales para la destrucción de las mismas en otras instalaciones o por otros sistemas.

5. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

La industria cementera, como todas las actividades humanas, produce un impacto sobre el medio ambiente, que a lo largo de los años se ha ido reduciendo, tanto en las canteras de las que se extraen las materias primas como en las propias instalaciones fabriles. Se han reducido los consumos de combustibles y de electricidad, se han disminuido las emisiones, fundamentalmente de polvo, en todas las etapas del proceso, hasta el punto de que las asociaciones empresariales han firmado con las autoridades acuerdos voluntarios reduciendo los límites legales de emisiones a la atmósfera.

La cuestión que se plantea ante la utilización de determinados residuos como sustitutos de los combustibles tradicionales y de las materias primas, es como se verá afectado el entorno y las condiciones medioambientales en las inmediaciones de las fábricas.

La utilización de residuos como materias primas de sustitución o como combustibles alternativos no produce efectos apreciables sobre el proceso ni sobre el medio ambiente, siempre que respeten las adecuadas especificaciones de aceptación y las condiciones de operación sean las correctas. Las materias primas no deben estar contaminadas con sustancias indeseables como materia orgánica y los combustibles han de tener limitado el contenido en determinados elementos como cloro y metales pesados para garantizar la estabilidad del proceso y limitar los posibles efectos ambientales.

En el proceso cementero no se producen residuos líquidos ni sólidos, pues incluso los sistemas de alimentación por vía húmeda evaporan toda el agua que se introduce con el crudo. El polvo que se recoge en los sistemas de filtración de gases (electrofiltros, filtros de mangas,...) se reincorpora al proceso en el lugar más adecuado. Luego los elementos introducidos por medio de los residuos o salen en el producto final o con las emisiones a la atmósfera.

El producto final está muy controlado y existe una serie de límites establecidos para determinados elementos, con el fin de que la calidad del producto no se vea afectada. Por ello las plantas cementeras realizan análisis del producto obtenido para garantizar la calidad, además de todos los análisis de emisiones en las chimeneas, obligados por las normativas.

Las condiciones termoquímicas de los hornos de clínker, presentadas en el punto 4.1, permiten garantizar una destrucción completa de los compuestos orgánicos presentes dentro del horno y el ambiente alcalino, la neutralización de los gases ácidos que se hayan podido formar. Aunque como también se indica en el punto 4.1.1, existen unas limitaciones para determinados compuestos y elementos que pueden estar presentes en los combustibles de sustitución.

Las emisiones a la atmósfera provenientes del horno de clínker, son las originadas en las reacciones químicas y físicas provocadas por la cocción de las materias primas y por los procesos de combustión, por lo que lo más adecuado es realizar también un control riguroso de todos los materiales que se introducen en el proceso, garantizando de esta forma que no se perjudicará al propio proceso, ni a la calidad del producto final, ni al medio ambiente.

Debido a las características especiales del proceso, en la directiva 2000/76/CE se indican los límites que deben cumplir las emisiones a la atmósfera de las cementeras que utilizan combustibles alternativos en sus instalaciones (ver tabla 5.1).

Tabla 5.1.- Anexo II.1 de la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos. Disposiciones especiales para los hornos de cemento en que se coincineren residuos.

Contaminante	Concentración (mg / m ³)
Partículas Totales	30
HCl	10
HF	1
NO _x para instalaciones existentes	800
NO _x para instalaciones nuevas	500 ⁽¹⁾
Cd+Tl	0.05
Hg	0.05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0.5
Dioxinas y furanos	0.1 ⁽²⁾
(1) No se consideran instalaciones nuevas los hornos de cemento en funcionamiento que cuenten con autorización y que comiencen a coincinerar residuos después del 28 de Diciembre de 2004	
(2) Unidades: ng/m ³	
Contaminante	Concentración (mg / m ³)
SO ₂	50
COT (Carbono Orgánico Total)	10

Las emisiones de SO₂ y COT provienen mayormente de la materia prima por lo que la directiva contempla que la autoridad competente establezca exenciones para estas emisiones cuando no procedan de la combustión de los residuos.

Debido a que las materias primas pueden contener pequeñas cantidades de materia orgánica, la presencia de monóxido de carbón e hidrocarburos en los gases que salen por la chimenea, no siempre son un indicio de una combustión incompleta del combustible, sino que pueden deberse a la volatilización de esa materia orgánica en el precalentador de los sistemas de alimentación por vía seca. La directiva faculta a la autoridad competente a establecer límites específicos para el CO.

Las emisiones de NO_x son debidas a las altas temperaturas que se alcanzan en el interior del horno y el CO₂ al proceso de descomposición de la caliza principalmente, y a los procesos de combustión.

Los compuestos halógenos, fundamentalmente el cloro, reacciona con los álcalis dando cloruros alcalinos, que como ya se indicó conviene limitar para evitar atascos en los ciclones de alimentación. Por ello se limita su presencia en los combustible alternativos

y a veces se instalan líneas de *by-pass* para recoger el gas y polvo y enfriar los gases, condensando las sales cloradas.

El azufre se volatiliza en parte y en parte acaba en el clínker formando sulfatos, por lo que le es de aplicación lo indicado para el cloro. Ahora bien, la mayoría de los combustibles alternativos tienen menos cantidad de azufre que los combustibles tradicionalmente utilizados en las cementeras.

La formación de dioxinas y furanos puede ser debida a una combustión incompleta, a la presencia de dichos compuestos en los materiales de entrada al proceso o a la recombinación posterior en las siguientes condiciones:

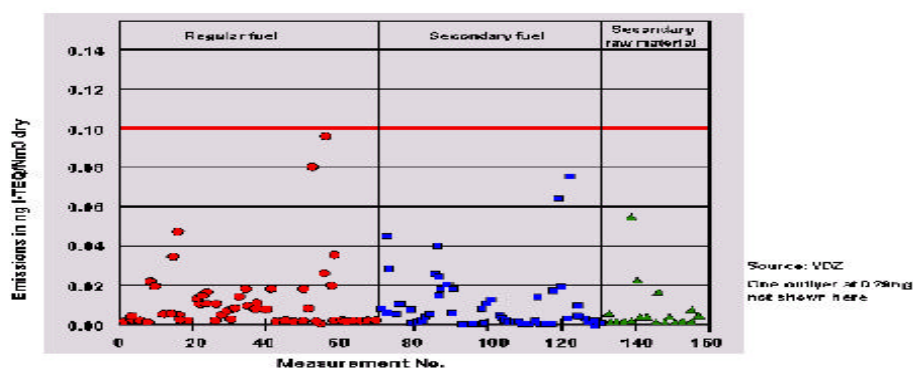
- ❑ Entre 200 y 400 °C
- ❑ En presencia de un catalizador (principalmente cloruro de cobre)
- ❑ En presencia de oxígeno, cloro y compuestos orgánicos clorados
- ❑ Tiempo de residencia en estas condiciones suficientemente largo

Las condiciones de operación de los hornos indicados en el capítulo 4.1 son tales que destruyen estos compuestos y sus precursores, en el caso de que se introduzcan en el horno. Igualmente se puede prevenir su recombinación si:

- ❑ Si la temperatura del gas cae bruscamente al final de la zona de calcinación (a 800 °C) hasta 200 °C en su intercambio térmico con el crudo frío que entra al proceso.
- ❑ El nivel de oxígeno se mantiene en unos niveles adecuados en los gases.
- ❑ El cloro y el ácido clorhídrico son neutralizados por el contenido alcalino del óxido de calcio y el carbonato cálcico.
- ❑ Los precursores son completamente inhibidos de la misma manera y los metales catalizadores lo están bajo la forma de óxidos no activos.

Condiciones que se dan en el proceso de fabricación de clínker, por lo que el nivel de emisión de dioxinas y furanos está en valores apenas detectables y por supuesto por debajo de los límites establecidos, como se puede apreciar en la figura 5.1:

Figura 5.1.- Concentración de dioxinas y furanos en las emisiones de cementeras, en función del tipo de combustible utilizado



Los metales pesados pueden provenir tanto de las materias primas como de los combustibles, y en la zona de alta temperatura, se combina con la sílice para formar silicatos complejos principalmente, incluidos en la estructura cristalina del clínker. Los metales volátiles (caso del mercurio) son absorbidos por la atmósfera alcalina de la cal y del carbonato cálcico, formando compuestos salinos que son atrapados por el clínker.

Durante la hidratación del cemento, y con una gran concentración alcalina en la pasta del cemento, los metales remanentes y los metales integrados en la estructura cristalina del clínker, precipitan como hidróxidos insolubles. Estos hidróxidos son posteriormente absorbidos por hidrosilicatos del cemento, son utilizados como ligantes químicos de metales elementales (con una estructura de piedra natural).

De acuerdo con estudios abundantes realizados para determinar el nivel de retención de metales pesados en el proceso, se puede establecer la tabla 5.2 con los resultados de los estudios de M. Von Seebach y de Roth:

Tabla 5.2.- Porcentaje de Retención de Metales Pesados en el Clínker y Polvo de Clínker

Metales	Von Seebach	Roth
Antimonio	$\geq 99,79 \pm 0,08$	99,89
Arsénico	$\geq 99,89 \pm 0,29$	99,91
Bario	$99,88 \pm 0,29$	99,97
Berilio	$\geq 99,87 \pm 1,33$	99,99
Cadmio	$\geq 99,56 \pm 0,44$	99,88
Cinc	$99,79 \pm 0,26$	99,97
Cromo	$99,86 \pm 0,40$	99,97
Mercurio	$\geq 61,3 \pm 32,5$	88,39
Níquel	$\geq 99,96 \pm 0,01$	99,93
Plata	$\geq 99,84 \pm 0,18$	99,96
Plomo	$99,85 \pm 0,20$	99,91
Selenio	$\geq 95,40 \pm 1,78$	92,56
Talio	$90,12 \pm 10,71$	99,80
Vanadio	$\geq 99,99 \pm 0,00$	88,37

También se han realizado en distintas plantas análisis rigurosos de las emisiones por la chimenea de las cementeras cuando utilizan diferentes combustibles alternativos.

Cuando se utilizaron combustibles líquidos alternativos, formados por residuos orgánicos, se realizaron una serie de análisis en la chimenea de una planta con hornos de vía seca y se contrastaron los resultados en tres laboratorios diferentes, los tres de reconocido prestigio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5.3.- Emisiones por la chimenea utilizando como combustible alternativo líquidos orgánicos con una sustitución del 20 %

Elementos	Valor medio	Desviación estándar
SO ₂ [mgr/m ³]	5,2 / 10,45	5,5 / 2,52
CO [mgr/m ³]	289,15	57,26
NO _x [mgr/m ³]	1.173,04	107,19
HCT [mgr/m ³]	13,39	0,18
CO ₂ [% seco]	19,38	0,15
O ₂ [% seco]	9,27	0,17
H ₂ O [% real]	15,09	0,56
Partículas [mgr/Nm ³]	69,7	2,49
IH [mgr/Nm ³]	1,13	0,26
FH [mgr/Nm ³]	< 0,02	0
As [mgr/Nm ³]	0,005	0,001
Cd [mgr/Nm ³]	< 0,006	0
Cu [mgr/Nm ³]	< 0,02	0
Cr [mgr/Nm ³]	< 0,02	0
Mn [mgr/Nm ³]	0,03	0,03
Ni [mgr/Nm ³]	< 0,002	0
Pb [mgr/Nm ³]	0,027	0,005
Hg [mgr/Nm ³]	< 0,1	0
Tl [mgr/Nm ³]	0,021	0,005
Sb [mgr/Nm ³]	< 0,002	0
Co [mgr/Nm ³]	< 0,002	0
V [mgr/Nm ³]	< 0,12	0
Sn [mgr/Nm ³]	< 0,002	0
Dioxinas / furanos [ngr-TEQ/Nm ³]	0,0182	0,029

En otras plantas se realizaron pruebas con otros combustibles de sustitución, como neumáticos, plásticos procedentes de residuos eléctricos y electrónicos, plásticos procedentes de residuos municipales, plásticos procedentes de residuos de fragmentación de vehículos al final de su vida útil y harinas de carne y hueso. Los resultados de estas pruebas se muestran en la siguiente tabla 5.4, comparando los resultados con los combustibles tradicionales y los obtenidos sustituyendo unos porcentajes entre el 8 % y el 24 % de esos combustibles por el residuo especificado en cada caso.

También se analizaron en estos casos los metales pesados en el clínker, para ver su incidencia en la calidad del producto. Los resultados se exponen en la tabla 5.5.

Tabla 5.4.- Comparación de resultados de emisión en chimenea para distintos residuos

[mgr/Nm ³]	NEUMÁTICOS		PLÁSTICOS REEE		PLÁSTICOS RM		PLÁSTICOS RFV FV	HARINAS CARNE
	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	CON
% Sustitución	20		16		16		8	24
Partículas	30	40	18	28	32	30	32	40,6
HCl	< 3	4	< 1,5	< 1,5	< 4	< 1,5	< 6	< 6,3
HF	0,50	0,80	0,16	0,41	< 0,2	0,4	0,6	
SO ₂	429	590	82	93	76	100	580	< 5
NO _x [ppm]	643	735	317	326	200	350	200	375
Cd + Hg	0,029	0,089	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,003	0,065
Ni + As	0,020	0,014	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,08	< 0,008	0,011
Pb+Cr+Cu+Mn+Zn	0,15	0,20	0,09	0,23	< 0,28	< 0,38	< 0,05	0,044
Dioxinas [gr/m ³]	0,011	0,003	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,001	
VOC's			4,7	2,2	16	2,4	2	35

Tabla 5.5.- Comparación de resultados del contenido en metales pesados en el clínker para distintos residuos

NEUMÁTICOS			PLÁSTICOS REEE			PLÁSTICOS RM		HARINAS CARNE	
[ppm]	CON	SIN	[ppm]	CON	SIN	CON	SIN	[ppm]	CON
% Sustitución	20			16		16			24
Hg	< 0,2	< 0,2	Hg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	Cl	200
As	8,8	11	Cl	280	170	0,01	0,01	Zn	250
Cd	< 1	< 1	Cd	< 1	< 1	5,6	5,2	Ni	42
Zn	190	180	Pb	158	84	70	73	Cr	58
Pb	84	80	Ni	62	61	54	64	Cu	25
Ni	82	76	Sb	56	< 0,5	0,9	0,8	P	220
Mn	680	410	Cr	37	57	23	38	V	250
Cr	57	55	Cu	214	19	214	30		
Cu	27	14	Sn	25	3,9	1,9	1,9		

La conclusión es que ni el producto ni las emisiones se ven perjudicadas por la utilización de estos residuos como combustibles de sustitución.

De hecho la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) americana ha realizado estudios para ver la idoneidad del proceso cementero en la gestión de determinados residuos, calculando coeficientes de la eficiencia de destrucción para determinados compuestos en distintas cementeras, cuyos resultados se exponen en la tabla siguiente:

Tabla 5.6.- Eficiencia de la destrucción para determinados compuestos en hornos de cementeras

Compuestos	% DRE
Alifáticos clorados	> 99,990
Aromáticos clorados	> 99,989
PCB's	> 99,986 – 99,99998
Cloruro de metileno	> 99,85 – 99,999
Tricloroetileno	> 99,997 – 99,9998
Hidrocarburos clorados	> 99,988
Clorofenoles	> 99,99999
Freon 113	> 99,999 – 99,99986
1,1,1-tricloro etano	> 99,60 - 99,999
Tetracloruro de carbono	> 99,996
1,3,5-trimetil benceno	> 99,95
Xileno	> 99,99
Metil-etil-cetona	> 99,96 – 99,999
Tolueno	> 99,95 – 99,998
Tetracloroetileno	> 99,997

La Organización Holandesa para la Investigación de Ciencias Aplicadas TNO ha desarrollado una metodología denominada “Potencial de Recuperación Energética y Material del Residuo” con el fin de evaluar si un determinado residuo era adecuado para valorizar en hornos de cementera.

Esta metodología consiste en un árbol de decisión en que el primer paso consiste en la revisión de la conformidad con permisos, pólizas de seguros, aspectos medioambientales y de calidad del producto estándar, con objeto de determinar si es aceptable o no. Si lo es, se calcula la fracción mineral aportada (M) y a continuación el término de energía (E). Si la suma E+M es superior o igual a 1, el residuo se considera valorizado en el horno de la cementera, en cambio si es menor, se considera una eliminación del residuo.

6. PLATAFORMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS COMO COMBUSTIBLES

El objetivo principal de las plantas cementeras es el de fabricar cemento con la mayor calidad posible y al menor coste, no el de ser gestor de residuos. Sin embargo dentro de la estrategia comentada de reducción de costes y prestar un servicio a la comunidad, surge la posibilidad de convertirse en gestor de residuos, incluidos algunos residuos peligrosos, razón por la que será necesario solicitar las autorizaciones indicadas en el capítulo 9.2.

Ahora bien, parece recomendable que se dejen las tareas de captación, recogida, identificación, clasificación y preparación de los residuos con destino a los hornos de clínker a los expertos en gestión de residuos, con lo cual surge una figura intermedia que es la de las plantas de acondicionamiento de residuos que tienen por objetivos:

- ❑ Gestionar adecuadamente una serie de residuos.
- ❑ Recolección, identificación y almacenamiento de los residuos aptos para ser tratados en las cementeras.
- ❑ Elaboración de una mezcla de residuos susceptible de utilizarse como combustible alternativo, con un poder calorífico suficiente para ser utilizado como sustituto de combustibles tradicionales, de características uniformes y constantes a lo largo del tiempo.
- ❑ Elaboración de partidas personalizadas para cada horno, de acuerdo con sus características concretas, la depuración de gases disponible y autorización con que cuente la cementera.

De esta forma se garantiza que los flujos de residuos acondicionados que llegan a la cementera son más uniformes y con las especificaciones de aceptación adecuadas, con lo que se facilita y simplifica el manejo y la valorización del residuo en la planta.

Hay que hacer notar que los combustibles de sustitución preparados en este tipo de instalaciones no son combustibles normalizados genéricamente, sino que se trata de productos especialmente preparados para ser valorizados en una instalación de gestión de residuos debidamente autorizada, que en este caso es una cementera. Es decir, que estas plataformas funcionan como meros **acondicionadores de residuos** que van a ser valorizados en las instalaciones de la cementera.

Un diagrama de flujo de cómo es el proceso descrito para este modelo de plataforma se puede ver en la figura 6.1.

Una planta de estas características tiene una serie de puntos fuertes para los distintos agentes implicados en el proceso, como son:

- ❑ **Para el productor de residuos**
 - Proporciona un destino adecuado para valorizar residuos
 - Profesionalidad y economía en la gestión de los residuos

❑ **Para la industria cementera**

- Ahorro en la factura energética
- Obtención de un combustible de sustitución homogéneo (con la misma composición siempre) específicamente preparado para sus instalaciones
- Gestión de residuos externa especializada
- Facilita la gestión administrativa de los residuos

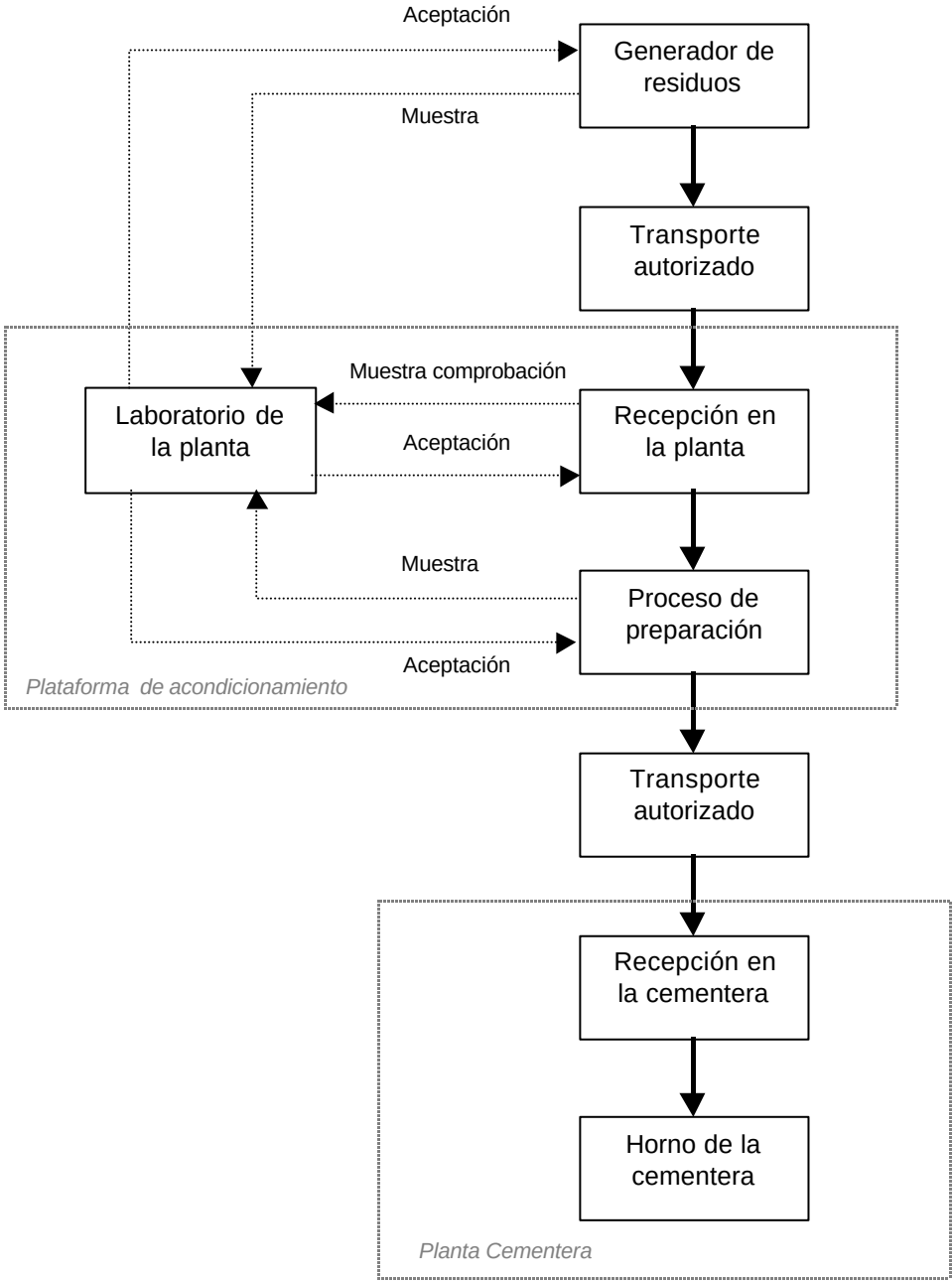
❑ **Para las autoridades**

- Contar con un instrumento para valorizar residuos con inversiones reducidas
- Ayuda a cumplir con principios de proximidad y autosuficiencia
- Facilita el control y la inspección sobre la valorización de residuos

❑ **Para el Medio Ambiente**

- Gestión adecuada para determinadas corrientes de residuos
- Ahorro en combustibles fósiles tradicionales
- Instalaciones eficientes en la gestión de residuos, mejorando emisiones a la atmósfera sin producir residuos sólidos o líquidos
- Mejora del balance ambiental global, disminuyendo el transporte y las emisiones globales a la atmósfera

Figura 6.1.-Diagrama de flujo del funcionamiento de una plataforma de líquidos



Como puntos débiles se pueden destacar los siguientes:

- ❑ No evita que la cementera tenga que solicitar todas las autorizaciones de gestor de residuos y realizar los controles de aceptación y emisiones inherentes a la coíncineración de residuos.
- ❑ Aunque evita la manipulación a gran escala de residuos, no evita que en la planta cementera se maneje el residuo suministrado por la plataforma de acondicionamiento de residuos, tanto para su almacenamiento como para enviarlo al horno.
- ❑ Requiere continuar la formación de los empleados para evitar riesgos para la salud.
- ❑ Tampoco evita en su totalidad la posible oposición pública a las instalaciones de gestión de residuos.

Cuando una planta de fabricación de cemento pone en marcha un programa de sustitución de combustibles tradicionales por combustibles alternativos procedentes de residuos, por un lado pretende maximizar el uso de residuos combustibles y al mismo tiempo minimizar cualquier impacto sobre el proceso y el medio ambiente. Sin embargo esto no significa que se puedan quemar tranquilamente residuos combustibles en el horno en cualquier proporción. Es necesario realizar un detallado balance de materiales y un examen minucioso de la instalación para poder determinar el porcentaje de suministro y las especificaciones del combustible.

Estos estudios los pueden realizar los técnicos de la planta ayudados por los de las plataformas de acondicionamiento de residuos como combustibles, de forma que se establezca la especificación de combustible de sustitución a suministrar a la planta y por lo tanto poder proceder a su preparación. Algunos factores que limitan la cantidad y tipo de residuos combustibles pueden ser:

- ❑ El sistema de alimentación del crudo (húmedo, semi-seco, seco, con precalentador y precalcinador, etc.).
- ❑ Composición del crudo.
- ❑ Porcentaje de polvo del horno que se recicla.
- ❑ Sistema de depuración de gases.
- ❑ Tipos de productos finales fabricados.

Las plataformas de acondicionamiento de residuos son las responsables de las relaciones con los productores de residuos, de su admisión, control y acondicionamiento, siendo necesario realizar una serie de análisis y controles en varios niveles.

En el nivel primero se debe caracterizar el residuo antes de su recepción, con el objeto de poder determinar si es un residuo admisible para los fines a que se destinan. En el segundo nivel, se realizan unos análisis de comprobación de que el residuo que llega a la plataforma de acondicionamiento de residuos como combustible de sustitución es el mismo que previamente se había aceptado. El tercer nivel es el que se utiliza para comprobar que la mezcla preparada para una determinada instalación se corresponde con la especificación del combustible de sustitución de dicha cementera.

El plan de análisis de los residuos, en esos tres niveles, que se realiza en las plataformas de acondicionamiento es el indicado en la tabla 6.1.

Tabla 6.1.- Plan de análisis de residuos en las plantas de preparación de combustibles de sustitución

Parámetro	Nivel I	Nivel II	Nivel III
	Solicitud generador	Recepción residuo	Combustible preparado
Poder calorífico	X	X	X
Cenizas	X	X	X
Azufre	X		X
Flúor	X	X	X
Cloro	X	X	X
Bromo	X	X	X
Punto de congelación	X		X
pH	X		X
Viscosidad	X		X
Metales:			
Plomo	X	(Depende del análisis del nivel I)	X
Cinc	X		X
Hierro	X		X
Titanio	X		X
Otros metales volátiles	X		X
PCB's	X	X	X
Orgánicos volátiles y semivolátiles *	X		X
Huella dactilar **		X	
Radiactividad	X	X	X

*) Estos análisis son caros y se realizan si se aprecia que puede haber problemas de seguridad

**) El análisis “huella dactilar” puede ser una superposición computerizada del cromatograma de gases realizado a la muestra del camión a la llegada a la planta con el de la muestra enviada para su caracterización. Solamente sería necesaria una nueva cromatografía de gases para identificar los nuevos picos (si los hubiera). Se puede realizar cuando haya un histórico suficientemente amplio de analíticas.

De todas formas, el responsable último del combustible de sustitución que se utiliza en una cementera autorizada es el propio cementero, por lo que éste puede preparar su propio plan de control del combustible que le envía la plataforma de acondicionamiento. Pero, dado que éste le llega certificado para su instalación, puede limitarse a realizar análisis de determinadas partidas o solamente de determinados parámetros, con lo que abarata el coste de esta partida.

Algunas cementeras en Europa tienen sus propios laboratorios y realizan análisis de comprobación en ellos, mientras que otras lo que hacen es tomar muestras ciegas (sin que se pueda identificar externamente la partida que se va a comprobar) y las envían a analizar a la propia planta de preparación de combustibles o a un laboratorio externo, comparando posteriormente los resultados con los análisis facilitados originalmente por la planta de preparación de combustibles.

Los generadores de residuos, clientes típicos de las plantas de preparación de combustibles de sustitución son:

- ❑ Garajes de automóviles y desguaces de vehículos al final de su vida útil:
 - Residuos oleosos
 - Anticongelantes
 - Fluidos de transmisión
 - Neumáticos
- ❑ Refinerías:
 - Fondos de tanques
 - Catalizadores agotados
 - Sólidos de filtros API
 - Sólidos de catalizadores DAF
 - Productos fuera de especificación
 - Limpieza de balsas
- ❑ Industria del aluminio:
 - Baños de cubas electrolíticas agotados
- ❑ Industria de gestión de residuos:
 - Sólidos de bidones
 - Fondos de tanques
 - Suelos contaminados
 - Fondos de destilación
- ❑ Otros:
 - Residuos de aceites lubricantes
 - Lodos de aguas residuales

En cambio, entre los residuos que se excluye su recepción en estas plantas están:

- ❑ Residuos con PCB/PCT > 50 ppm
- ❑ Toda sustancia que pueda producir olores nauseabundos
- ❑ Productos infecciosos
- ❑ Productos explosivos
- ❑ Productos lacrimógenos
- ❑ Productos radioactivos o que emitan radiación ionizante
- ❑ Productos corrosivos
- ❑ Productos que puedan reaccionar entre ellos o al quemarse, originando mezclas explosivas o vapores tóxicos
- ❑ Todo producto que tenga una prohibición, legal o reglamentaria, para su combustión en hornos de cementeras
- ❑ Productos que emitan gases tóxicos al entrar en contacto con el aire, con el agua o con ácidos
- ❑ Residuos de plaguicidas organohalogenados

En la cementera, de esta forma, solamente es necesario disponer de unos tanques para almacenar combustibles de sustitución líquidos y unos silos o contenedores para los sólidos, mientras que si la cementera recibiera directamente los residuos, necesitaría una mayor cantidad de tanques y almacenes para recibir los residuos en diferentes cantidades y presentaciones (a granel, en bidones, en contenedores,...) y para poder realizar las mezclas en las proporciones adecuadas para las características de la planta, equipos de análisis de laboratorio. Todo esto, no solamente es más caro, sino que además requiere de personal especializado en residuos, comerciales, químico y técnicos de laboratorio, etc., aumenta los riesgos y las complicaciones a la hora de operar la planta. No obstante, dado que la cementera es el gestor de residuos autorizado para su valorización, puede perfectamente realizar estas tareas o simplemente utilizar a la plataforma de acondicionamiento de residuos como un suministrador/productor más al que se le presta un servicio.

6.1. Plantas de preparación de Combustible Derivado de Residuos (CDR).

Dentro de las plataformas de acondicionamiento de residuos para ser utilizados como combustibles están las que obtienen un combustible derivado de residuos, comúnmente conocido como CDR (o RDF = residue derived fuel), que se obtiene normalmente a partir de una corriente de residuos de origen municipal. Una vez que se han separado los materiales reciclables y no combustibles de dicha corriente para su posterior aprovechamiento o eliminación, la fracción restante se procesa con el fin de ser utilizada más tarde como combustible, permitiendo así la recuperación de energía.

La utilización de combustible derivado de residuos, y en particular el llamado CDR crudo o bruto (cCDR), presenta una serie de ventajas con respecto a la combustión del residuo sin procesamiento previo:

- ✓ El cCDR presenta un poder calorífico mayor que los residuos sin procesar.

- ✓ El cCDR contiene menor proporción de elementos no combustibles que los residuos sin procesar, con lo que se reduce la proporción de cenizas de combustión.
- ✓ El cCDR permite procesos de combustión más homogéneos.
- ✓ La eficiencia de combustión es mayor cuando se utiliza cCDR, ya que las características del proceso pueden ajustarse a las especificaciones del combustible.

El CDR se produce mediante separación mecánica de las fracciones combustible y no combustible que componen la corriente de residuos sólidos. A continuación, la fracción combustible se somete a un proceso de trituración y peletización (transformación del residuo en *pellets*, unidades compactadas de distinta geometría y tamaño). Estos *pellets* son más tarde utilizados como elemento combustible (de mayor homogeneidad), permitiendo así garantizar procesos de combustión más uniformes y eficaces.

Existen dos procesos diferenciados para la fabricación del combustible derivado de residuos, a través de los cuáles se pueden obtener dos tipos de producto:

- ✓ El CDR densificado o compactado (dCDR). Se fabrica en forma de *pellets*, normalmente de tamaño y forma similares a los del corcho utilizado para las botellas de vino. Antes de la etapa de peletización el residuo se somete a un proceso de secado por el que se mejoran sus condiciones de estabilidad, así como la facilidad para ser transportado, manejado y almacenado. Es frecuente su empleo en sistemas de combustión convencionales de parrillas y/o en dispositivos de lecho fluidizado.
- ✓ El CDR crudo o bruto (cCDR). Se obtiene en forma de material grueso triturado de aspecto lanoso. Requiere un menor procesamiento de los residuos y, dado que éstos no se someten a un proceso de secado para eliminar la humedad, no puede ser almacenado durante largos periodos de tiempo. Con frecuencia se emplea en procesos de combustión in-situ, en centrales térmicas y/o sistemas de calefacción. Resulta más frecuente su empleo en sistemas de combustión con hornos de lecho fluidizado.

6.1.1. El proceso de fabricación.

Las particularidades del proceso de fabricación del CDR pueden variar de unas plantas a otras. De manera general la Figura 6.2 muestra un esquema básico del proceso, que engloba 5 etapas si se trata de dCDR. Para el caso de cCDR, y como se observa en la Figura 6.3, el proceso es más simple y se omiten entre 1 y 2 de esas etapas.

El proceso de fabricación de CDR engloba 5 etapas:

- ✓ Recepción y almacenamiento del residuo.
- ✓ Separación y acondicionamiento del residuo.
- ✓ Refinado del combustible.
- ✓ Preparación del combustible.
- ✓ Almacenamiento del combustible y control de calidad.

Figura 6.2.- Etapas del proceso de producción de Combustible Derivado de Residuos

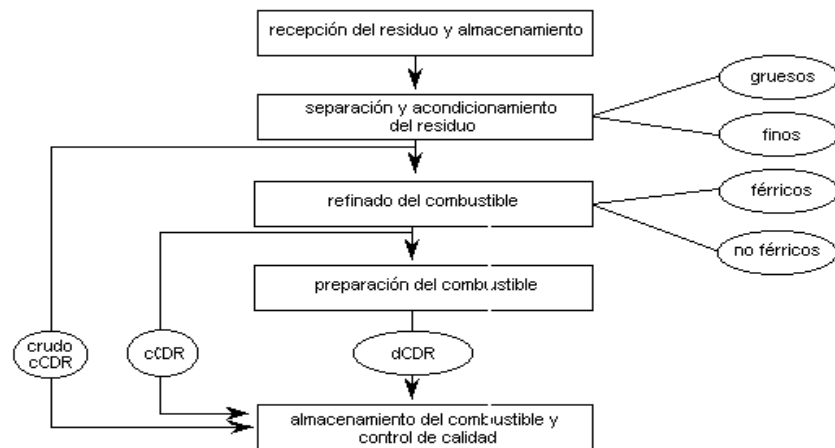
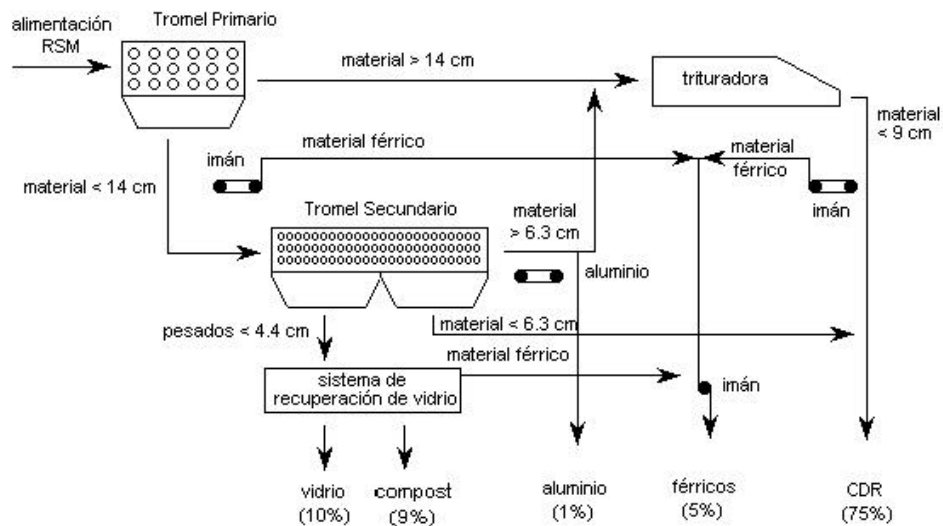


Figura 6.3.- Sistema Automático de Producción de cCDR.



Recepción y almacenamiento del residuo.

Una vez que el residuo ha sido recogido por vehículos específicos, se transporta a la planta para su posterior tratamiento.

Al llegar a la instalación los vehículos depositan el residuo en una tolva, foso o tanque, dónde se hace una primera separación de materiales no deseados, generalmente objetos voluminosos.

La etapa de almacenamiento del residuo a corto plazo, aunque temporal, actúa como elemento regulador del proceso de producción de CDR. En función de las necesidades del proceso de fabricación, permite dosificar la alimentación del residuo con el fin de que se produzca un aporte del mismo homogéneo y constante en el tiempo.

Separación y acondicionamiento del residuo.

Durante esta etapa se rompen las bolsas o recipientes en los que pueda llegar contenido el residuo a la planta, a la vez que se separa en dos fracciones, combustible y no combustible.

Con la ayuda de dispositivos y aparatos diseñados para tal fin, las bolsas se pinchan y rasgan liberando los residuos que contienen. La experiencia ha demostrado que los aparatos que no implican la trituración de la bolsa ofrecen mayores ventajas, ya que no mezclan el residuo en exceso evitando así etapas de separación más laboriosas.

El acondicionamiento se lleva a cabo normalmente en el interior de un dispositivo de tambor o sistema de tromel perforado rotatorio, el cuál tiene tres funciones:

- ✓ completar el proceso de vaciado de las bolsas,
- ✓ eliminar las fracciones finas y
- ✓ separar los materiales gruesos (> 500 mm) de la fracción combustible.

La fracción de finos es la que contiene mayor proporción de material orgánico biodegradable, así como cenizas, polvo y trozos de vidrio de pequeño tamaño. La fracción de materiales gruesos está fundamentalmente constituida por trozos de papel, cartón y plástico. Una vez separadas estas dos fracciones, la fracción intermedia restante es la que sirve de base para la formulación del crudo de cCDR (*cCDR del tipo A*), aunque todavía puede ir acompañada de cierta proporción de metales y otros materiales no combustibles.

Refinado del combustible.

La etapa del refinado del combustible implica la reducción de tamaño, clasificación y separación del mismo.

La reducción de tamaño se lleva a cabo mediante el empleo de trituradoras cortantes (para residuos no seleccionados y materiales reciclados como aluminio y plásticos), cubas trituradoras (para residuos de jardín) y molinos de martillo (para residuos no

seleccionados). Cada tipo de trituradora tiene unas propiedades características que la hacen idónea para una aplicación específica. Estas propiedades pueden ser utilizadas para conseguir diferentes objetivos de reducción de tamaño según las necesidades.

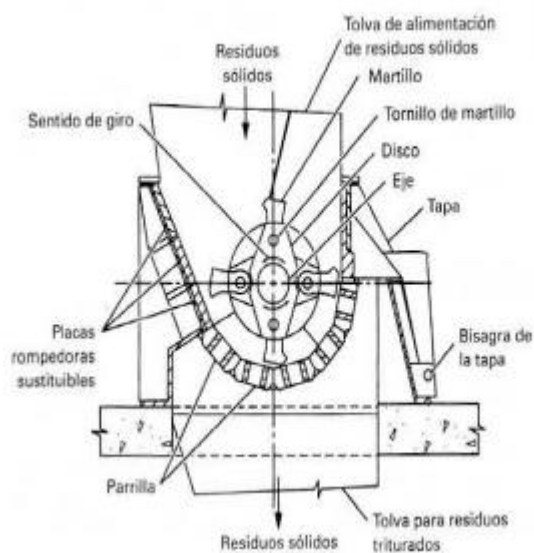
Figura 6.4.- Dispositivos de Trituración: (a) trituradora cortante, (b) cuba trituradora, (c) molino de martillos.



(a) Trituradora cortante



(b) Cuba trituradora

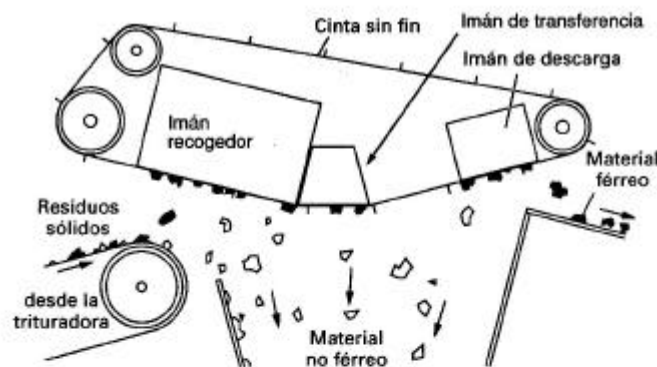


(c) Molino de martillos

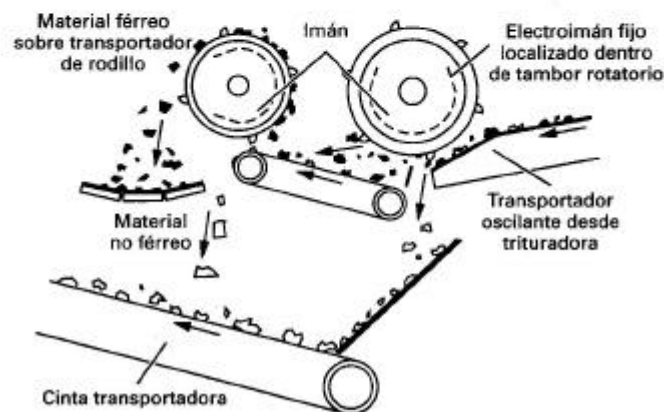
La clasificación se basa en un proceso de separación por diferencia de densidades, mediante el cual se separan los materiales pesados (metales, plásticos densos, etc.) de los ligeros (papel, plásticos ligeros, etc.). Son éstos últimos los que van a pasar a formar parte del llamado dCDR. Los dos métodos más utilizados son por un lado la clasificación neumática, basada en el comportamiento de un material en el seno de una corriente de aire y, por otro, la separación balística, en la que los materiales se separan atendiendo a las distintas trayectorias que describen en su movimiento de caída al llegar al final de una cinta transportadora.

Las técnicas de separación magnética y por campo eléctrico utilizan las propiedades de permeabilidad magnética y carga eléctrica de ciertos materiales respectivamente (metales férricos, aluminio, etc.), para separarlos de la fracción pesada. Mediante separación magnética los metales férricos son separados de aquellos no férricos. Las técnicas electrostáticas permiten separar plásticos y papeles basándose en sus distintas características de carga superficial. Por último, la separación por corriente de Foucault emplea campos magnéticos variables para inducir corrientes Foucault en metales no férricos, lo que permite la separación de materiales como el aluminio.

Figura 6.5.- Sistemas de separación magnética: (a) separador magnético tipo cinta y (b) separador magnético de dos tambores.



(a) separador tipo cinta



(b) separador de dos tambores

La fracción ligera junto con la que resulta de la separación de la fracción pesada pueden ser empleadas para la fabricación de un cCDR más refinado (cCDR del tipo B).

Preparación del combustible.

Esta etapa implica la conversión en pellets de la fracción rica en material combustible, mediante un proceso de secado, re-trituración y peletización. Constituye la principal diferencia entre los procesos de fabricación de cCDR y dCDR.

El secado reduce el contenido en humedad del residuo de un 30% hasta un 12% aproximadamente, con el fin de mejorar sus condiciones de almacenamiento y posterior combustión. Los dispositivos de secado suelen ser de tipo neumático y estar comunicados con sistemas que operan con gases calientes de combustión procedentes de quemadores de gas natural.

Una vez que la fracción combustible se encuentra seca, los residuos inerte y orgánico pueden ser fácilmente separados mediante cribado, reduciendo así el contenido en cenizas del producto. La mayor parte del cloro, metales y silicatos quedan retenidos en el residuo inerte. De esta forma puede producirse un dCDR con un contenido en ceniza alrededor del 10% en peso y niveles de cloro próximos al 0.5%. En ausencia de contaminantes inertes como silicatos, el poder calorífico del material aumenta significativamente.

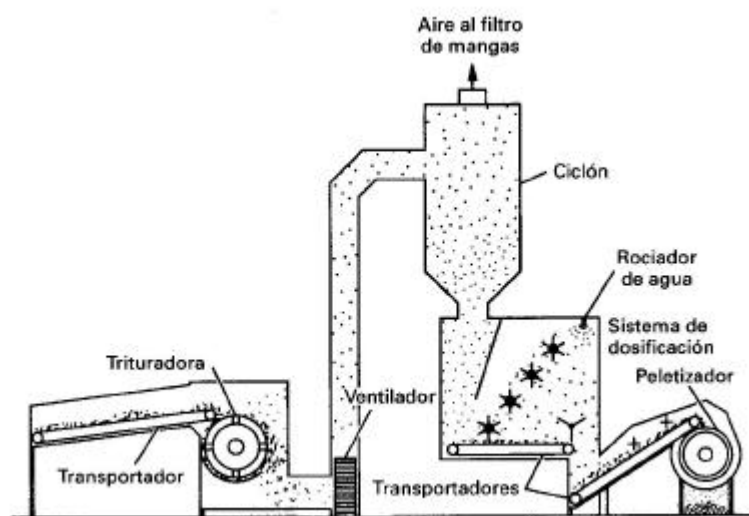
El dCDR se somete a un proceso de peletización que implica la formación de pellets gruesos ($7.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}^2$) y/o finos (cilíndricos; $1,25 - 2 \text{ cm}$ de diámetro $\times$ $1,25 - 2,5 \text{ cm}$ de longitud), que posteriormente serán quemados en los distintos sistemas de incineración. Las máquinas empleadas para la producción de pellets, ya sean finos o gruesos, funcionan bajo un principio similar. El CDR triturado se hace pasar a través de unas matrices perforadas con las dimensiones del pellet, donde una rueda extrusora giratoria excéntrica como muestra la Figura 6.6 comprime el producto y lo obliga a pasar por los orificios de la matriz.

Figura 6.6.- Sección de los moldes de extrusión utilizados en una prensa de peletización del tipo vertical.



Un sistema completo de peletización requiere una trituradora, un transportador y un sistema para controlar la humedad (véase Figura 6.7) que favorece la compactación. Los pellets se aglomeran y se calientan a causa de la fricción mientras se extruyen. Dado que la naturaleza del pellet puede verse dañada por la presencia de fracciones metálicas, es común el empleo de procesos de extracción magnética, por corrientes de Foucault o incluso separación balística antes de la etapa de peletización.

Figura 6.7.- Esquema de sistema completo de peletización.



Una vez obtenido el pellet se procede a su almacenamiento, aunque antes de ser almacenados es preciso una etapa de enfriamiento para eliminar el calor producido durante la compresión, de lo contrario, a causa de la humedad puede llegar a fermentar y ser origen de un incendio en la zona de almacenamiento. Cabe destacar que así como los pellets de dCDR pueden ser almacenados durante largos períodos de tiempo, en el caso del cCDR no debe transcurrir mucho tiempo desde que se obtienen hasta que son utilizados como combustible.

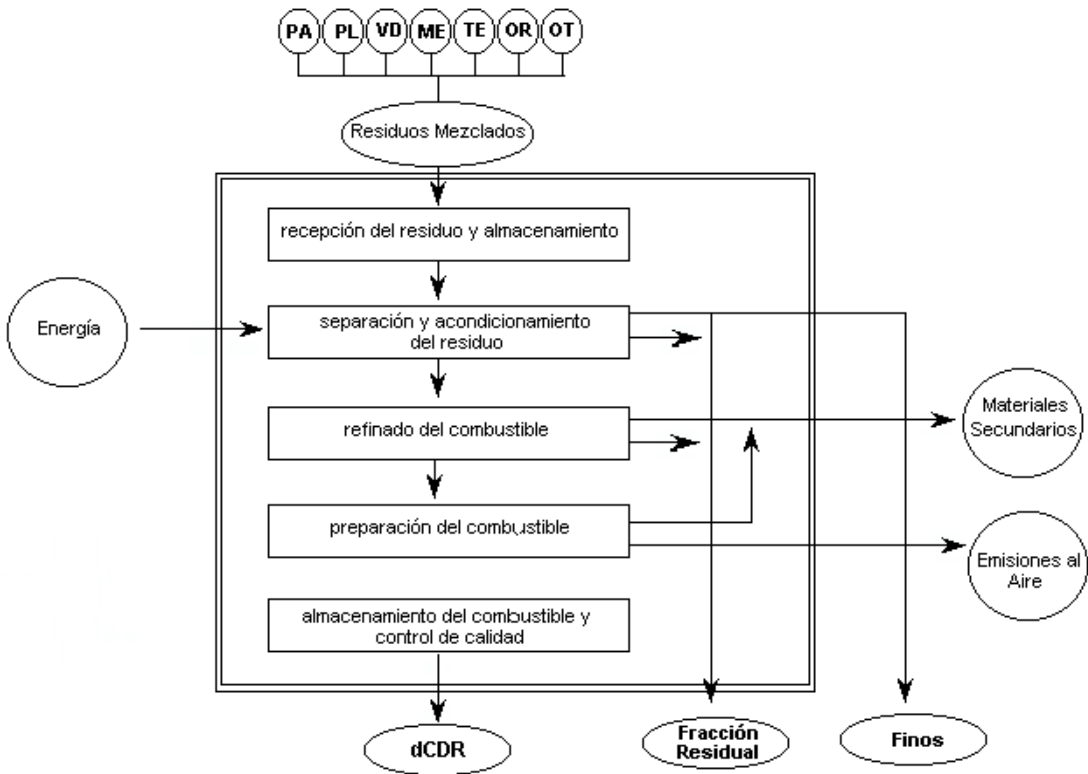
6.1.2. Balance de masas y energía.

La materia prima del proceso de fabricación de CDR lo constituyen normalmente residuos de origen municipal, ya sean recogidos selectivamente o mezclados. La introducción de sistemas de recogida selectiva puede influir en la composición del CDR.

La Figura 6.8 muestra un balance de masas para el proceso de obtención de CDR. Agrupando las salidas, el total de éstas corresponderá a la suma de CDR, materiales recuperados, fracción fina biodegradable, fracción residual y emisiones al aire procedentes de todo el proceso de obtención del combustible. Este balance de masas corresponde a una composición típica de residuos de entrada y muestra que, como valor medio, alrededor del 27% en peso de las entradas son transformados en pellets de dCDR secos.

Para estimar el balance de masas de cualquier corriente de residuos es imprescindible conocer su composición, así como la distribución de cada material en el seno de la corriente que llega a la planta. Sólo cuando se dispone de esta información resulta factible determinar tanto la cantidad como la composición de los elementos de salida (CDR, materiales recuperados, fracción residual, etc.).

Figura 6.8.- Balance de masa del proceso de fabricación del dCDR.



<u>ENTRADAS</u>		<i>SALIDAS (en % en peso respecto entradas)</i>	
PC	papel y cartón	dCDR	26.9 %
PL	plástico	Materiales Secundarios:	
VD	vidrio	férricos	5.8 %
ME	metales	no férricos	0.6 %
TE	textiles	Finos	32.4 %
OR	orgánicos	Fracción Residual	
OT	otros	crudo residual	2.0 %
		fracción > 500 mm	2.1 %
		rechazo pesado	22.1 %
		rechazo balístico	0.2 %
		otros	1.9 %
		Emisiones al aire	
		vapor de agua	6.0 %

Las diferentes operaciones del proceso de fabricación del CDR suponen un consumo de energía eléctrica considerable, en particular las etapas de trituración primaria (12,5 kW/h por tonelada), trituración secundaria (8,5 kW/h por tonelada) y peletización (9,5 kW/h por tonelada). El consumo total de energía eléctrica para el proceso se ha estimado en 55,5 kW/h por tonelada. Asimismo, la etapa de secado previo a la de peletización presenta una demanda de 400 MJ de energía por tonelada (95,52 Mcal/t).

El proceso de producción de cCDR no implica etapas de elevado consumo energético (no existe etapa de secado). Como consecuencia de ello, el consumo de energía es considerablemente menor y ha sido estimado en 6 kW/h por tonelada de residuo entrante en la planta para el cCDR tipo A y en 21,5 kW/h por tonelada de residuo entrante para el cCDR tipo B.

6.2. Relación de plataformas de acondicionamiento de residuos como combustibles

El número de plataformas de acondicionamiento de residuos para ser usados como combustible alternativo en la Unión Europea se ve enmascarada por la relación de Centros de Transferencia de Residuos, donde se procede a preparar combustibles alternativos con destino a distintas cementeras como una operación más de gestión de residuos.

No obstante existen algunas plantas específicas de preparación de blending en Bélgica y Reino Unido, otra en proceso de construcción en España y algunas que por determinadas razones están paradas o han desaparecido (en Reino Unido y España).

Tabla 6.2.- Plataformas de acondicionamiento de residuos en operación

País	Planta
Bélgica	Scoribel
Reino Unido	Safety Kleen

En Francia también existe alguna plataforma de acondicionamiento de residuos con destino a cementeras, pero resulta muy difícil separar esta actividad de la general de gestión de residuos con destino a otros gestores finales de los mismos. Igualmente la experiencia de las cementeras francesas como gestoras de residuos valorizables energéticamente es tan amplia que les permite recibir directamente los residuos desde los centros de transferencia de residuos, entre los que se incluyen los centros existentes en España, que han visto en las cementeras francesas con autorización una vía adecuada para gestionar los residuos que de otra forma hubieran representado un problema, dada la carencia de infraestructuras existente en España para valorizar determinados residuos.

En cuanto a las plantas de preparación de CDR, a continuación se indican algunas de las plantas que operan en la Unión Europea.

Tabla 6.3.- Relación de plantas de preparación de CDR en la Unión Europea

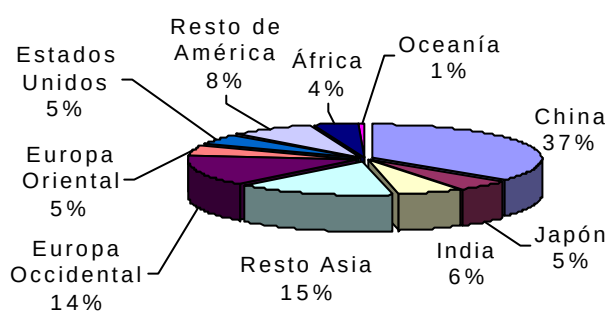
País	Número de Plantas	Localización
Alemania	1 (dCDR)	Herten
España	1 (cCDR)	Madrid
Francia	1 (dCDR)	Laval, Mayenne
Italia	11 (5 dCDR)	Roma (2)
		Perugia
		Milán
		Modena
		Novaro
		Pieve di Corano
		Ceresara
		Tolmezzo
		Udine
		St. Georgio
Países Bajos	1 (dCDR)	Amsterdam
Reino Unido	4 (dCDR)	Byker, Newcastle
		Polmadie, Glasgow
		Hastings
		Isle of Wight

7. SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA

7.1. Cementeras en Europa

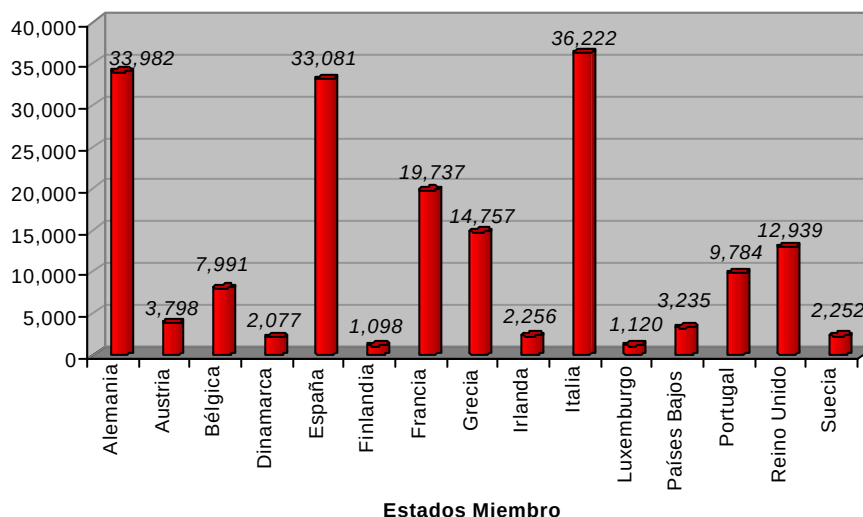
La producción mundial de cemento en 1999 sobrepasó los 1.600 millones de toneladas, siendo Asia el mayor productor (China solamente produce una tercera parte del total mundial), seguido de Europa y América (excluyendo Estados Unidos). El Gráfico 7.1. muestra la distribución de esa producción.

Gráfico 7.1.- Producción de Cemento en el Mundo en 1999



En los países que componen la Unión Europea existen en la actualidad 231 plantas dedicadas a la producción de cemento (instalaciones exclusivas de molienda de clínker no incluidas), que producen aproximadamente 185 millones de toneladas de cemento al año. Italia, Alemania y España aparecen como los tres mayores productores, con más de 30 millones de toneladas al año cada uno de ellos. El Gráfico 7.2 muestra la distribución de esa producción en el año 1998.

Gráfico 7.2.- Producción de cemento en la Unión Europea (1998, kt).



Del total de instalaciones, tres cuartas partes se encuentran concentradas en cuatro países: Italia (61), Alemania (44), España (36) y Francia (34). La Tabla 7.1. muestra la distribución de plantas cementeras en la Unión Europea.

Tabla 7.1.- Plantas cementeras en la Unión Europea (1998).

País	Número aprox. de plantas cementeras	% aprox. de hornos de vía seca	% aprox. de hornos de vía semiseca	% aprox. de hornos de vía semihúmeda	% aprox. de hornos de vía húmeda
Alemania	44	74 %	10 %	7 %	9 %
Austria	9	74 %	-----	26 %	-----
Bélgica (Valonia)	5	56 %.	-----	-----	44 %
Dinamarca	1	100 %	-----	-----	-----
España	36	84 %	11 %	-----	5 %
Finlandia	3	100 %	-----	-----	-----
Francia	33	57 %	27 %	9 %	7 %
Grecia	8	95 %	-----	-----	5 %
Irlanda	5	80 %	20 %		
Italia	61	55 %	32 %	-----	13 %
Luxemburgo	1	100 %	-----	-----	-----
Países Bajos	1	100 %	-----	-----	-----
Portugal	6	92 %	-----	8 %	-----
Reino Unido	15	34 %	14 %	18 %	34 %
Suecia	3	100 %	-----	-----	-----
Suiza	11	62 %	23 %	15 %	-----

N.D.: Información no disponible.

En las 231 plantas de la Unión Europea (Véase Anexo IV: *Relación de Plantas de Fabricación de Clínker en la Unión Europea*) la tecnología de horno más utilizada es la de vía seca, seguida de los procesos semi-secos/semi-húmedos y, finalmente, los húmedos. En la actualidad, en torno al 78% de la producción de cemento en Europa tiene lugar en hornos de vía seca; otro 16 % se realiza en hornos de vía semi-seca o semi-húmeda; y el 6% restante en hornos de vía húmeda.

Como puede apreciarse la distribución de cementeras a lo largo de la Unión es bastante uniforme, existiendo cementeras en todos los estados miembro. Esto implica que a la hora de su utilización en la gestión de residuos se reduzcan no sólo los costes

de transporte, sino también los riesgos inherentes derivados de esta actividad, contribuyendo así al cumplimiento del llamado “Principio de Proximidad”.

En cuestión de compañías cementeras, las cuatro europeas Holderbank, Lafarge, Heidelberg e Italcementi se encuentran liderando el grupo de los cinco productores de cemento más importantes, junto con la mejicana Cemex. Todas ellas han diversificado su actividad de producción hacia subsectores como el hormigón, los áridos, etc.

7.2. Cementeras con autorización para gestionar residuos

En la Unión Europea existen en la actualidad alrededor de 100 instalaciones de producción de cemento que cuentan con autorización para la gestión de residuos en forma de combustible alternativo durante el proceso de fabricación.

Tabla 7.2.- Plantas con autorización para la gestión de residuos.

País	Número aprox. de plantas que usan comb. alternativos
Alemania	31
Austria	8
Bélgica (Valonia)	5
Dinamarca	-----
España	6*
Finlandia	2
Francia	30
Grecia	3
Irlanda	-----
Italia	5
Luxemburgo	1
Países Bajos	1
Portugal	3
Reino Unido	10
Suecia	3
UNION EUROPEA	108

* En España son 11 las instalaciones que cuentan con autorización para la gestión de residuos, pero en la actualidad sólo 6 están haciendo uso de ella.

En la Tabla 7.2 se muestran el número total de plantas de cada país que cuenta con autorización. La cantidad y tipo de combustible que se utiliza en cada caso varía en gran medida de una instalación a otra y de un país a otro, dependiendo de la naturaleza y cantidades de residuos utilizables como combustible alternativo disponibles en el entorno de cada planta.

7.3. Residuos gestionados en las cementeras europeas

Como ya se mencionó con anterioridad en el capítulo 4, la gestión de residuos en plantas de fabricación de cemento se centra fundamentalmente en la utilización de éstos como combustible alternativo en los hornos de clínker, pues, desde el punto de vista económico, su empleo se ha convertido en una opción adecuada para reducir los costes de fabricación.

No obstante, el empleo de residuos como materia prima alternativa durante el proceso de fabricación de cemento se trata de una alternativa aceptada y practicada por las cementeras europeas. A escala europea, la fracción de residuos incorporados en la formulación del crudo representa 10-15 % del total de materias primas utilizadas, variando de unas plantas a otras y de unos países a otros. Entre los residuos y subproductos más utilizados actualmente se encuentran:

- ❑ cenizas de piritas, alrededor de 1 millón t/año
- ❑ lodos de la industria papelera
- ❑ arenas de fundición, alrededor de 200.000 t/a, y
- ❑ residuos de demolición.

La utilización de los residuos como adición en la formulación del cemento es otra práctica que permite, no sólo reducir la cantidad de materias primas a utilizar sino también, mejorar determinadas propiedades del cemento y con ello su calidad (Véase *Capítulo 3.2*). En la Unión Europea, alrededor del 15 % en peso del cemento que se produce, esto es unos 27 millones de t/a, corresponden a componentes distintos del clínker. Los más utilizados son:

- ❑ escorias de alto horno (7,5 - 10% en peso del total de cemento, 1998),
- ❑ cenizas volantes (3,5 - 5 % en peso del total de cemento, 1998),
- ❑ yeso de desulfuración de gases (1-2 % del total de cemento, 1998).

Pero es la utilización del residuo como combustible alternativo, sustituyendo a los combustibles fósiles tradicionales (carbón, coque de petróleo, fueloil, y gas natural), la opción que presenta mayores ventajas para el productor y por ello la más desarrollada. Se trata de una práctica consolidada en los países europeos más avanzados desde hace más de diez años, destacando por su nivel de sustitución Alemania, Austria, Bélgica, Francia y Suiza.

Actualmente en la Unión Europea alrededor de 100 instalaciones incorporan cerca de 2,8 M t/a de residuos como combustible alternativo durante el proceso de producción, lo que representa un porcentaje de sustitución de combustible tradicional del 13 %.

No obstante, se dan amplias diferencias entre plantas dentro de un mismo país y entre países. Así, mientras en determinadas plantas austríacas, belgas, francesas o alemanas se alcanzan porcentajes de sustitución del 40 - 50%, que elevan la media nacional por encima del 20%, países como España, Italia o Irlanda entre otros, presentan medias nacionales de sustitución por debajo del 5%. La Tabla 7.3 muestra los porcentajes de sustitución de combustible tradicional por alternativo para un grupo de países de la Unión Europea, indicando entre paréntesis el año al que corresponde dicho dato.

Tabla 7.3.- Valores nacionales medios de sustitución de combustible tradicional por alternativo.

País	Valor medio de sustitución de combustible tradicional por alternativo (%)
Alemania	23 % (1999)
Austria	30 % (1999)
Bélgica (Valonia)	32 % (2000)
España	1.2 % (2000) *
Francia	26 % (2000)
Italia	2.2 % (2000)
Portugal	1 % (1998)
Reino Unido	6 % (1998)
Suecia	21 % (2000)

* En el año 1998 el valor era de 0.5 %

En el capítulo 4.2 se expuso la gran variedad de residuos que pueden ser utilizados como combustible alternativo, y son la propia naturaleza de los mismos y las peculiaridades de cada instalación y proceso los que van a determinar cuál se incorpora en cada caso.

En la tabla 7.4, se puede observar como ha evolucionado la utilización de residuos alternativos de sustitución en la Unión Europea entre los años 1994 y 1997, entre los cuales se ha más que triplicado su utilización y se ha duplicado el uso de líquidos alternativos. También se observa una clara tendencia a crecer y es posible que en los próximos años se alcance un valor medio de sustitución para la Unión Europea cercano al 20 %.

Tabla 7.4.- Utilización de residuos alternativos en la U.E. en los años 1994 y 1997, en toneladas/año

Residuos	1994	1997
Neumáticos	310.000	415.000
Líquidos orgánicos y aceites usados	287.000	588.000
Residuos sólidos:		1.500.000
Papel	61.000	
Madera	12.000	
Lodos depuración	2.100	
Total	674.094	2.504.997

Un ejemplo de evolución histórica de aumento de la utilización de residuos industriales como combustibles alternativos puede ser Bélgica, donde en 23 años se ha pasado de un coeficiente de sustitución del 1 % hasta el 32 %:

	<u>1987</u>	<u>1990</u>	<u>1994</u>	<u>1995</u>	<u>1996</u>	<u>1997</u>	<u>1998</u>	<u>1999</u>	<u>2000</u>
Bélgica	3 %	8 %	18 %	19 %	22 %	22 %	22 %	30 %	32 %
Planta de Obourg	4 %	15 %	29 %	28 %	34 %	34 %	36 %	44,5 %	

Además de la relación de residuos más importantes mencionados anteriormente, las cementeras europeas también emplean como combustible alternativo otros como residuos agrícolas, de la industria del caucho, etc. Conviene reseñar de forma particular el caso de los residuos con ligera contaminación radiactiva (cadáveres de animales de experimentación, textiles, etc.). A pesar de que no existen limitaciones de tipo tecnológico, las empresas cementeras no se plantean en ningún caso su utilización, así como tampoco la de aquellos de origen sanitario, hospitalario o de carácter infeccioso.

Los residuos que se utilizan en algunos de los países líderes en la gestión de residuos en Europa son los indicados en la tabla 7.5:

Tabla 7.5.- Residuos utilizados en algunos países de la U.E.

Bélgica	Francia	Alemania
☐ Lodos de depuración ☐ Lodos calcáreos ☐ Lodos de papelera ☐ Lodos de acería / horno alto ☐ Otros lodos ☐ Neumáticos ☐ Caucho ☐ Residuos de fragmentación de automóviles ☐ Plásticos (excepto PVC) ☐ Serrín impregnado ☐ Líquidos a base de disolventes ☐ Madera, papel y cartón ☐ Residuos municipales (CDR) ☐ Aceites usados ☐ Tierras de filtración ☐ Tortas de filtración ☐ Aguas residuales ☐ Textiles	☐ Disolventes oleosos no regenerables ☐ Disolventes de pinturas no regenerables ☐ Aceites de corte ☐ Lodos de pinturas ☐ Residuos de tintas ☐ Barnices ☐ Hidrocarburos ☐ Neumáticos ☐ Cauchos ☐ Residuos de fragmentación de vehículos ☐ Alfombras / textiles ☐ Plásticos (excepto PVC) ☐ Harinas de carne y hueso	☐ Neumáticos ☐ Aceites usados ☐ Tierras varias ☐ CDR ☐ Líquidos orgánicos / disolventes ☐ Maderas ☐ Harinas de carne y hueso
		Austria
		☐ Neumáticos ☐ Aceites usados ☐ Disolventes ☐ Residuos de la industria del papel ☐ Plásticos ☐ Otros ☐ Harinas de carne y hueso

En el caso de las harinas de carne y hueso, se están empleando las cementeras para su gestión en países como: Austria, Alemania, Dinamarca, España, Francia, Italia, Noruega y Suiza (especialmente en Francia y Suiza). En Grecia e Irlanda van a empezar a realizar pruebas de cara a su utilización.

7.4. Situación particular en España

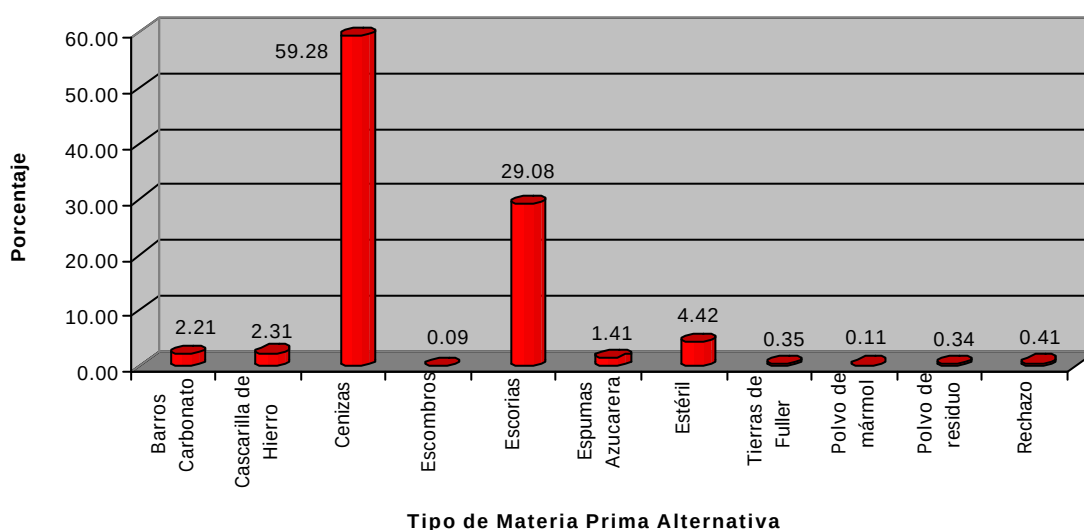
La actividad del sector cementero español se ha caracterizado en los últimos años por mantener una fuerte línea de crecimiento que ha llevado a España a situarse a la cabeza de los países europeos tanto en materia de producción como de consumo de cemento.

En el año 1.996 el número de hornos españoles era de 65, mientras que en la actualidad se cifra en 58 (49 de vía seca, 4 de vía semiseca y 5 de vía húmeda). En el año 1999 el país produjo alrededor de 35.8 millones de toneladas de cemento (90 % para consumo propio y 10 % para exportación), cifra que le colocó en el tercer lugar europeo de países productores y consumidores, por detrás de Italia y Alemania.

España a pesar de no encontrarse al nivel de países como Alemania, Austria, Bélgica, Francia o Suiza en materia de gestión de residuos en plantas cementeras, lleva a cabo actuaciones en este sentido en algunas de sus instalaciones.

La utilización de materias primas alternativas durante el proceso de fabricación de cemento se encuentra implantada y normalizada en nuestro país. En este sentido, en el año 1999 de los 48.6 M t de materias primas utilizadas, 3.3 M t correspondieron a materias primas alternativas (cenizas y escorias principalmente). Esto supone alrededor del 7 %, cifra que por otra parte se encuentra ligeramente por debajo de la media europea (10-15 %). El Gráfico 7.3. y la Tabla 7.6. muestran la composición de materias primas alternativas y el total de materias primas utilizadas durante el año 1999 respectivamente.

Gráfico 7.3.- Composición de materias primas alternativas utilizadas en España durante el año 1999.



En cuanto a la utilización de combustibles alternativos durante el proceso de fabricación de cemento, las fábricas españolas utilizaron en 1999 un total de 3.177.409 toneladas de combustible, de las cuales 2.752.228 t correspondieron a coque de petróleo (más del 85 %) y 39.821 t (1.25 %) a combustibles alternativos. Esas cerca de 40.000 toneladas de combustible alternativo supusieron casi el triple respecto a la cantidad del año anterior, pero aún se encuentran lejos del medio millón de toneladas que podrían utilizarse. Así mismo, el 1.25 % representa un valor todavía muy por debajo de la media de sustitución europea que se sitúa en el 10-13 %.

Tabla 7.6.- Relación de materias primas utilizadas en la fabricación de cemento en España en el año 1999.

MATERIAS PRIMAS	Cantidad (t)	Porcentaje (%)
Mineral de yeso y anhidrita	1.536.989	3.16%
Arcillas	2.235.623	4.60%
Arena	54.043	0.11%
Arenisca	905.695	1.86%
Barros carbonato	73.193	0.15%
Bauxita	64.263	0.13%
Borra	13.953	0.03%
Caliza y otras rocas calcáreas	30.221.334	62.18%
Caolín y arcillas caolínicas	247.676	0.51%
Cascarilla de hierro	79.629	0.16%
Cenizas	1.965.184	4.04%
Creta	20.930	0.04%
Escombros	2.838	0.01%
Escorias	964.125	1.98%
Espumas azucarera	46.696	0.10%
Estéril	146.637	0.30%
Filler calizo	11.604	0.02%
Hierro	9.743	0.02%
Limonita	19.262	0.04%
Margas	8.190.517	16.85%
Otras	17.959	0.04%
Piritas	356.254	0.73%
Pizarras	434.091	0.89%
Polvo de mármol	3.549	0.01%
Polvo residuo	11.203	0.02%
Puzolanas	896.876	1.85%
Rechazo	13.622	0.03%
Sericita	23.173	0.05%
Sílice	39.731	0.08%
TOTAL	48.606.392	100.0 %

El Gráfico 7.4 y la Tabla 7.7 muestran la distribución del combustible total y alternativo utilizados en España durante el 2000 respectivamente.

Gráfico 7.4.- Distribución del combustible consumido por las cementeras españolas durante el año 2000.

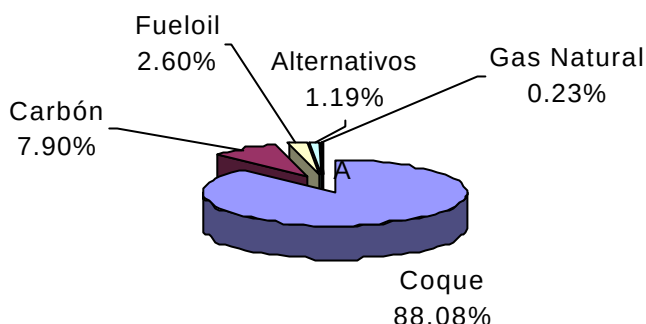


Tabla 7.7.- Composición del combustible alternativo utilizado por las cementeras españolas durante el año 2000.

Combustible Alternativo	Cantidad (t/a)	Porcentaje (%)
Neumáticos Usados	12.900	32.8
Líquidos Alternativos	10.415	26.5
Aceites Usados	8.825	22.4
Serrín y Madera	7.199	18.3
Total	39.339	100.0

Cabe destacar que de las 36 plantas existentes actualmente en España, tan sólo 5 de ellas se encuentran utilizando combustibles alternativos de forma continua y 1 se encuentra iniciando su actividad en este campo. Es importante constatar que existen 11 instalaciones con algún tipo de autorización para la combustión de residuos, aunque por razones determinadas sólo 6 estén haciendo uso de ella. Esto es debido a que 5 de ellas cuentan con autorización para la combustión exclusiva de aceites usados. El precio de mercado del aceite usado está sujeto a fuertes fluctuaciones, lo que determinará su utilización o no como combustible alternativo por los productores de cemento, dependiendo de su rentabilidad económica. La Tabla 7.8. recoge la relación de plantas españolas que cuentan con autorización y el tipo de residuo utilizado.

Tabla 7.8.- Relación de plantas españolas con autorización y tipo de residuos.

Localización	Provincia	Empresa	Tipo de combustible
Gádor	Almería	HISALBA	• Aceite usado • Líquidos orgánicos • Grasas animales
Jerez de la Frontera	Cádiz	HISALBA	• Neumáticos • Aceite usado • Líquidos orgánicos • Pastosos orgánicos • Grasas animales
Torredonjimeno	Jaén	HISALBA	• Serrín y madera
Lorca	Murcia	HISALBA	• Neumáticos • Aceite usado • Líquidos orgánicos • Grasas animales
Lemona	Vizcaya	CEMENTOS LEMONA	• Neumáticos
San Sebastián	Guipúzcoa	FINANCIERA Y MINERA	• Neumáticos
Carboneras	Almería	HISALBA	• Aceite usado
Tudela Veguín	Asturias	CEM. TUDELA VEGUÍN	• Aceite usado
Aboño	Asturias	CEM. TUDELA VEGUÍN	• Aceite usado
Mallorca		VALENCIANA DE CEMENTOS	• Aceite usado
San Vicente de Raspeig	Alicante	VALENCIANA DE CEMENTOS	• Aceite usado

NOTA: La información que se encuentra en negrita corresponde a las plantas que actualmente están incorporando residuos al horno y los residuos utilizados de aquellos para los que están autorizadas.

A estas plantas habría que añadir las al menos 5 plantas que están utilizando harinas de carne y hueso como combustible alternativo en estos momentos, en el País Vasco, Comunidad Valenciana y Castilla La Mancha, sin disponer de autorización medioambiental en razón de la exención que establece el RD 4/2001 de 16 de febrero.

8. TENDENCIAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN CEMENTERAS

8.1. Otros residuos valorizables en cementeras

Dentro de los residuos susceptibles de ser gestionados en las plantas de cemento que se han comentado en el apartado 4.2, hay algunos que merecen un comentario aparte, a causa de sus características intrínsecas o de las circunstancias administrativas, que en los próximos años pueden convertirlos en productos habitualmente gestionados en las cementeras. Entre estos residuos cabe citar los siguientes:

- **Residuos acuosos o aguas contaminadas:** Debido al muy bajo (o incluso ausencia) de poder calorífico de este tipo de residuos, no es habitual gestionarlos en las cementeras de vía seca, aunque sí se utilizan para reducir el NO_x.

Debido a las altas temperaturas de combustión y a la necesidad de utilizar exceso de aire en la combustión, la generación de NO_x en este tipo de industrias es muy alta. Como la tendencia en las normativas de nueva elaboración es a reducir las emisiones de este tipo de compuestos, la industria cementera deberá realizar un esfuerzo suplementario a la hora de reducir las emisiones de NO_x a la atmósfera.

Ahora bien, recientes experimentos han permitido comprobar que una forma de reducir la emisión de NO_x a la atmósfera, es dosificando una pequeña cantidad de agua en los quemadores de combustible. Esto convierte a los residuos acuosos o aguas contaminadas orgánicamente en unos buenos candidatos a ser gestionados en los quemadores de combustible de las instalaciones de la industria cementera, buscando el doble beneficio de reducir las emisiones de NO_x y tratar adecuadamente unos residuos de complicada eliminación en la actualidad.

- **Residuos de fragmentación de vehículos fuera de uso:** Con la reciente aprobación de las directivas de vertido (1999/31/CE) y de vehículos fuera de uso (2000/53/CE), hay una serie de residuos (no considerados como peligrosos) que, debido a su contenido en materia orgánica, no podrán gestionarse en vertederos como tradicionalmente se ha venido haciendo en un alto porcentaje. A lo que se une la necesidad de cumplir con los objetivos de reciclaje y valorización impuestos por la directiva de vehículos fuera de uso.

Esos objetivos establecen que antes del 1 de enero de 2006 se deberá reutilizar y valorizar como mínimo el 85 % del peso medio por vehículo y año, del que al menos se deberá reutilizar y reciclar un 80 % del peso medio por vehículo y año. Estos parámetros conducen a que se debe valorizar energéticamente un 5 % aproximadamente del peso medio por vehículo y año. Cifra que se elevará a un 10 % antes del 1 de enero de 2015.

A medida que se vayan transponiendo estas directivas a las correspondientes normativas de los estados miembros, es de esperar un aumento de la gestión de este tipo de residuos (plásticos y gomas en su mayoría) en las plantas cementeras, ya que tienen un poder calorífico, como derivados del petróleo, suficiente como para sustituir parte del combustible fósil tradicionalmente utilizado por esta industria.

- **Lodos de depuradoras:** El incremento de plantas depuradoras para cumplir con los requisitos de calidad de los vertidos a los cauces públicos en la Unión Europea, trae aparejado un incremento de la generación de lodos, como residuos de dicha depuración. Las cementeras no serán la única vía de valorización de dichos lodos, pero sí podrán ser una vía muy interesante en determinadas situaciones, lo que unido a la cantidad de generación de los mismos, es de prever un aumento de la utilización de las cementeras para valorizar los lodos de depuradora, ya que además permitirán valorizar materialmente una buena parte de sus componentes inorgánicos.
- **Residuos de demolición:** El problema que se origina a consecuencia de los residuos de construcción y demolición se pretende solventar mediante normativas que fijan objetivos de disminución y de reciclaje. Las cementeras pueden colaborar a cumplir en parte esos objetivos de reciclaje, pues pueden utilizar como materias primas y adiciones algunos de los residuos generados en la construcción y demolición, asimismo también pueden valorizar otros con un cierto valor energético (maderas, plásticos, etc.). Sin embargo esta valorización no se prevé que, en un corto plazo de tiempo, se incremente rápidamente.
- **Otros residuos no peligrosos:** La creciente concienciación medioambiental está ocasionando que afloren una serie de residuos no peligrosos, de naturaleza orgánica, como biomasa, cáscara de arroz, serrín, etc., que anteriormente acababan con una cierta frecuencia en los vertederos. Al igual que ocurre con los lodos de depuradora, estos residuos también tienen otras vías de valorización (compostaje, biometanización, generación de energía eléctrica, etc.) que dependiendo del sentido en que caminen ciertas políticas energéticas en los países de la Unión Europea (especialmente las de cogeneración), harán que la gestión de estos residuos se desplace hacia las diferentes vías de valorización.

En este caso, las cementeras siempre serán un buen destino para dichos residuos, ya que además de las características técnicas de los hornos, no habrán necesitado realizar grandes inversiones para poder utilizarlos, como es el caso de las instalaciones diseñadas específicamente para su utilización como fuente energética o de materia prima.

8.2. Posibilidades del sector del cemento para valorizar residuos

El proceso que se sigue para obtener el clínker con el que se va a formular el cemento es un gran consumidor de energía, tal como se ha indicado al analizar dicho proceso en el capítulo 4.1. Esa energía se le ha de suministrar de forma que no sólo se puedan alcanzar las temperaturas de llama alrededor de los 2.000 °C, necesarios para que se produzcan las reacciones de calcinación y clinkerización, sino que la llama ha de tener una cierta estabilidad para evitar perturbaciones que ocasionen pérdidas de calidad del producto final.

Bajo estas premisas, tradicionalmente se han empleado diferentes combustibles fósiles en función de su precio, de su facilidad de obtención, de condiciones sociopolíticas, etc. Así, tradicionalmente se ha utilizado masivamente carbón, de mejor o peor calidad. A medida que los precios del carbón han ido aumentando y las exigencias de

calidad han sido mayores, en determinados países se sustituyó una gran parte de dicho carbón por coque de petróleo (petcoque), especialmente en aquellos en los que el transporte se podía realizar por mar (caso de España, Italia, Portugal, Francia, etc.), permaneciendo el carbón donde el transporte del petcoque lo encarecía en exceso o donde el carbón seguía siendo competitivo en precio (especialmente si éste estaba subvencionado por razones sociales), caso del Reino Unido, Austria, Alemania, el mismo Portugal y otros.

En Alemania últimamente también ha aumentado la utilización de otros combustibles fósiles, como el gas natural.

Pronto surgió también la posibilidad de utilizar residuos, con un determinado poder calorífico, para sustituir a los combustibles tradicionales bajo determinadas condiciones ambientales, especialmente en países como Austria, Francia, Bélgica, Alemania y otros.

En la tabla 8.1 figuran los porcentajes de utilización de los distintos combustibles en ocho de los nueve mayores productores de cemento de la Unión Europea (UE), entre los cuales suman un 85 % del total de la producción en la UE durante 1998.

En dicha tabla se incluye igualmente la media aritmética de los coeficientes de sustitución en esos ocho países y una media ponderada proporcional a su producción de cemento.

También se ha incorporado en dicho cuadro los porcentajes del consumo medio de combustibles de la UE en el año 1995 para poder observar la evolución de su consumo y establecer una previsión para los próximos años, si la evolución sigue como actualmente. Dicha previsión se ha realizado analizando los cambios producidos desde el año 1995 hasta 1998, corregidos ante la posible influencia de los otros siete países de la Unión Europea, aunque solamente representen el 15 % de su producción de cemento y la evolución seguida hasta 1999 en los países principales productores, como es el caso de España, disminuyendo el carbón y el fueloil, aumentando el petcoque y el gas natural y también un ligero aumento de los combustibles alternativos.

En las figuras 8.1 y 8.2, se representan los porcentajes de consumo de combustibles en estos ocho países de la Unión Europea, para poder apreciar de forma gráfica las proporciones de cada uno de ellos.

Tabla 8.1.- Consumo de combustibles en la Unión Europea en 1998 (en %)

Países	Carbón (%)	Coque de petróleo (%)	Fueloil (%)	Otros fósiles (%)	Alternativos (%)
Alemania	32	10	5	35	18
Austria	46	4	15	2	33
Bélgica	28	32	3	16	21
España	11	84	4	0.1	0.5
Francia	18	40	3	14	25
Italia	17	68	7	4	4
Portugal	48	49	2		1
Reino Unido	75	19			6

Media Aritmética	34.4	38.2	4.9	8.9	13.6
Media Ponderada	27.1	46.7	4.6	11.1	10.5

Media U.E.- 1995	42	39	7	2	10
-------------------------	----	----	---	---	----

Previsión	33	41	4	11	11
------------------	----	----	---	----	----

Figura 8.1.- Gráfico de porcentajes de consumo de combustibles en la U.E. en 1998 - I

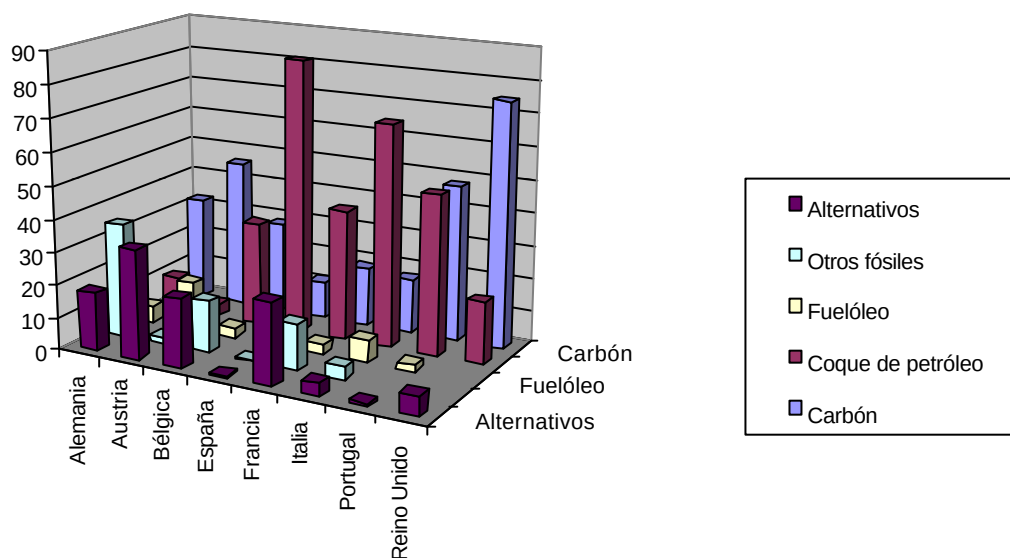
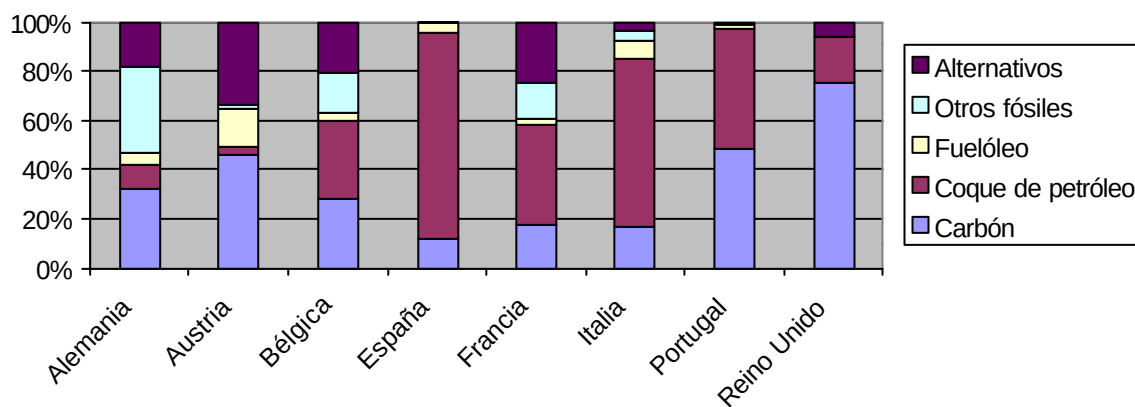


Figura 8.2.-Gráfico de porcentajes de consumo de combustibles en la U.E. en 1998 - II



Por otra parte, en el año 1999 se produjeron en la Unión Europea 184.438.000 toneladas de cemento, en las que está incluido el clínker destinado a la exportación. La cantidad de cemento que se produce va a depender de los ciclos económicos que afectan a los sectores de construcción y obra civil (en el año 1999, un 55 % se empleó en edificación y el 45 % en obra civil), no obstante en los últimos años las cifras de producción han ido aumentando, por lo que para efectos de cálculo, se puede tomar como cifra de producción de clínker para los próximos años en la U.E. **180.000.000 t/a.**

Para fabricar esas toneladas de clínker ha sido necesaria una determinada cantidad de calorías procedentes de todos los combustibles utilizados.

Para calcular esa cantidad de calor habrá que tener en cuenta que en la Unión Europea un 78 % de los hornos son de vía seca, un 16 % lo son de vías semi-seca o semi-húmeda y un 6 % lo son de vía húmeda.

Tal como se indica en la tabla 4.2, la eficiencia de estos hornos es variable, siendo de 1.300 kcal/kg. de clínker para los hornos de vía húmeda, 1.250 kcal/kg. para los de vía semi-seca o semi-húmeda y oscilando también entre 725 y 1.050 kcal/kg. para los de vía seca, según tengan o no precalentador, precalcinador, etc.

Con estos rendimientos, proporción del tipo de hornos y teniendo en cuenta la tipología de los hornos de vía seca en Europa, se puede estimar que son necesarias **1.019 kcal** para fabricar un kg. de clínker, por lo que para fabricar las 180.000.000 t/a de clínker estimadas, serán necesarias **183.420.000 Gcal/a.**

Teniendo en cuenta el poder calorífico inferior (PCI) de cada uno de los combustibles utilizados en la industria del cemento, los porcentajes de utilización estimados para cada uno de esos combustibles y la cantidad total de calor necesario para fabricar la producción esperada de clínker en la UE en los próximos años, se pueden calcular las cantidades necesarias de cada uno de los combustibles. Los resultados obtenidos se incluyen en la tabla 8.2, en la que se observa que es necesaria una cantidad total de combustibles en la UE de **25.081.362 t/a.**

Tabla 8.2.- Consumo esperado de combustibles en la fabricación de clínker en la UE

Combustible	% Sustitución	PCI (kcal/kg.)	Gcal/a	t/a
Carbón	33	7.000	57.937.946	8.277.849
Coque de petróleo	41	7.500	77.125.188	10.283.358
Fueloil	4	9.700	9.731.568	1.003.254
Otros fósiles	11	11.000	30.348.448	2.758.950
Alternativos	11	3.000	8.276.849	2.758.950
TOTAL	100	7.313	183.420.000	25.081.362

Se puede realizar una comprobación para tratar de validar la cifra global de combustibles utilizados en la UE. Según los datos de producción de cemento en la UE de 1999, España produce el 18 % del total, pero en España se ha realizado un gran

esfuerzo para reducir la eficiencia energética de los hornos (puede estar en torno a las 850 kcal/kg. de clínker), por lo que su porcentaje de consumo de combustible respecto al total, pasará entonces al 13 %. Como el consumo de combustible en España en dicho año fue de 3.177.401 t/a, implica que el consumo europeo puede ser del orden de 24.982.806 t/a, bastante similar al calculado por el camino anterior.

Los residuos que se utilizan como sustitutos del combustible fósil, pueden ser residuos peligrosos o no peligrosos. Los primeros estaban limitados por la Directiva europea 94/67/CE, relativa a la incineración de residuos peligrosos, a un máximo de sustitución del 40 % de la energía consumida. Esa directiva se verá derogada por la 2000/76/CE, relativa a la incineración de residuos, que remite a las condiciones de la autorización preceptiva y en la que deberán figurar las cantidades y los residuos permitidos en cada instalación. En cuanto a los segundos anteriormente no había limitaciones, pero en breve les será de aplicación la Directiva de incineración 2000/76/CE (salvo para aquellos productos que expresamente se excluyen en dicha Directiva, como son los residuos agrícolas y forestales, madera, corcho, etc.), por lo que los límites figurarán en las condiciones de autorización de cada planta.

Teniendo en cuenta que en algunos países ya se han alcanzado coeficientes de sustitución de combustibles fósiles por otros alternativos, procedentes de residuos, superiores al 20 %, no es muy arriesgado fijar como un objetivo europeo de sustitución deseable dicho porcentaje. Con dicho coeficiente se calculará la cantidad de residuos que podrían valorizarse en la UE al año, repercutiendo la disminución que se produce en el resto de combustibles principalmente sobre el carbón y el petcoque, que son los de mayor utilización.

Con el fin de poder ofrecer otra cifra más optimista, también se realizan cálculos similares para un coeficiente de sustitución del 30 %.

En la tabla 8.3 se presentan los resultados de ambos cálculos, sustituyendo el 20 % y el 30 % del consumo de combustibles mediante residuos.

Tabla 8.3.- Consumo esperado de combustibles en la fabricación de clínker en la UE con unos coeficientes de sustitución por alternativos del 20 y 30 %

Combustible	PCI (kcal/kg.)	Gcal/a con 20 % sus.	t/a	% Sustit	Gcal/a con 30 % sus.	t/a	% Sustit
Carbón	7.000	53.496.037	7.642.291	29	47.403.774	6.771.968	24
Coque de petróleo	7.500	73.894.381	9.852.584	37	70.539.594	9.405.279	33
Fueloil	9.700	9.731.568	1.003.254	4	9.731.568	1.003.254	4
Otros fósiles	11.000	30.348.448	2.758.950	10	30.348.448	2.758.950	10
Alternativos	3.000	15.949.565	5.316.522	20	25.396.615	8.465.538	30
TOTAL		183.420.000	26.573.601	100	183.420.000	28.404.990	100

Observando los resultados de estos cálculos plasmados en las tablas 8.2 y 8.3, se aprecia que la industria cementera europea, que en la actualidad está valorizando **2.750.000 t/a** de residuos, lo que representa un **11 %** del total del combustible necesario, puede en una primera etapa llegar a valorizar unas **5.300.000 t/a** de residuos, simplemente cumpliendo los objetivos que se están fijando en muchos países de sustituir el **20 %** del combustible necesario para fabricar el clínker por residuos. En una segunda etapa, subiendo el objetivo de sustitución hasta el **30 %** (que es el porcentaje de sustitución actual en los países europeos líderes en la gestión de residuos), se podrían valorizar hasta unas **8.500.000 t/a** de residuos.

Según datos de la Asociación Británica de Cemento, en 1997 se utilizaron los siguientes combustibles:

Tabla 8.4.- Utilización de residuos en cementeras de la UE en 1997

Residuos	t/a	%
Neumáticos	415.000	16
Aceites usados y líquidos orgánicos	588.000	24
Residuos sólidos (papel, plásticos, etc.)	1.500.000	60
TOTAL	2.503.000	

Por lo que si se hace la hipótesis de que los porcentajes se mantienen, la capacidad de valorizar estos tipos de residuos en las cementeras europeas, en los dos supuestos anteriores de sustitución del 20 % y del 30 % de los combustibles, será la siguiente:

Tabla 8.5.- Capacidad de utilización de residuos en las cementeras de la UE

Residuos	%	C/20 % (t/a)	C/30 % (t/a)
Neumáticos	16	850.643	1.354.486
Aceites usados y líquidos orgánicos	24	1.275.965	2.031.729
Residuos sólidos (papel, plásticos, etc.)	60	3.189.913	5.079.323
TOTAL		5.316.522	8.465.538

Teniendo en cuenta que los datos de generación anual europea de neumáticos y residuos peligrosos incinerables son 2.5 y 3.75 millones de toneladas (cifra obtenida calculando un 15 % de los residuos peligrosos tal como indica el Plan Nacional de Residuos Peligrosos español), respectivamente, si se alcanzasen los niveles de sustitución propuestos, se estarían valorizando en las cementeras europeas el 34 % de los neumáticos y el 34 % de los residuos peligrosos incinerables, para una sustitución del 20 % y el 54 % tanto de los neumáticos como de los peligrosos incinerables, para la sustitución del 30 %. Por ello se puede concluir que la capacidad potencial de valorización de residuos en cementeras es muy alta y las cantidades realmente valorizadas en los próximos años dependerá de las políticas nacionales que se lleven a cabo en los distintos países de la Unión Europea.

En cuanto a la utilización de residuos como materia prima y como adición, su empleo está muy consolidado en la actualidad, superando cada uno de ellos el 10 % de las materias primas para fabricar el clínker y el cemento respectivamente. Las adiciones tienen unos límites en función del tipo de cemento a preparar que no suelen superar el 20 %, por lo que ese es un límite a la utilización de residuos que puedan sustituir las adiciones tradicionales.

Es decir, que si se hace una estimación en la que ambas utilizaciones, como materias primas en el crudo y como adiciones, pudieran llegar a representar un porcentaje del 15 % cada una de ellas, se tendría una capacidad de valorizar materialmente unas **40.500.000 t/a** de residuos como materias primas y unas **28.000.000 t/a** de residuos como adiciones.

8.2.1. Posibilidades de valorización en España

El caso español presenta algunos puntos singulares respecto al europeo, como son por un lado el esfuerzo realizado por el sector para optimizar el rendimiento energético de sus instalaciones y, por otro, la utilización masiva de coque de petróleo.

El conjunto de las 36 plantas de clínker existentes en España, tienen una capacidad anual de producción de casi 35.000.000 t/a, con el que se podría producir más de 40.000.000 de toneladas anuales de cemento. En los 10 años que van de 1990 a 1999, se ha pasado de producir más de 28 millones de t/a de cemento, el primero de dichos años, hasta algo menos de 36 millones de t/a el último, aunque no ha sido un crecimiento continuo y lineal, sino que se han producido altibajos y el mínimo de producción, con algo menos de 24 millones de t/a, fue en 1993.

En la tabla 8.6 se incluye la relación de plantas de fabricación de clínker, agrupadas por Comunidades Autónomas y con la capacidad diaria de producción de cada una de ellas.

Tabla 8.6.- Capacidad de producción de clínker en cementeras españolas

Fábricas	t / d	t / d	CC.AA.
Alcalá de Guadaira (Se)	3.000	16.200	Andalucía
Carboneras (Al)	3.000		
Córdoba	1.500		
Gádor (Al)	1.800		
Jerez de la Frontera (Ca)	1.900		
Málaga	3.400		
Niebla (Hu)	900		
Torredonjimeno (J)	700		
Morata de Jalón (Z)	2.850	2.850	Aragón
Aboño (As)	3.500	3.665	Asturias
Tudela Veguín (As)	165		
Lloseta (PM)	1.700	1.700	Baleares
Buñol (V)	4.050	10.680	C. Valenciana
Puerto Sagunto (V)	3.330		
S.Vicente de Raspeig (A)	3.300		
Mataporquera (S)	1.350	1.350	Cantabria

Castillejo (To)	4.200	10.440	Castilla La Mancha
Villaluenga (To)	4.600		
Yeles (To)	1.640		
La Robla (Le)	1.300	5.100	Castilla León
Toral de los Vados (Le)	2.100		
Venta de Baños (P)	1.700		
Alcanar (T)	5.300	24.675	Cataluña
Montcada i Rexac (B)	2.000		
S.Feliú de Llobregat (B)	3.250		
S.Vicente dels Horts (B)	4.400		
Sta.Margarida i els Monjos (B)	5.800		
Vallcarca (B)	3.700		
Vilanova i la Geltrú (B)	225		
Oural (Lu)	1.100	1.100	Galicia
Morata de Tajuña (M)	7.700	7.700	Madrid
Lorca (Mu)	1.850	1.850	Murcia
Olazagutia (Na)	3.100	3.100	Navarra
Arrigorriaga (Vz)	1.525	5.275	País Vasco
Lemona (Vz)	1.900		
San Sebastián	1.850		
TOTAL	95.785		

Para producir esas cantidades de cemento anteriormente comentadas ha sido necesario utilizar una cantidad de combustibles como la reflejada en la tabla 8.7, donde se indican para los distintos años las cantidades utilizadas de los combustibles principales, que gráficamente se incluyen en las figuras 8.3 y 8.4. En esta última se puede apreciar como en el transcurrir de los años se nota una bajada del consumo de carbón y un aumento del consumo de petcoque, haciendo que se invierta la posición relativa de cada uno de ellos, siendo en la actualidad el petcoque el primero en cantidad utilizada por la industria cementera cuando en 1990 lo era el carbón.

Tabla 8.7.- Consumo de combustibles en cementeras españolas

Año	Coque (t)	Carbón (t)	Fueloil (t)	Otros (t)	Gas Natural (10³ m³)
2000 (*)	2.912.000	261.000	85.900	39.339	9.050
1999	2.752.228	299.097	82.670	39.821	4.278
1998	2.561.758	349.401	122.405	15.572	3.667
1997	2.361.000	335.000	55.000	15.000	5.085
1996	2.083.797	475.064	51.691	8.874	3.555
1995	2.104.696	476.953	58.121	29.442	3.683
1994	1.733.455	751.341	69.294	19.194	3.229
1993	1.302.258	922.737	111.622	21.269	2.081
1992	1.187.959	1.241.752	83.766	15.689	4.834
1991	1.070.330	1.750.983	92.735	28.224	3.717
1990	1.060.362	2.024.036	107.513	32.172	4.959

(*) Datos provisionales

Figura 8.3.- Consumo de combustibles en cementeras españolas – I

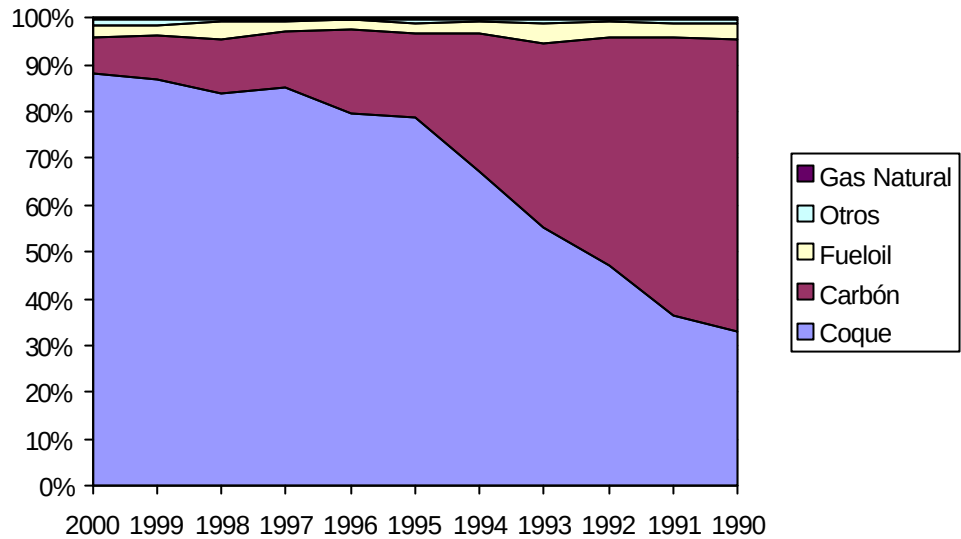
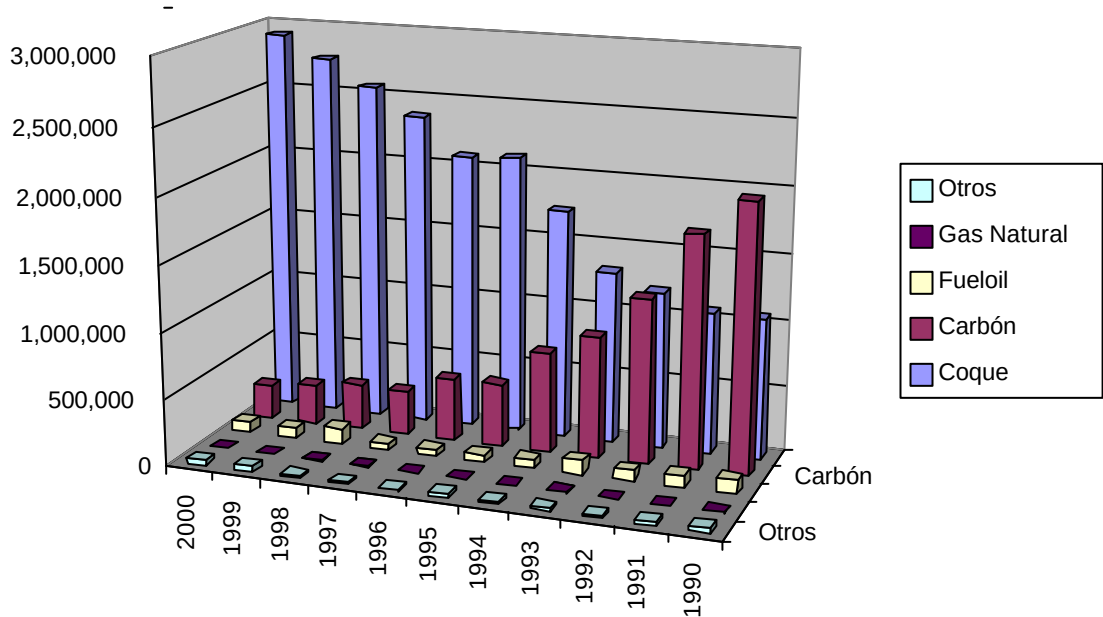


Figura 8.4.- Consumo de combustibles en cementeras españolas – II

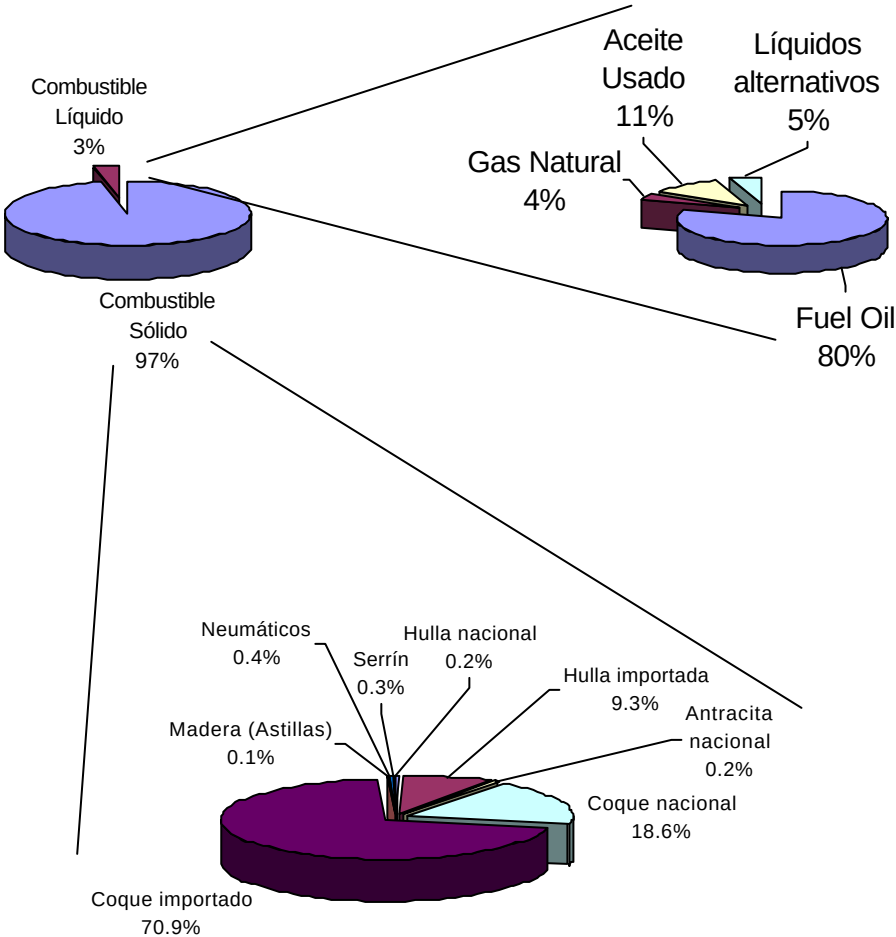


Aunque se dispone de un avance de los datos del año 2000, se van a utilizar para los cálculos de capacidad de utilización de combustibles alternativos los datos de 1999, porque estos ya están publicados en el anuario de Oficemen y son más completos. Los consumos de combustibles en dicho año fueron los reflejados en la tabla 8.8.

Tabla 8.8.- Consumo de combustibles en las cementeras españolas en 1999 (t/a)

COMBUSTIBLES	Toneladas	%	toneladas		%
Hulla nacional	6.034	0.19	3,074,900	Combustible sólido	96,8%
Hulla importada	287.440	9.05			
Antracita nacional	5.614	0.18			
Coque nacional	571.995	18.00			
Coque importado	2.180.233	68.62			
Madera (Astillas)	3.578	0.11			
Neumáticos	12.175	0.38			
Serrín	7.831	0.25			
Fueloil	82.670	2.60			
Gas Natural	3.594	0.11			
Aceite Usado	10.971	0.35	102,501	Combustible Líquido	3,2%
Líquidos alternativos	5.266	0.17			
TOTAL	3.177.401	100.0			

Figura 8.5.- Consumo de combustibles en las cementeras españolas en 1999



El consumo de combustible de los dos últimos años se mantiene relativamente estable, por lo que para calcular la capacidad potencial de la industria cementera española para valorizar residuos se utilizarán las cifras de consumos de 1999. Como para el caso de la Unión Europea en general, se harán dos hipótesis de sustitución del combustible fósil por otros alternativos del 20 % y el 30 %, aunque en el caso español se hará también una tercera suposición con solamente el 10 %, debido que en los dos últimos años el porcentaje de sustitución ha sido solamente en torno al 1,2 %.

En este caso los incrementos de sustitución se centrarán fundamentalmente en los neumáticos, en los líquidos orgánicos alternativos y, en menor medida también en los aceites usados. Los ahorros en este caso se repercutirán sobre el coque de petróleo importado, ya que es el combustible con una utilización mayoritaria.

Con estos supuestos los consumos pasarán a ser los indicados en la tabla 8.9.

Tabla 8.9.- Consumo esperado de combustibles en la fabricación de clínker en España con unos coeficientes de sustitución por alternativos del 10 y 20 %

Combustible	PCI (kcal/kg.)	Gcal/a.	t/a	% Susti	Gcal/a. con 10 % sust.	t/a	% Susti	Gcal/a. con 20 % sust.	t/a	% Susti	Gcal/a. con 30 % sust.	t/a	% Susti
Hulla nacional	7.100	42.841	6.034	0,2	42.841	6.034	0,2	42.841	6.034	0,2	42.841	6.034	0,2
Hulla importada	7.100	2.040.824	287.440	9,0	2.040.824	287.440	8,8	2.040.824	287.440	8,6	2.040.824	287.440	8,4
Antracita nacional	7.045	39.550	5.614	0,2	39.551	5.614	0,2	39.551	5.614	0,2	39.551	5.614	0,2
Coque nacional	7.500	4.289.962	571.995	18,0	4.289.963	571.995	17,5	4.289.963	571.995	17,1	4.289.963	571.995	16,7
Coque importado	7.500	16.351.747	2.180.233	68,6	14.826.210	1.976.828	60,6	12.924.536	1.723.271	51,5	10.866.230	1.448.831	42,2
Madera (Astillas)	4.130	14.777	3.578	0,1	14.777	3.578	0,1	14.777	3.578	0,1	22.905	5.546	0,2
Neumáticos	6.700	81.572	12.175	0,4	968.631	144.572	4,4	1.979.838	295.498	8,8	2.980.402	444.836	13,0
Serrín	3.200	25.059	7.831	0,2	25.059	7.831	0,2	25.059	7.831	0,2	38.842	12.138	0,4
Fueloil	9.700	801.899	82.670	2,6	785.365	80.965	2,5	785.365	80.965	2,4	785.365	80.965	2,4
Gas Natural	11.506	41.349	3.594	0,1	41.350	3.594	0,1	41.350	3.594	0,1	41.350	3.594	0,1
Aceite Usado	9.500	104.224	10.971	0,3	271.668	28.597	0,9	633.891	66.725	2,0	1.147.042	120.741	3,5
Líquidos alternativos	3.500	18.431	5.266	0,2	506.001	144.572	4,4	1.034.244	295.498	8,8	1.556.926	444.836	13,0
TOTAL	7.507	23.852.239	3.177.401	100	23.852.239	3.261.619	100	23.852.239	3.348.045	100	23.852.239	3.432.570	100

Por lo tanto en el caso español, si se consiguiesen unos coeficientes de sustitución del 10, del 20 ó del 30 %, se tendría una capacidad para valorizar residuos de casi **330.000, 670.000 ó 1.030.000 t/a**, respectivamente.

La cantidad de aceite usado valorizable en los hornos de las cementeras podría ser mucho mayor (se generan unas 325.000 t/a en España, de las que se recogen 260.000 t/a, según datos de 1999), pero dado que dicho producto tiene unos canales de valorización muy específicos, en los que se cobra al utilizador una cantidad en función del precio que tenga la termia (=1.000 kcal) del fueloil en cada momento, no se esperan grandes incrementos en las cantidades de aceite usado con destino a las cementeras. De hecho, en estos momentos en que el precio del petróleo es elevado, varias plantas de cemento con autorización para utilizar aceites usados como combustible no lo están usando.

En cuanto a los líquidos orgánicos alternativos al combustible fósil, si se alcanzaran los niveles de sustitución del resto de la Unión Europea, la industria cementera tendría capacidad para valorizar prácticamente todos los residuos peligrosos de características acordes con este tipo de instalaciones, que se generan en España (más de 300.000 t/a, según el antiguo plan nacional de residuos peligrosos, una vez descontadas las cantidades tratadas "in situ").

Respecto a los neumáticos, cuya generación, según los borradores de Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, es en España de unas 300.000 t/a (entre 244.000 y 330.000 t/a, según las fuentes), se están valorizando en hornos de cementeras solamente el 4%, mientras que el 80 % está yendo a vertedero. Como la directiva relativa al vertido prohíbe que los neumáticos vayan a vertedero, es de esperar que aumenten en gran medida los porcentajes de los demás destinos, incluido su utilización como combustible en las plantas de cemento, que tienen capacidad para valorizar casi todos los neumáticos fuera de uso generados en España solamente con un 9 % de coeficiente de sustitución de sus combustibles (caso de sustitución del 20 % total por combustibles alternativos) y de tanto los generados anualmente como las cantidades históricamente acumuladas de años anteriores con un 13 % de coeficiente de sustitución (caso del 30 % de sustitución del total de combustibles alternativos).

Si se compara la situación española con la europea, se aprecia que en el resto de la Unión Europea se están utilizando una gran cantidad de residuos de papel y residuos plásticos, que según datos de CEMBUREAU, en el año 1997 fueron entre ambos tipos superiores a 450.000 t/a, es decir un tercio aproximadamente de los residuos sólidos utilizados en las cementeras como combustibles alternativos. Esto quiere decir que si se alcanzase un coeficiente de sustitución en la UE del 20 %, aproximadamente 1.000.000 de toneladas anuales podrían ser de residuos de plásticos y de papel. Como el consumo de combustibles en España respecto a la UE, calculado anteriormente, representa aproximadamente un 13 %, cabe pensar que en España se podría llegar a valorizar una cantidad anual de residuos de plásticos y de papel de unas 130.000 t/a.

En el caso de los residuos utilizados como sustitutos de las materias primas para obtener cemento a partir de clínker, en España se están utilizando en un porcentaje próximo al 7 %, si la tendencia fuera a igualarse con el resto de la UE, se podría llegar a superar el 10 % de sustitución, lo que representaría alrededor de 4.000.000 y 3.000.000 t/a, respectivamente.

9. ASPECTOS LEGAL, ADMINISTRATIVO Y COMERCIAL

9.1. Marco legal y administrativo

La industria cementera, igual que otros sectores industriales, está sujeta a una regulación normativa, tanto en el ámbito comunitario como nacional. Esta normativa abarca todos los campos de actividad del sector industrial cementero. Para el presente trabajo se tendrán en cuenta las regulaciones en materia de protección del medio ambiente, especialmente cuando se utilizan residuos como combustibles alternativos a los tradicionales.

Como cualquier actividad en la que se manejan y gestionan residuos, se deberá tener una especial precaución porque toda ella se encuentre totalmente regulada y controlada, por las implicaciones que un incorrecto uso de los residuos pudiera tener sobre el medio ambiente y las personas.

Por un lado la Directiva Comunitaria 84/360/CEE *relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales* (que quedará derogada en octubre del año 2008) y, por otro, la Directiva 96/61/CE *relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación* ("Directiva IPPC"), que modifica la anterior, recogen las bases para el desarrollo de normativa nacional en materia de instalaciones dedicadas a la producción de cemento². La citada Directiva 96/61/CE pretende garantizar un elevado grado de protección del medio ambiente en su conjunto a través del establecimiento de medidas de prevención o reducción de las emisiones contaminantes al aire, agua y suelo procedentes de diversas instalaciones industriales. Para ello se contemplan:

- ❑ principios generales de funcionamiento de la instalación,
- ❑ necesidad de un permiso para el funcionamiento de la instalación,
- ❑ posibles cambios o modificaciones en la instalación,
- ❑ establecimiento de valores límite de emisión y
- ❑ efectos de contaminación transfronteriza.

Por otra parte, los procesos de utilización de residuos peligrosos como combustible alternativo en los hornos de clínker es una actividad que se encuentra aún recogida dentro de la Directiva Comunitaria 94/67/EC *relativa a la incineración de residuos peligrosos*. En su texto se hace referencia no sólo a aquellas instalaciones dedicadas específicamente a la incineración de residuos peligrosos, sino también a las instalaciones de coincineración o cocombustión, es decir, todas aquellas en las que tenga lugar la combustión de los residuos en hornos que no hayan sido diseñados

² Directiva 84/360/CEE relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales. Anexo I: Categorías de Instalaciones Industriales: -... 3.1. *Instalaciones de fabricación de cemento y producción de cal por hornos rotatorios...*.
Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. Anexo I: Categorías de Actividades Industriales: -... 3.1. *Instalaciones de fabricación de cemento clínker en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 500 toneladas diarias, o de cal en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día...*.

expresamente para ese fin (por ejemplo, los hornos de clínker). Con motivo de la reciente aprobación de la Directiva 2000/76/CE *relativa a la incineración de residuos*, las disposiciones recogidas en la Directiva 94/67/CE quedarán derogadas a partir de diciembre de 2005.

El pasado 4 de diciembre de 2000, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea aprobaron la Directiva 2000/76/CE *relativa a la incineración de residuos*, con el objetivo de impedir o limitar los efectos negativos sobre el medio ambiente así como los riesgos para la salud humana derivados de las actividades de incineración y co-incineración de residuos.

Bajo un prisma integrador, la citada directiva recoge en un solo texto todas las actividades de incineración de residuos, mejorando así la claridad jurídica y el carácter ejecutorio. Por un lado, este nuevo texto es aplicable a la incineración de residuos peligrosos y no peligrosos de manera conjunta y, por otro, a todo tipo de instalaciones de incineración de residuos (existentes y nuevas), ya sean plantas específicas destinadas al efecto o instalaciones de co-incineración³ (incluidos los hornos de cemento).

Con el fin de garantizar un elevado grado de protección del medio ambiente y la salud de las personas, la Directiva 2000/76/CE marca, entre otras, las disposiciones a adoptar - de obligado cumplimiento para los Estados miembros a partir del 28 de diciembre de 2002 - en materia de:

- ❑ solicitud y autorización,
- ❑ entrega y recepción de los residuos,
- ❑ condiciones de operación de la instalación,
- ❑ vertido de aguas,
- ❑ residuos de incineración,
- ❑ control y seguimiento,
- ❑ requisitos de medición de contaminantes y,
- ❑ condiciones anormales de funcionamiento.

La utilización de residuos como combustible alternativo en los hornos de clínker durante el proceso de producción de cemento, constituye una práctica que se ajusta al principio de jerarquía marcado por la política comunitaria en materia de gestión de residuos: prevención-recuperación-eliminación. Esta alternativa permite por un lado la eliminación de ciertos residuos que de otra manera deberían ser llevados a vertedero o incinerados en instalaciones específicas (lo que supondría un aumento de las emisiones totales a la atmósfera) y, por otro, una disminución en el consumo de combustibles tradicionales no renovables durante el proceso de producción (carbón, coque de petróleo y fueloil).

La experiencia de otros países comunitarios que ya han optado por esta opción de tratamiento (Alemania, Austria, Bélgica y Francia principalmente), muestra que la

³ Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos. Anexo II.1: *Disposiciones especiales para los hornos de cemento en que se co-incineren residuos*.-... valores límite de emisión totales, valores límite de emisión totales para el SO₂ y el COT y valor límite de emisión para el CO.-.

consolidación de esta actividad como alternativa dentro de las estrategias de gestión de residuos, pasa por la implantación de un marco legal, con normativa de carácter general y específica, que garantice que estas actividades tienen lugar minimizando las repercusiones negativas sobre el medio ambiente y las personas.

9.2. Autorización de Gestor de Residuos

Durante años la industria cementera ha sido contemplada por la opinión pública como una actividad potencialmente contaminante y la utilización de residuos como combustible alternativo en los procesos de fabricación de cemento, actividad iniciada a finales de la década de los ochenta, no ha contribuido a mejorar esta imagen. El desarrollo de normativa en esta materia, ha sido el factor clave que, en ciertos países de la Unión, ha transformado una percepción pública durante años contraria en una visión mucho más positiva, en la que se concibe a la industria cementera como una posible solución a un problema medioambiental como es el de los residuos.

Para ello, ha sido preciso transmitir a la opinión pública que la utilización de residuos en hornos de clínker como combustible alternativo no sólo es una mejora económicamente rentable para el productor de cemento, sino también una alternativa de tratamiento que, llevada a cabo de forma correcta y controlada, puede reportar beneficios para el medio ambiente.

Desde el punto de vista normativo, uno de los aspectos que más notablemente ha contribuido a este cambio ha sido la obligatoriedad por parte de las instalaciones de coincineración, de obtener una acreditación o autorización⁴ concedido por la autoridad competente para la gestión de esos residuos. Así se garantiza que dicha gestión (recogida, transporte, almacenamiento y tratamiento) tiene lugar de manera controlada y segura, con el fin de evitar la contradicción que supondría dar solución a un problema ambiental creando a su vez otro.

Esta es la razón por la que tanto la Directiva 2000/76/CE *relativa a la incineración de residuos* como en particular la Directiva 96/61/CE *relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*, contemplan en sus textos consideraciones en este sentido. Ambas establecen, entre otros aspectos, que ninguna instalación podrá coincinerar residuos sin una autorización previa para realizar dicha actividad. A través de esta autorización se pretende garantizar:

- ❑ que la instalación opera cumpliendo los requisitos establecidos por la normativa;
- ❑ que tiene lugar la recuperación del calor generado en el proceso de coincineración;
- ❑ que se minimiza la cantidad y nocividad de los residuos y, cuando proceda, éstos se reciclan y;
- ❑ que la eliminación de los residuos de coincineración que no puedan evitarse, reducirse o reciclarse tiene lugar de acuerdo a la normativa nacional y comunitaria.

⁴ Véase Anexo II: *Normativa para la obtención del permiso de gestor de residuos en los estados miembro de la Unión Europea*

El paso previo al comienzo de cualquier actividad de co-incineración de residuos es la elaboración de un informe de solicitud de autorización. Dicho informe ha de recoger, de forma general, una descripción detallada de la instalación incluyendo al menos:

- ❑ Localización, tipo de actividad y alcance de la misma,
- ❑ materias primas, productos y energía empleados y/o generados,
- ❑ fuentes, magnitud y efectos sobre el medio ambiente de las emisiones generadas,
- ❑ medidas de control y tecnología para evitar o reducir dichas emisiones,
- ❑ medidas de prevención y valorización de los residuos generados y,
- ❑ otras medidas adicionales previstas para el cumplimiento de la normativa.

A continuación la Tabla 9.1 incluye, de manera más detallada, el conjunto de documentos a elaborar durante el proceso de solicitud de autorización en cada uno de los estados miembro de la Unión Europea.

Dicha solicitud es remitida a la autoridad competente⁵ para su evaluación. Si ésta lo estima oportuno, enviará por escrito a la instalación una autorización acompañada de condiciones que garanticen que ésta cumplirá los requisitos marcados por la normativa vigente⁶ (en caso contrario, se denegará). La autorización incluye la siguiente información:

- ❑ tipo de residuos que pueden tratarse y, si procede, su cantidad,
- ❑ capacidad total de co-incineración de residuos,
- ❑ procedimientos específicos de muestreo y medición a utilizar.
- ❑ Para el caso de residuos peligrosos, además de lo anterior, la cantidad que puede tratarse, flujos de masa y valores caloríficos mínimos y máximos, así como el contenido en sustancias contaminantes (PCB, PCP, cloro, flúor, azufre y metales pesados) de dichos residuos peligrosos.
- ❑ Valores límite de emisión para sustancias contaminantes⁷ y, en ocasiones, prescripciones que garanticen la protección del suelo y de las aguas subterráneas, así como las medidas relativas a la gestión de los residuos generados por la instalación, basado todo ello en las mejoras técnicas disponibles,
- ❑ requisitos de control de residuos, metodología y frecuencia de medición y obligatoriedad de comunicar los datos a requerimiento de la autoridad competente,
- ❑ medidas relativas a la minimización de la contaminación transfronteriza,

⁵ Véase Anexo III: *Autoridades competentes en materia de concesión de permisos en los estados miembro de la Unión Europea*.

⁶ Directivas 91/271/CEE, 96/61/CE, 96/62/CE, 76/464/CEE y 1999/31/CE.

⁷ Anexo III de la Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. Valores límite marcados en el Anexo II.1 de la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos.

Tabla 9.1.- Relación de documentos a presentar en el proceso de solicitud de autorización en los estados miembros de la Unión Europea.

Estado Miembro	Descripción Técnica Detallada	Plan de Construcción y Ubicación	Listado de Equipamiento	Descrip. del Proceso	Datos de Capacidad	Plan de Gestión de Residuos	Plan de Seguridad	Combustible Utilizado	Valores esperados de emisiones	Valores esperados de ruido	Evaluación de la Situación Ambiental	Evaluación de Impacto Ambiental	Planes para la Recuperación de Calor	Otros
Alemania														Ver Nota
Austria											Ver Nota	Ver Nota		Ver Nota
Bélgica (Valonia)														
España														
Francia														Ver Nota
Grecia														
Irlanda														Ver Nota
Luxemburgo														Ver Nota
Países Bajos														Ver Nota
Portugal														
Reino Unido												Ver Nota		Ver Nota
Suecia														Ver Nota

NOTA:

Austria: (1). La evaluación de la situación ambiental y la de impacto ambiental son obligatorias si la capacidad es superior a 300.000 t/año. (2) También se requiere, descarga de aguas residuales y descripción de condiciones de trabajo.

Francia: El estudio ambiental incluye: análisis de estado inicial del emplazamiento, análisis de los efectos temporales directos e indirectos causados por la instalación sobre el medio ambiente, motivos por los cuáles se ha elegido el proyecto en cuestión y resumen, en términos no técnicos, para facilitar la comprensión por parte del público en general.

Alemania: También se requiere: descripción de los efectos tóxicos, datos de entrada de combustible, niveles de contaminación de fondo y evaluación de inmisiones de acuerdo a TA-Luft.

Grecia: Los documentos requeridos se encuentran incluidos en el estudio de evaluación de impacto ambiental.

Irlanda: También se requieren los siguientes documentos: modelo de emisiones atmosféricas, información de ruido, datos de aguas subterráneas y aspectos sobre la eliminación de residuos.

Luxemburgo: estudios de impacto (ruido y aire), combustibles y emisiones y estudio de riesgo ambiental.

Países Bajos: Listado de Equipamiento: sólo incluye el equipamiento más significativo. Datos de Capacidad: producción, materias primas, combustible y capacidad de almacenamiento de productos. Valores esperados de emisiones y ruido así como medidas de reducción. Evaluación de impacto ambiental: sólo cuando el procedimiento de evaluación ambiental sea necesario. También se requieren: mapa de la situación ambiental y medidas de prevención de la contaminación del suelo.

Reino Unido: También se requieren los siguientes documentos: solicitud de pruebas de conducta. (Comentario: No se concederá ninguna autorización a menos que se hayan llevado a cabo previamente pruebas satisfactorias en base a un protocolo acordado y a las BPEO, así como ensayos de dioxinas. Se requieren dos etapas: (1) Solicitud para llevar a cabo ensayos con nuevos combustibles (incluye la participación pública) y (2) Solicitud para llevar a cabo la combustión en continuo en base a los resultados de los ensayos y a una completa evaluación ambiental). Modelo de dispersión de contaminantes, resultados de los análisis y pruebas de niveles de dioxinas.

Suecia: (1) También se requieren los siguientes documentos: propuestas de medidas para prevenir los efectos ambientales derivados de la instalación (aire, agua, ruido, luz, etc.), así como propuestas de cómo la instalación debe ser inspeccionada. (2) Bajo el Programa de Protección Ambiental puede requerirse un plan de gestión de residuos, un plan de seguridad y un plan de recuperación de calor. (3) La evaluación de impacto ambiental debe servir como instrumento de evaluación del impacto total causado por la instalación sobre el medio ambiente, la salud y la perpetuación de los recursos naturales. En ocasiones el cambio de combustible también requiere una autorización y un estudio de evaluación de impacto ambiental.

En España el procedimiento a seguir por una planta cementera para la utilización de residuos como sustituto de los combustibles fósiles, comienza con la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental positiva. Para ello es preciso seguir los siguientes pasos:

- ❑ Presentación de la memoria resumen.
- ❑ Consultas a personas-administraciones-instituciones por parte del órgano ambiental.
- ❑ Traslado al titular del proyecto de las contestaciones y aspectos significativos a considerar.
- ❑ Redacción y presentación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- ❑ Trámite de información pública.
- ❑ Estudio de alegaciones y petición de información complementaria.
- ❑ Declaración de Impacto Ambiental.

Una vez obtenida la Declaración de Impacto Ambiental positiva, se debe solicitar ante el órgano ambiental de la comunidad autónoma correspondiente, la autorización de gestor de residuos que debe ir acompañada de un estudio con los siguientes documentos:

- ❑ PROYECTO TÉCNICO
 - Memoria descriptiva y justificativa.
 - Planos de la instalación.
 - Prescripciones técnicas particulares.
 - Presupuesto.
- ❑ PROYECTO DE EXPLOTACIÓN
 - Explotación:
 - Esquema del proceso.
 - Relación de equipos y aparatos.
 - Personal.
 - Descripción y justificación de la explotación.
 - Régimen de utilización del servicio por los usuarios.
 - Mantenimiento.
 - Medidas de control, detección y corrección de la posible contaminación.
 - Avance del manual de funcionamiento de explotación del servicio.
 - Experiencia en trabajos relacionados con los residuos.
 - Certificados de cumplimiento de la legislación relativa a planes de emergencia.
 - Capacitación del personal.
- ❑ ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

A la vista de esta documentación, la autoridad competente concederá o denegará la autorización de gestor de residuos.

La Tabla 9.2 muestra de forma esquemática los diferentes pasos a seguir en España por parte una planta cementera que acometa un proceso de este tipo, incluyendo la normativa que procede, el organismo competente y la documentación necesaria en cada uno de ellos.

Tabla 9.2.- Documentos necesarios para gestionar residuos.

1. DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL

<i>Organismo Competente:</i>	Consejería de Medio Ambiente
<i>Normativa Reguladora:</i>	R.D. 1302/1986, 1131/1988, R.D. Ley 9/2000, Ley 6/2001, D. 45/94
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Descripción del proyecto - Análisis justificado de alternativas técnicas - Descripción de impacto ambiental previsto - Identificación y cuantificación de impactos - Inventario de prevención y opciones alternativas - Programa de gestión medioambiental - Documento resumen

2. AUTORIZACIÓN DE GESTOR DE RESIDUOS

<i>Organismo Competente:</i>	Consejería de Medio Ambiente
<i>Normativa Reguladora:</i>	R.D. 833/1988, R.D. 952/1997, Ley 10/1998
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Descripción del proyecto (proceso, instalación, etc.) - Evaluación de impacto ambiental

3. LICENCIA DE CONSTRUCCION

<i>Organismo Competente:</i>	Administración local (Ayuntamiento)
<i>Normativa Reguladora:</i>	Ley 7/1997, Ley 6/1998, R.D. Ley 4/2000
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Presupuesto previsto - Cuadros, figuras y notas técnicas - Breve descripción del proyecto de construcción

4. INSCRIPCION EN EL REGISTRO DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES

<i>Organismo Competente:</i>	Registro Industria de la CC.AA. Correspondiente
<i>Normativa Reguladora:</i>	Ley 21/1992
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Documento de solicitud de cada CC.AA.

5. CERTIFICACION DE REGISTRO EN EL IMPUESTO DE ACTIVIDADES ECONOMICAS

<i>Organismo Competente:</i>	Ministerio de Hacienda
<i>Normativa Reguladora:</i>	R.D. 1175/1990
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Impreso de registro modelo 845, 846, 847 o 848

6. LICENCIA MUNICIPAL DE COMIENZO DE ACTIVIDAD

<i>Organismo Competente:</i>	Ayuntamiento correspondiente
<i>Normativa Reguladora:</i>	D. 2414/1961, O.M. de 15 de marzo de 1963
<i>Documentación Necesaria:</i>	- Formulario municipal - Relación de vecinos colindantes - Proyecto técnico de instalaciones - Escritura de propiedad (en ocasiones)

7. AUTORIZACION DE ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUIMICAS

<i>Organismo Competente:</i>	Ministerio de Industria
<i>Normativa Reguladora:</i>	R.D. 688/1980, D. 3485/1983, R.D. 1830/1995
<i>Documentación Necesaria:</i>	Temporal: informe y breve descripción del proyecto Comienzo de actividad: certificado de instalación, proyecto y condiciones de seguridad

La autorización concedida por la autoridad competente puede tener carácter indefinido o temporal y estar sujeta o no a revisiones periódicas, hecho que vendrá determinado por la normativa vigente en cada uno de los estados miembro. La Tabla 9.3 muestra las particulares condiciones que se dan en cada uno de ellos.

Tabla 9.3.- Carácter de la licencia de gestor de residuos en los Estados miembros de la Unión Europea.

País	Duración aprox. del procedimiento de concesión de la autorización	Autorización limitada a un período de tiempo	Revisión periódica	Comentarios
Alemania	15 - 30 semanas	No	-----	Sin participación pública - 15 semanas. Con participación pública - 30 semanas
Austria	12 semanas (hasta 1 año)	En ocasiones	No	La licencia puede estar limitada por ejemplo a 1 año. Si durante ese período se realizan ensayos y no se encuentra ninguna irregularidad puede convertirse en indefinida.
Bélgica (Valonia)	52 semanas	20 años	-----	-----
España	40 semanas	5 años, prorrogable hasta 15	-----	Para la utilización de combustibles alternativos
Francia	1 año (variable)	No	No	-----
Grecia	10 semanas	Sí	Sí	-----
Irlanda	16 semanas	Típicamente 5 años	Típicamente 5 años	-----
Luxemburgo	28 semanas	No	No	-----
Países Bajos	24 semanas	10 años	No	-----
Portugal	Variable (120 días de EIA + 90 de preautorización)	Sí	Sí	-----
Reino Unido	26 semanas	No	4 años	-----
Suecia	24 semanas	No	Sí	La licencia puede ser revisada cada 10 años o antes en caso de producirse anomalías, nueva tecnología o nueva legislación comunitaria.

De manera adicional, quedan contempladas en la normativa por un lado el seguimiento de las condiciones recogidas en la autorización (Directiva 2000/76/CE *relativa a la*

incineración de residuos) y, por otro tanto la revisión y actualización de dicha autorización (Directiva 96/61/CE *relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*), así como las circunstancias en las que la autoridad competente puede llevar a cabo dichas modificaciones. Éstas tendrán lugar cuando:

- ❑ la contaminación emitida por la instalación requiera una revisión de los valores límite del permiso o la inclusión de otros nuevos,
- ❑ sea técnicamente posible reducir los valores límite del permiso sin coste excesivo,
- ❑ la seguridad del proceso o actividad requiera el empleo de otras técnicas, y
- ❑ así lo exija la nueva normativa comunitaria o estatal.

ANEXOS

ANEXO I: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO

El **cemento** es un aglomerante hidráulico resultado de moler una roca artificial conocida como **clínker** con un determinado porcentaje de sulfato cálcico y otros añadidos. Es un material que se presenta en forma pulverulenta y con color grisáceo, que en contacto con el agua forma estructuras sólidas, lo que se conoce con el nombre de fraguado. Las propiedades del cemento provienen fundamentalmente de la presencia en su formulación de cristales compuestos por enlaces de óxidos de cal, silicio, hierro y aluminio, en diferentes proporciones.

Para que los enlaces entre los distintos óxidos arriba indicados se formen convenientemente, se requiere la semifusión de los materiales que intervienen y ello se consigue alcanzando temperaturas muy altas (1.450 °C para los materiales y 2.000 °C para los gases de combustión). Una vez que se alcanzan estas condiciones, se producen las distintas reacciones entre los óxidos presentes y se forman las moléculas complejas que confieren al cemento sus cualidades de ligante hidráulico.

El cemento conocido como “portland” se patentó en el año 1.824, hasta entonces se usaban otros cementos derivados del mortero romano. A partir de dicha fecha desplazó progresivamente a los cementos tradicionales y a otros aglomerantes hidráulicos. A finales del siglo XIX el hormigón fabricado con cemento “portland” ya se había convertido en un material de construcción de amplia aplicación en Europa.

La producción mundial de cemento sobrepasa los 1.600 millones de toneladas al año, siendo Asia el mayor productor (China solamente produce una tercera parte del total mundial), seguido de Europa, donde la Unión Europea, con 231 plantas repartidas por los 15 países miembros, fabrica unos 185 millones de toneladas al año. Dentro de la Unión Europea son Italia, Alemania y España los mayores productores, con más de 30 millones de toneladas al año cada uno de ellos.

La fabricación del cemento se puede considerar una actividad industrial de procesamiento de minerales, que se puede dividir en tres etapas básicas:

- ❑ Obtención, preparación y molienda de las materias primas (caliza, marga, arcilla, pizarra, etc.), generalmente extraídas de canteras y 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). Como resultado de esta primera etapa se obtiene una mezcla pulverulenta de los minerales que se denomina **crudo o harina**.
- ❑ Cocción o sinterización del crudo en hornos rotatorios hasta alcanzar la temperatura adecuada (1.450 °C), para ser enfriado bruscamente y obtener de esta manera un producto intermedio llamado **clínker**.
- ❑ Molienda del clínker con otros componentes: yeso (regulador de fraguado) y adiciones (escoria de alto horno, cenizas volantes, caliza, puzolanas), para dar lugar a los distintos tipos de **cemento**.

La composición típica del clinker y de las principales materias primas, así como los límites comunes al clinker, expresado en % en peso, son las reflejadas en la tabla I.1, obtenida a partir de análisis en 10 instalaciones:

Tabla I.1.- Composición media del crudo y del clinker y límites de éste

Componente	Crudo homogeneizado (% en peso)	Clínker (% en peso)	Límites del clínker (% en peso)
CaO	42,83	65,36	60 – 69
SiO ₂	13,52	20,99	18 – 24
Al ₂ O ₃	4,11	6,04	4 – 8
Fe ₂ O ₃	1,90	3,08	1 – 8
MgO	1,13	1,47	< 5,0
Álcalis (K ₂ O, Na ₂ O)	0,94	1,47	2,0
SO ₃	0,41	0,81	< 3,0
H ₂ O (c)	0,87	-	
CO ₂	34,07	-	
Resto	0,22	0,49	
P.F.	(35,08)	0,29	
TOTAL	100,00	100,00	

NOTA: La pérdida al fuego (P.F.) no se suma en el caso del crudo, pues está desglosada en sus componentes CO₂, H₂O y álcalis. Sí se suma en el caso del clínker, donde no se analizan CO₂ ni H₂O.

I.1. Dosificación y molienda de crudo

La formulación de óxidos necesarios para la fabricación del clínker, se consigue con una mezcla de materiales, por un lado los minerales básicos, que son los componentes mayoritarios, y por otro los correctores de composición, en proporción menor.

❑ **Minerales básicos :**

- ❑ Caliza, constituye aproximadamente el 75 – 80 % del material y aporta el carbonato cálcico (CaCO₃), que, tras la calcinación, dará lugar al óxido de cal (CaO), desprendiendo dióxido de carbono (CO₂).
- ❑ Arcillas, constituyen en torno al 20 % del material y son las responsables del aporte de los óxidos de silicio y aluminio y, en menor medida, de hierro.
- ❑ Margas, que tienen una riqueza variable en carbonatos y en óxidos y se adicionan en un porcentaje variable.

❑ **Correctores de composición:**

Dependiendo de las características propias de las canteras de las que se extraen las materias primas, puede ser necesario ajustar los contenidos de las mismas mediante unos materiales llamados correctores, normalmente en porcentajes muy inferiores a los materiales mayoritarios.

- ❑ Para corregir el contenido en cal se utiliza material calizo de alta pureza.
- ❑ El contenido en sílice normalmente se ajusta con arena u otros materiales silíceos.
- ❑ El contenido en hierro se ajusta con la adición de cenizas de pirita u otros materiales ricos en hierro.

La mezcla de materiales, corrientemente se transporta mediante cintas al siguiente paso, que consiste en la molienda de todas estas materias primas, para obtener la harina o crudo. La molienda se consigue con equipos de reducción de tamaño por golpeteo o compresión de piezas metálicas sobre el material.

Una vez molido, el material se clasifica en separadores en función del tamaño de sus partículas, con objeto de devolver la fracción gruesa otra vez al molino, mientras que la fracción de tamaño adecuado para el proceso se envía a los silos de almacenamiento previos a la alimentación al horno.

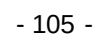
Los gases calientes de salida del horno se hacen pasar a través de los equipos de molienda y clasificación para conseguir secar las materias primas, aprovechando el calor sensible de los gases antes de que vayan a desempolvado y a la chimenea para su emisión a la atmósfera.

I.2. Cocción de materiales

El clínker se obtiene mediante un proceso termoquímico que necesita altas temperaturas, las cuales se consiguen en hornos rotatorios, de entre 3 y 5 metros de diámetro y una longitud que varía en función de los tipos de hornos, pero que puede llegar a ser superior a los 150 metros.

En función de cómo se procesa el crudo y se alimenta al horno de clínker, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación: vía seca, vía semi-seca, vía semi-húmeda y vía húmeda (ver figura I.1).

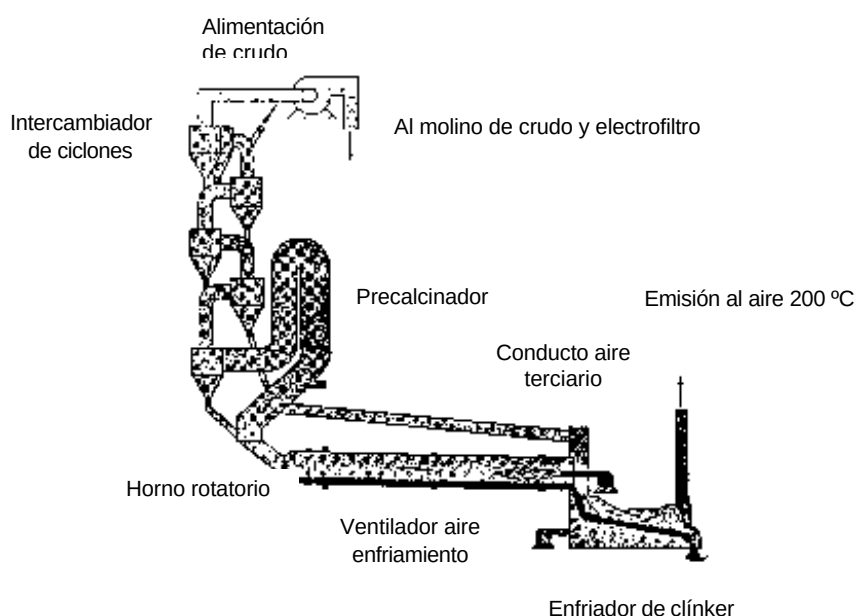
(Fuente: Caillon Rouge / Roger Rivet / OFICEMEN)



En el proceso de vía seca, la materia se introduce seca y en forma pulverulenta. La alimentación al horno se realiza mediante una torre de ciclones de varias etapas (generalmente de 4 a 6), para intercambio de calor en la que se precalienta el crudo en contacto con los gases provenientes del horno rotatorio. A veces se instala una cámara de combustión donde se quema parte del combustible (puede llegar a ser el 60 % del total), llamada precalcinador, de manera que se consigue que el proceso de descarbonatación de la caliza (calcinación) quede casi completado antes de entrar en el horno (ver figura 1.2).

Figura 1.2.-Horno con precalentador de ciclones y precalcinador

(Fuente: DUDA Cement Data Book)



El proceso de vía húmeda se utiliza normalmente cuando las materias primas tienen un alto contenido en humedad, en él se prepara el material de alimentación mediante una molienda húmeda, de forma que la pasta resultante tiene un 30 – 40 % de contenido de agua y es alimentada en el extremo más elevado del horno inclinado. En la zona de secado del horno se suelen colocar cadenas para mejorar el intercambio de calor entre los gases y la pasta.

En los procesos de vía semi-seca y semi-húmeda, el material de alimentación se obtiene añadiendo o eliminando agua (por medio de filtros prensa), respectivamente. A continuación se forman unos “pellets” o gránulos con un 15 – 20 % de humedad, que son depositados en parrillas móviles, a través de las que se hacen circular los gases calientes provenientes del horno para precalentarlos.

En los últimos años la industria cementera ha realizado una profunda renovación de sus equipos, sustituyendo los más antiguos de vía húmeda por los más eficientes energéticamente de vía seca. En la actualidad, en torno al 78 % de la producción de

cemento en Europa se realiza en hornos de vía seca, otro 16 % se realiza en hornos de vía semi-seca o semi-húmeda y un 6 % en los de vía húmeda.

En todos los casos, los gases circulan en sentido contrario al avance de los materiales (contracorriente) y el flujo de los mismos está forzado por la aspiración de un ventilador o exhaustor situado aguas abajo del horno, capaz de mantener todo el horno con una presión menor que la atmosférica (depresión).

El proceso de formación de clínker se puede dividir en las siguientes cuatro etapas:

- ❑ **Deshidratación y precalentado** (20 – 900 °C): que consiste en secar y precalentar los materiales que componen el crudo.
- ❑ **Calcinación / descarbonatación** (600 – 900 °C): se inician las reacciones y se forman los minerales y fases intermedias, que posteriormente acabarán dando lugar al clínker. Se descompone la caliza y se forma silicato dicálcico por la reacción endotérmica entre la sílice y el óxido de calcio formado en la descomposición de la caliza.
- ❑ **Sinterización o clinkerización** (1.250 – 1.450 °C): Se forma el silicato tricálcico por la reacción exotérmica entre el silicato dicálcico y el óxido de calcio.
- ❑ **Enfriamiento interno en el horno** (1.350 – 1.200 °C): Se produce la cristalización y formación definitiva del aluminato cálcico y del ferrito cálcico.

Los constituyentes principales del clínker son silicatos, aluminatos y ferritos de calcio, como se indica en la tabla I.2:

Tabla I.2.- Principales constituyentes del clínker

Constituyente	Fórmula	Fór. Simp.	Denominación
Silicato tricálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	C_3S	Alita
Silicato dicálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	C_2S	Belita
Aluminato tricálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	C_3A	Celita
Alumino-ferrito tetracálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Ferrita

Asimismo, las principales transformaciones químicas (reacciones químicas) que tienen lugar como consecuencia del proceso térmico al que se someten las materias primas para obtener un clínker susceptible de convertirse en un cemento portland, son las siguientes:

Tabla I.3.- Principales reacciones del proceso térmico de obtención del clínker

Temperatura °C	Proceso que se produce	Reacción química
< 200	Secado. Eliminación de agua libre presente en la materia prima	
100 – 400	Eliminación del agua absorbida por la materia prima	
400 – 750	Deshidratación de la arcilla para formar la metacaolinita	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10} \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$
600 – 900	Descomposición de la metacaolinita y otros compuestos, para formar una mezcla de óxidos reactivos	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
600 – 1.000	Descomposición de la caliza y formación de CS y CA	$CO_3Ca \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$
800 – 1.300	Fijación de la cal por CS y CA, con formación de C_4AF	$CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 2CaO \cdot SiO_2$ $2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO \cdot SiO_2$ $CaO \cdot Al_2O_3 + 2CaO \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3$ $CaO \cdot Al_2O_3 + 3CaO + Fe_2O_3 \rightarrow 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
1.250 – 1.450	Nueva fijación de la cal por C_2S	$2CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 3CaO \cdot SiO_2$

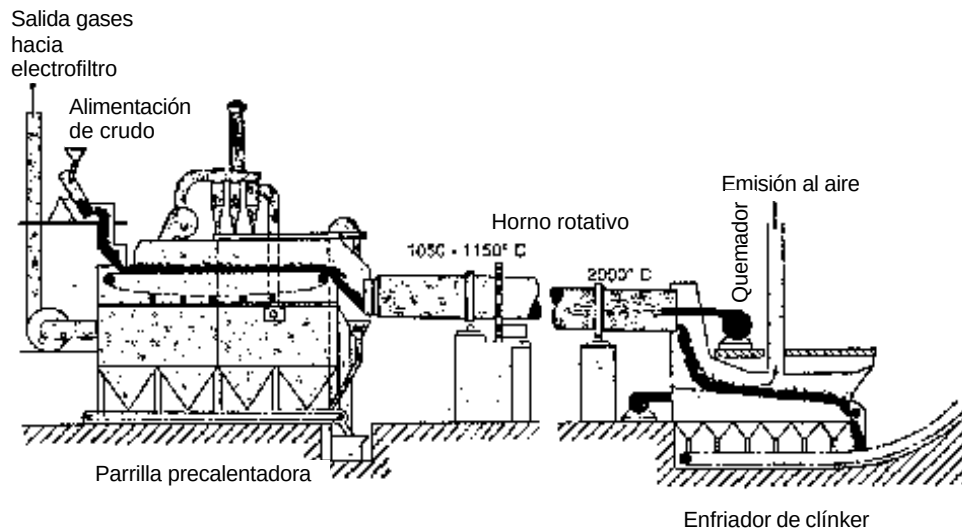
En la siguiente tabla se presentan las características operativas de los distintos tipos de procesos y hornos de fabricación de clínker, según sea el sistema de alimentación del crudo, es decir según sean de sistema seco, semi-seco, semi-húmedo o húmedo.

Tabla I.4.- Características operativas de los procesos y hornos de clínker

Tipo de proceso:		Seco			Semi-seco		Semi-húmedo		Húmedo	
Tipo de horno: Lepol = Horno con precalentador de parrilla móvil SP = Horno con ciclón precalentador PC = Horno con ciclón precalentador y precalcinador		Largo SP de 1 etapa SP de 2 etapas	SP de 4 etapas	PC de 4 etapas	Largo	Lepol	Lepol (3 cámaras)	SP y PC de 3 y 4 etapas con secador	Largo	PC de 2 etapas con secador
Características del horno	Alimentación	Crudo seco y pulverulento			Crudo peletizado		Torta de filtro		Papilla	
	Humedad (%)	0,5 – 1,0			10 – 12		16 – 21		28 – 43	
	Mecanismo de intercambio de calor	Cadenas y ciclón intercambiador	Ciclón intercambiador	Ciclón intercambiador	Cruces	precalentador de parrilla móvil	precalentador de parrilla móvil	Ciclón intercambiador	Cadenas y cruces	Ciclón intercambiador
	Capacidad del horno (t/d)	300 – 2800	300 – 4000	2000 – 10000	300 – 1500	300 – 2000	300 – 3000	2000 – 5000	300 – 3600	2000 – 5000
	Consumo específico de calor (GJ/t)	3,6 – 4,5	3,1 – 3,5	3,0 – 3,2	3,5 – 3,9	3,2 – 3,6	3,6 – 4,5	3,4 – 3,6	5,0 – 7,5	4,5 – 5,0
Características del gas de salida	Gases emitidos (Nm ³ /kg clínker seco)	1,7 – 2,0	1,8 – 2,0 / 2,2 – 2,4*	1,8 – 1,9 / 2,1 – 2,2*	1,7 – 1,8	1,9 – 2,1	3,4 – 4,0	2,1 – 2,3	2,2 – 3,2	2,1 – 2,3
	O ₂ en los gases de salida (% vol.)	4 – 5	8 – 9 / 9 – 11*	8 – 9 / 9 – 11*	4 – 5	6 – 10	12 – 14	8 – 10	4 – 5	5 – 6
	Temperatura entrada electrofiltro (°C)	150	150 / 100*	150 / 100*	200	100	100	120 – 150	180 – 220	120 – 150
	Punto de rocío (°C)	45 – 65			50 – 60		55 – 65		70 – 80	

* Operación directa / operación compuesta

Figura 1.3.-Proceso Lepol (horno rotativo con precalentador de parrilla) y enfriador de clinker



A continuación el clinker obtenido, que tiene un aspecto granular de color gris, se enfría en intercambiadores de calor aire-sólido (figura 1.3), los cuales pueden ser de los siguientes tipos:

- ☐ De tubo rotativo.
- ☐ De satélites (planetario).
- ☐ De Parrilla.

1.3. Molienda de cemento

Una vez obtenido el clinker, se pueden obtener los distintos tipos de cemento mediante la molienda conjunta de clinker (en una proporción aproximada del 80 %), yeso y otros materiales denominados adiciones (hasta completar el 20 % restante). Normalmente se utilizan como adiciones los siguientes materiales:

- ☐ Escoria siderúrgica
- ☐ Cenizas volantes de centrales térmicas
- ☐ Material calizo de alta pureza
- ☐ Pozolanas naturales o industriales

El yeso se utiliza como retardador del fraguado del cemento, con objeto de que los hormigones o productos con él fabricados mantengan un estado fluido durante el tiempo necesario para su aplicación.

La molienda se realiza en distintos tipos de molinos, entre los que se pueden destacar:

- ❑ Molinos de tubo
- ❑ Molinos de rodillo verticales
- ❑ Molinos de rodillos horizontales
- ❑ Prensas de rodillos

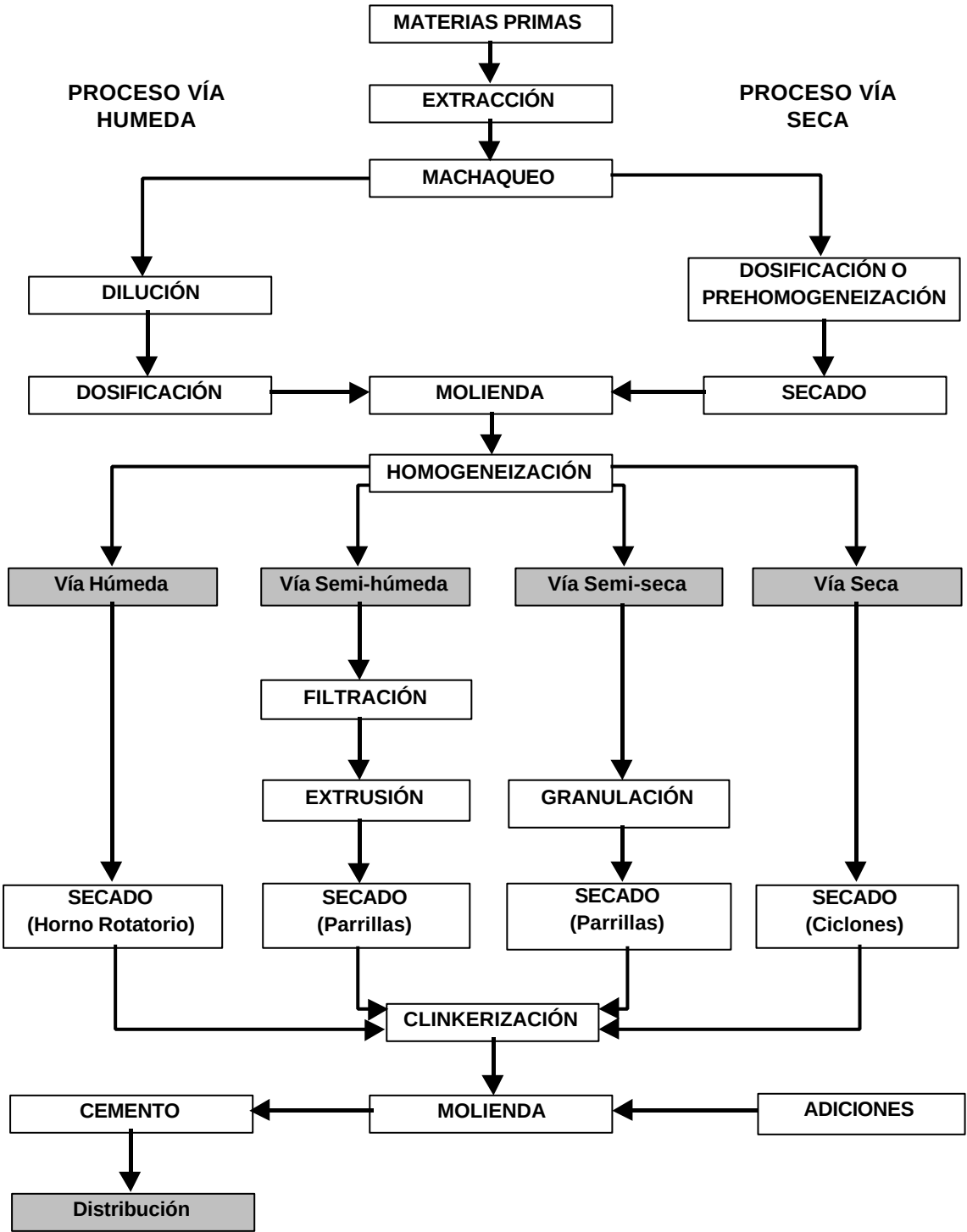
Las distintas proporciones de materiales y el grado de finura al que se muelen, da lugar a los distintos tipos de cemento, clasificados por la composición y por la categoría resistente, así como por otras consideraciones, como el tiempo de fraguado, la resistencia inicial, etc.

El cemento se almacena en silos, de donde se alimentan los equipos de expedición, ya sea a granel o en sacos de papel.

Se puede representar el procedimiento de fabricación del en el diagrama de bloques de la figura 1.4.

Con estas adiciones también se persiguen ahorros en la proporción de clínker necesario en la formulación del cemento, siempre que esas adiciones tengan unas características que permitan sustituir dicho elemento.

Figura I.4.- Diagrama de Bloques de la Fabricación de Cemento



Anexo II. Normativa para la obtención del permiso de gestor de residuos en los estados miembro de la Unión Europea.

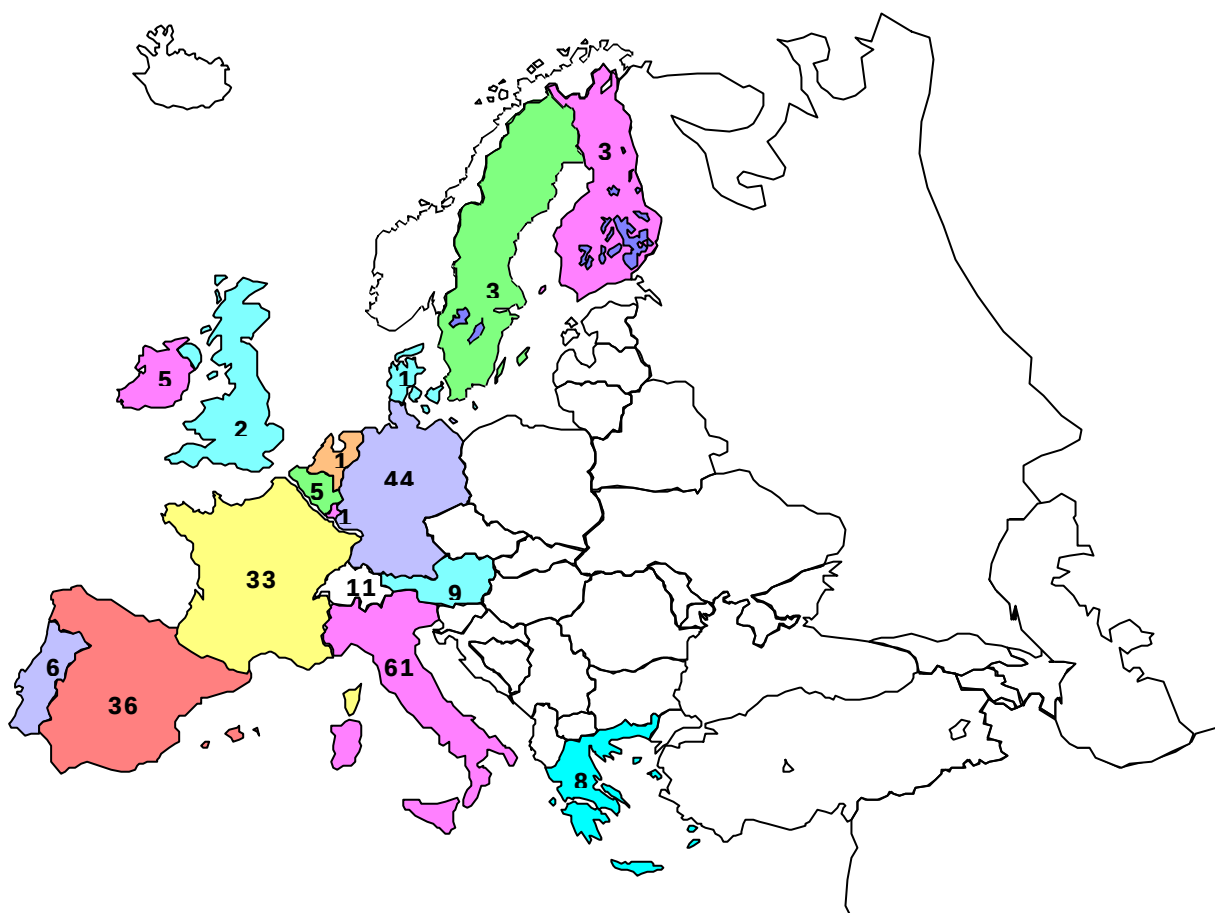
Estado	Para plantas nuevas	Para plantas ya existentes	Cambios que requieren autorización (Comb. Alternativos)	Necesidad de evaluación de impacto ambiental
Alemania	Programa Federal de Inmisión (BImSchG), Acta de Evaluación Ambiental (UVPG), Instrucción Técnica sobre el Control de la Calidad del Aire (TASA-GRAVAMEN-Luft), Programa Alemán sobre Reciclaje y Residuos (KrW/AbfG), Norma 17 sobre el Programa Federal de Inmisiones (17.BImSchG)	La misma.		Plantas de más de 1000 t/día, a través de procedimientos de licencia con participación pública en aspectos tales como efectos negativos sobre el ser humano, animales, suelo, aire... .
Austria	Código Industrial de 1994 (BDBI.194 idF BgBI. 130/1988), Ordenanza Relativa a la Limitación de Emisiones de Sustancias Contaminantes en Plantas Cementeras (BGBl. 63/1993 y BGBl. 85/94), Programa de Gestión de Residuos, Ordenanza sobre Residuos Peligrosos, Programa General sobre Aguas, Programa de Evaluación de Impacto Ambiental.	La misma. Normas específicas recogidas en la ordenanza de cemento.	Cualquier cambio significativo que pueda afectar a la emisión de sustancias contaminantes, ruido, etc. La coincineración requiere una autorización.	Sí, para plantas con una capacidad superior a 300.000 t/año.
Bélgica (Valonia)	Decretos del Parlamento Valón: sobre Canteras, sobre Residuos y sobre Evaluación de Impactos. Decretos del Gobierno Valón: sobre Canteras, sobre Residuos Tóxicos y Peligrosos, sobre Aceites Usados, sobre la Prevención de la Contaminación de Instalaciones Industriales.	La misma.	Los permisos concedidos por la autoridad competente contienen la lista y cantidad de residuos que pueden ser gestionados por la instalación. Cualquier cambio está sujeto a nuevo permiso que debe puede incluir consideraciones específicas para cada nuevo tipo de residuo. Toda entidad que desee gestionar residuos, antes de obtener el permiso, ha de ser primero reconocida por el Ministerio de Medio Ambiente.	Sí. Todo permiso relativo a la explotación de plantas cementeras está sometido a evaluación de impacto ambiental, tanto si la planta gestiona residuos como si no lo hace.
España	Real Decreto 833/1988, de 20 de junio, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, básica de residuos tóxicos y peligrosos. Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, básica de residuos tóxicos y Peligrosos. Ley 10/1998, de 21 de abril de residuos. Real Decreto 1217/1997, de 18 de julio, sobre incineración de residuos peligrosos.	La misma.		Sí. Toda instalación con capacidad de producción superior a 500 t/día en horno rotatorio o a 50 t/día en otro tipo de horno.

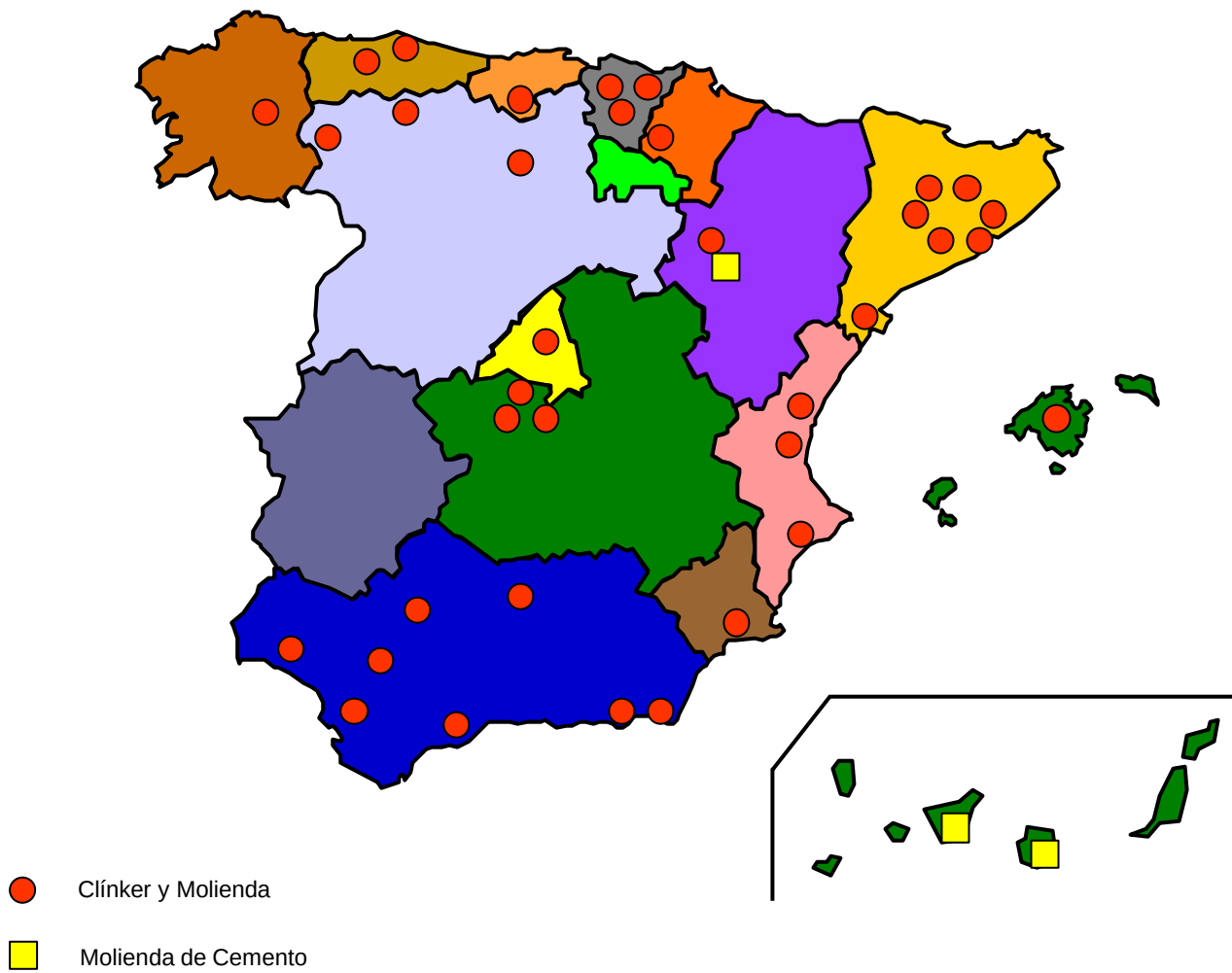
Estado	Para plantas nuevas	Para plantas ya existentes	Cambios que requieren autorización (Comb. Alternativos)	Necesidad de evaluación de impacto ambiental
Francia	Ley N° 76-663 de 1976 sobre Instalaciones Clasificadas para la Protección Ambiental, Ley N° 75-663 de 1975 sobre Eliminación de Residuos y Reciclado de Materiales, Decreto 77-1133 de 1977, Orden de 3 de Mayo de 1993 sobre Plantas Cementeras, Orden de 10 de Octubre de 1996 sobre Incineración y Coincineración de Residuos Especiales en Plantas Industriales.	La misma.	Cualquier cambio relativo a los combustibles requiere de una autorización local. Cualquier cambio que pueda alterar significativamente las condiciones especificadas en la autorización.	Si, para todas las plantas de capacidad superior a 5 t/día.
Grecia	F.I. 1650/86, K.M.D. 69269/5387/90, P.D. 1180/81, K.M.D. 69728/824/96, K.M.D. 114218/97, F.I. 2516/97	La misma.	Cualquier cambio que afecte a los combustibles tradicionales (carbón, fueloil, etc.) requiere de un permiso bajo la normativa mencionada.	Si, para todas las plantas.
Irlanda	Programa y Normas de Protección Ambiental (1992)	La misma.	Todos	Si, para todas las plantas.
Luxemburgo	Ley relativa a Instalaciones			
Países Bajos	Programa de Contaminación de Aguas, Programa de Protección Ambiental, Licencia de Construcción.	La misma, excepto la licencia de construcción.	Dentro de las categorías permitidas de combustibles, aquellos cambios que tengan un efecto negativo sobre el medio ambiente. Para nuevos combustibles fuera de las categorías permitidas.	Plantas con una capacidad total de combustión de residuos > 25.000 t/año y plantas que quemen residuos peligrosos.
Portugal	Ley sobre la Calidad del Aire, Norma sobre la Incineración de Sustancias Peligrosas.	La misma.	Productos peligrosos. Alteraciones del proceso.	Sí. Plantas de cemento.
Reino Unido	Programa de Protección Ambiental de 1990.	La misma.	Todos aquellos cambios en el combustible que puedan afectar al nivel de emisiones.	No para el combustible utilizado, salvo excepciones. Sí, para la introducción de un nuevo combustible.
Suecia	Programa de Recursos Naturales, Programa de Protección Ambiental, Ordenanza sobre Residuos Peligrosos.	La misma.	Todos aquellos cambios que impliquen una descarga o molestia sobre el medio ambiente, incluyendo cuando la instalación es operada en condiciones distintas a las del permiso.	Sí.

Anexo III. Autoridades competentes en materia de concesión de Permisos en los Estados miembros de la Unión Europea.

Estado Miembro	Autoridad Competente para la concesión del permiso	Autoridad competente para el control y seguimiento de las condiciones del permiso
Alemania	<u>Nivel Regional</u> : Autoridad Regional (distinta en los 16 estados federales)	<u>Nivel Regional</u> : Agencia Federal de Medio Ambiente (diferente en los 16 estados federales)
Austria	<u>Nivel Regional</u> : Gobierno de la Provincia <u>Nivel Local</u> : Autoridad Administrativa del Condado	La misma, relativa a la gestión de residuos. <u>Nivel Estatal</u> : Ministerio de Medio Ambiente, Juventud y Familia, Agencia Federal de Medio Ambiente.
Bélgica (Valonia)	<u>Nivel Regional</u> : Ministerio de Medio Ambiente Valón <u>Nivel Local</u> : La Escuela de Burgomaster y Suplencias	<u>Nivel Regional</u> : División de Política Ambiental del Ministerio de la región valona. <u>Nivel Local</u> : Política municipal y Burgomaster
España	<u>Nivel Local</u> : Ayuntamientos <u>Nivel Regional</u> : Consejería de Medio Ambiente y Consejería de Industria.	<u>Nivel Regional</u> : Consejería de Medio Ambiente.
Francia	<u>Nivel Local</u> : Gobernador Provincial (representante del gobierno)	<u>Nivel Local</u> : Gobernador Provincial y las Delegaciones de Industria, Investigación y Medio Ambiente.
Grecia	<u>Nivel Estatal</u> : Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Desarrollo. <u>Nivel Regional</u> : Gobierno Regional.	<u>Nivel Estatal</u> : Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Desarrollo. <u>Nivel Regional</u> : Gobierno Regional.
Irlanda	<u>Nivel Estatal</u> : Agencia de Protección Ambiental.	<u>Nivel Estatal</u> : Agencia de Protección Ambiental.
Luxemburgo	<u>Nivel Estatal</u> : Ministerio de Medio Ambiente.	<u>Nivel Estatal</u> : Administración de Medio Ambiente.
Países Bajos	<u>Nivel Regional</u> : Gobierno Provincial. Para el caso de residuos peligrosos, el Gobierno Provincial necesita una autorización del Gobierno Estatal.	<u>Nivel Regional</u> : Gobierno Provincial.
Portugal	<u>Nivel Local</u> : Ayuntamientos <u>Nivel Regional</u> : Delegaciones Regionales <u>Nivel Estatal</u> : Ministerios de Industria y Medio Ambiente	<u>Nivel Regional</u> : Delegaciones Regionales <u>Nivel Estatal</u> : Ministerios de Industria y Medio Ambiente
Reino Unido	<u>Nivel Estatal</u> : Agencia de Medio Ambiente.	<u>Nivel Estatal</u> : Agencia de Medio Ambiente. El seguimiento es subcontratado a laboratorios acreditados.
Suecia	<u>Nivel Regional</u> : Departamento Administrativo del Condado (Residuos Peligrosos) <u>Nivel Estatal</u> : Gobierno, Departamento Nacional de Licencias	<u>Nivel Regional</u> : Departamento de Administración del Condado. Puede transferir la supervisión a nivel local. <u>Nivel Local</u> : Departamentos Municipales.

Anexo IV. Relación de plantas de fabricación de clínker en la Unión Europea y Suiza





ALEMANIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Ahlen	196	1				*	*				
Allmendingen	1.600	2				*					
Beckum	455	2				*					
Beckum	1.100	1				*	*	*			*
Beckum	350	1				*	*			*	*
Beckum	800	1					*				
Bernburg	1.700	1									
Bitterfeld	200	1									
Burglengenfeld	2.100										
Deuna	2.400	4				*	*				*
Dortmund	200			*							
Dotternhausen	420	1				*					*
Ennigerloch	1.000	1				*					*
Erwitte	560	1				*	*				*
Erwitte	1.000	2									
Erwitte	300										
Erwitte	1.000	1		*		*					*
Geisingen	400		1			*	*			*	
Geseke	640	1				*			*		*
Geseke	360	1				*	*				
Geseke	400	1				*					
Gölheim	900	2				*	*				
Grobenlöder-Müs	200	1						*		*	
Hannover	1.000	3				*		*	*		
Harburg	1.000	1									*
Hardeggen	320	1				*	*	*			*
Heidenheim-Mergelsetten	1.400	1				*					
Karlstadt	1.600	3				*					
Karsdorf	1.900	4			6	*		*			*
Kiefersfelden	⁽¹⁾										
Lägerdorf	1.100	1				*	*				*
Leimen	⁽²⁾										
Lengerich	1.500	1		3		*		*			
Mainz-Weisenau	3.500					*	*				
Paderborn	380	1				*					*
Regensburg	220	1				*			*		*
Rohrdorf	1.000	1				*					
Rüdersdorf	2.100	1	4			*		*			
Scehnde-Höver	825	1				*	*	*			*
Schelklingen	2.300					*	*				
Solnhofen	450	2				*					

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi_seco	Semi_húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Triefenstein	(2)										
Uxheim-Ahütte	150	1				*					
Walzbachtal	700		2					*			
Wetzlar	800	1				*				*	
Wiesbaden	1.400	2				*	*				*
TOTAL	41.926										
⁽¹⁾ Datos incluidos en Burglengenfeld											
⁽²⁾ Datos incluidos en Mainz-Weisenau											

AUSTRIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Gartenau bei Salzburg	576	2				*	*			
Gmunden	512	1					*			*
Kirchdorf	462	2				*		*		
Mannersdorf	809	2				*	*			*
Peggau	418			2		*	*	*	*	*
Retznei	439	2				*	*			*
Vils	240	1				*	*			*
Waldegg	240	1					*			*
Wietersdorf	338			1		*	*	*	*	*
TOTAL	3.925									

BÉLGICA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Gaurain-Ramecroix	2.000	2				*	*		*	*
Antoing	1.000	1			1					*
Harmignies	200	1								*
Lixhe-(Lez-Visé)	1.600	1			1					*
Obourg	2.000				2	*		*	*	*
TOTAL	6.800									

DINAMARCA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Aalborg	1700	1			1	*				

ESPAÑA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Aboño	1.250	1			3	*	*		*	
Alcalá de Guadaira	1.200	2					*		*	
Alcanar	1.650	3					*		*	
Arrigorriaga	500	1				*	*		*	
Buñol	185		1				*		*	
Buñol	1.000	1					*		*	
Carboneras	1.100	1				*	*		*	
Castillejo	1.300	2					*		*	
Córdoba	560	1				*	*	*	*	
Gádor	750	1				*	*		*	*
Jerez de la Frontera	800	1				*	*		*	*
La Robla	450				2	*	*		*	
Lemona	775	2				*	*		*	*
Lloseta	500	2					*		*	
Lorca	700	1				*	*		*	*
Mataporquera	500	1				*	*		*	
Monjos del Penedés	1.800	3					*		*	
Montcada	750	1				*	*		*	
Morata de Jalón	920	2					*		*	
Morata de Tajuña	2.300	2				*	*		*	
Niebla	560		2				*		*	
Olazagutia	1.100	2				*	*		*	
Oural	510	2				*	*		*	
Puerto de Sagunto	1.250	2					*	*	*	
San Feliú de Llobregat	1.000	2						*	*	
San Sebastián	600	1				*	*		*	
San Vicenç dels Horts	1.400	3				*			*	

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
San Vicenç dels Horts	60					*				
San Vicente del Raspeig	310		2				*		*	
San Vicente del Raspeig	700	1	1				*		*	
Toral de los Vados	640	1				*	*		*	
Torre de las Palomas	1.000	2				*	*		*	
Torredonjimeno	400	2				*	*		*	*
Tudela Veguín	60				1		*			
Vallcarca	1.100	2	1				*		*	
Venta de Baños	700	1				*	*		*	
Vilanova i la Geltrú	100	2					*		*	
Villaluenga de la Sagra	1.850	2				*	*		*	
Yeles	600	2				*	*		*	
TOTAL	32.930									

FINLANDIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Lappeenranta	420	2				*			*	
Pargas	620	1				*			*	
Virkkala	270	3				*				
TOTAL	1.310									

FRANCIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Airvault	1.100		3			*			*	*	*
Altkirch	410	1				*	*				*
Beucaire Cedex	800	1				*				*	*
Beffes	540		1			*				*	*
Chambéry	500	1				*	*				
Contes	400			1			*		*		
Cormeilles-en-Parisis	560			1		*	*			*	
Cruas	180	1					*	*			
Dannes	500			2		*		*		*	*
Fos sur mer		3				*	*				
Gargenville	500	1				*				*	
Heming	1.140	3				*	*			*	*
L'Escarène	1.200	1	1				*		*		
La Couronne	800	1				*		*	*	*	
Le Havre Cedex	1.000	1				*			*	*	*
Le Teil	860	2					*		*	*	*
Le Teil		1					*				
Lezinnes	300		1				*			*	*
Loon Plage		2					*			*	
Lozanne	435		1						*		*
Lumbres	730				2			*	*		*
Martres-Tolosane	670	2							*		
Montalieu Vercieu	2.000	1	2			*	*		*	*	*
Montieu-la-Garde	750	1				*				*	
Origny Ste Benoite	700	1		1		*		*			*
Port-la-Nouvelle	480	1				*	*			*	
Ranville	370		1			*				*	
Rochefort	420	1				*		*		*	*
Saint-Pierre-la-Cour	1.300	1				*	*		*	*	*
Septèmes-les-Vallons	700		2					*	*		*
St. Egrève	500	2				*		*	*		
St. Laurent Du Pont	100					*					
Varennnes/Allier	550	1				*	*			*	*
Vendin le Vieil	400				2	*				*	*
Villiers-au-Bouin	400	1				*				*	

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Vitry-le-François	1.200	1	1						*		*
Xeuilley	1.000		2			*				*	*
TOTAL	>23.495										

GRECIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Agria Volos	3.300	4			1	*				
Aspropyrgos/ Athens	450	1				*			*	
Elefsis	1.900	2				*				
Elefsis	600	3				*	*			
Halkis	3.000	4				*				
Milaki Aliveri (Euboea)	1.600	1				*				
Patras	1.150	2				*				
Salonica	1.000	3				*				
TOTAL	13.000									

IRLANDA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Cookstown	370		1			*				
Derrylin	400	1				*				
Limerick	720	1				*				
Platin	1.210	2				*				
TOTAL	2.700									

ITALIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Agrigento			2			*	*			*	
Arquata Scrivia	550	2					*			*	
Barletta	800	1					*			*	
Brescia			3			*	*			*	
Cagliari		1				*	*			*	
Cagnano Amiterno	250	1						*		*	
Campobasso		2				*	*	*		*	
Caravate	630	2				*				*	
Caserta	480	2				*			*	*	*
Cassago Brianza	500		2						*	*	
Castelraimondo	380	2						*		*	
Catania			2			*	*			*	
Catanzaro		1			1	*	*			*	
Comabbio (Varese)	800					*			*	*	
Cosenza			1			*	*			*	
Cuneo		4				*	*			*	
Este	580	1	1			*	*				
Fanna	700	1				*	*				
Firenze			1			*	*	*		*	
Fumane	700		2				*			*	
Galatina	1.000	1								*	
Giannalena	900	1					*	*		*	
Gubbio	750	1								*	
Gubbio	1.050	1								*	
Guidonia	1.860	2				*	*	*		*	
Maddaloni	930	2				*	*			*	
Matera			1			*	*	*		*	
Merone	1.460	1	2			*			*	*	*
Modica	256	1				*	*			*	
Monselice (Padova)	1.000	1			2	*				*	
Morano	260		1				*			*	*
Napoli	360	2				*	*			*	
Ozzano Monferrato	150		1								
Padova			3			*	*			*	
Palermo			3			*	*			*	
Passo dei Pecorai	570	1				*		*		*	
Pavia			1			*	*			*	
Pederobba	1.100	1	1			*	*			*	

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Pescara		2				*	*	*		*	
Pescara	336		1					*			
Piacenza	1.200	1	1				*			*	
Ponte nelle Alpi	200	1					*			*	
Ragusa	505	2				*	*			*	
Rassina	700	1				*				*	
Ravenna	380				3	*	*	*		*	*
Riva del Garda	140	1				*					
Robilante	2.000	3				*				*	*
Roma					3	*					
Salerno		1					*			*	
Santarcangelo di Romagna	350		2				*			*	
Sassari					3	*	*			*	
Settimello	210	1					*			*	
Siniscola	400	1					*			*	
Spoletto-Perugia	555	2				*	*			*	
Taranto	850	3					*			*	
Tavernola	429	1				*	*			*	
Tavernola	50				2	*	*			*	
Travesio	300	1					*	*		*	
Trento			1			*	*			*	
Trieste			2			*	*			*	
Trino	60	1				*					
Vernasca	870	1							*	*	
TOTAL		>27.551									

LUXEMBURGO

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados				
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	Petcoque	Alternativos
Rumelange	1000	1				*	*			*

PAÍSES BAJOS

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi seco	Semi húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Maastricht	900	1				*		*	*		*

PORTUGAL

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Cibra	66			1			*		*		
Coimbra	1.950	3				*	*		*		
Loulé	510	1				*	*		*		
Maceira-Liz	800	2				*	*		*		
Pataias	230	1				*	*		*		
Setúbal	1.792	2				*			*		
Vila Franca de Xira	1.850	2				*	*		*		
TOTAL	7.198										

REINO UNIDO

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Barrington	246				1	*					*
Barry	500	1				*					
Clitheroe	1.370	1				*	*				
Dunbar	930	1				*					
Eastgate/Stanhope	675		2			*					
Hope	1.200	2				*					
Northfleet	1.150			2		*					
Padeswood	510	1				*	*				
Rugby	320				1	*					*
South Ferriby	704		2			*					
Stamford	1.300	2				*	*				
Waterhouses	850	1				*					
West Thurrock	120										
Westbury	800				2	*					
Wornhill	250				1			*			
TOTAL	5.910										

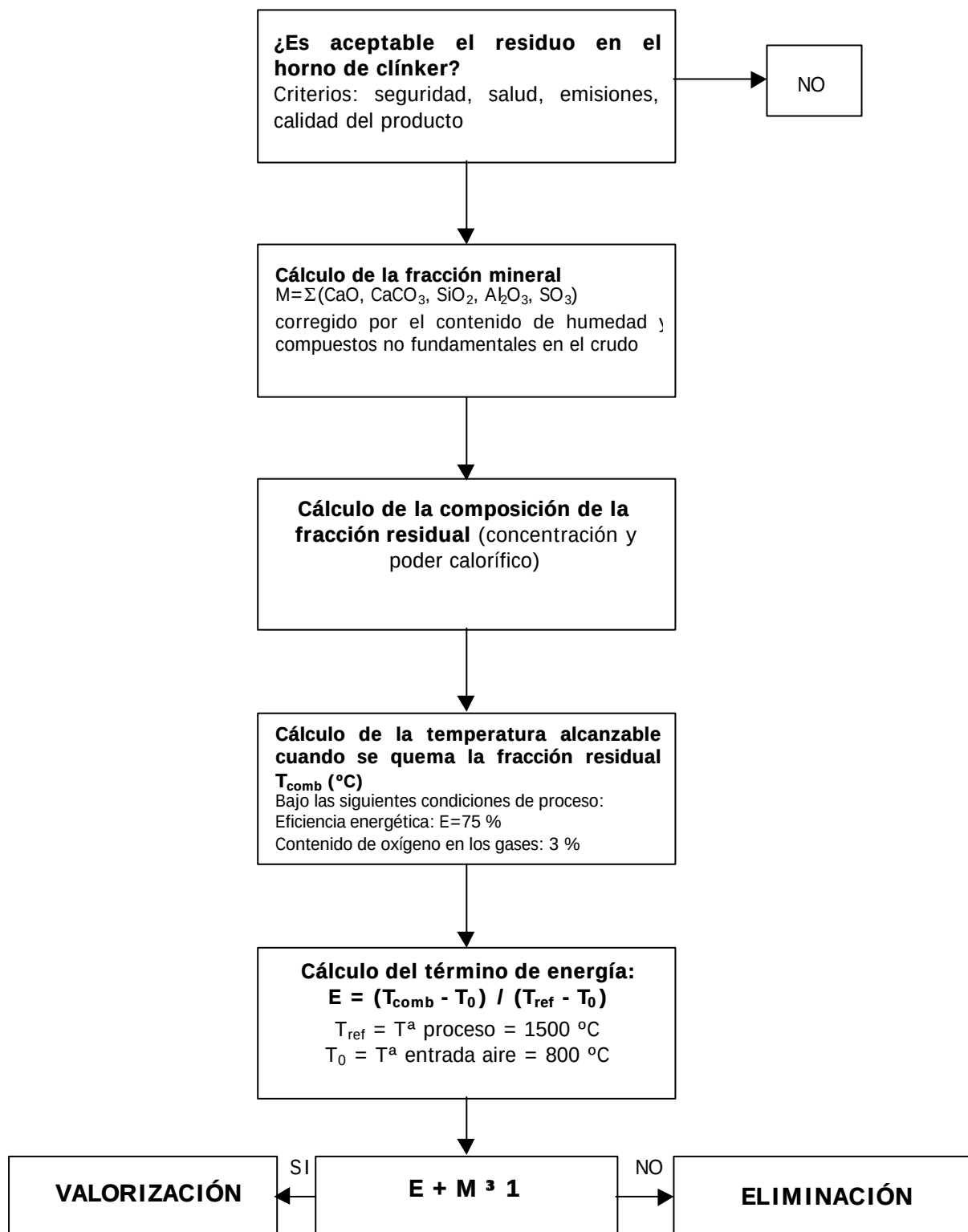
SUECIA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Degerhamn	280	2				*	*		*		*
Skövde	600	1				*	*		*		*
Slite	2.000	2				*					*
TOTAL	2.880										

SUIZA

Ciudad	Capacidad producción (kt/a)	Tipos de hornos				Combustibles utilizados					
		Seco	Semi-seco	Semi-húmedo	Húmedo	Carbón	Fueloil	Gas	F.O. ligero	Petcoque	Alternativos
Brunnen	170			1		*					
Cornaux	270		1				*				
Eclépens	500	1					*	*			*
Olten	370	1				*				*	
Péry	600	1				*				*	*
Rekingen	700	1				*	*				*
Roche	150		1			*	*				*
Station Siggenthal	800	1	1			*	*				*
Thayngen	250			1		*					
Untervaz	850	2				*			*		*
Wildeggen	600	1				*	*			*	*
TOTAL	5.260										

Anexo V. Metodología del Potencial de Recuperación Energética y Material del Residuo



REFERENCIAS

- BASLER, Ernst
 - Bases de la valorisation des combustibles de substitution en cimentières.
- CEMBUREAU
 - Environmental benefits of using alternative fuels on cement production.
 - Alternative fuels in cement manufacture.
 - Best available techniques for the cement industry
 - Empleo de residuos industriales como combustibles alternativos en la industria del cemento.
 - Cement Directory 1996.
- CEN, COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
 - Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA
 - Situación energética de la industria - Sector cementero.
- EMGRISA/HISALBA
 - Contribución de la industria del cemento a la gestión de residuos en España.
- GOSSMAN, David
 - The reuse of petroleum and petrochemical waste in cement kilns.
 - Otros artículos técnicos.
- IDAE/OFICEMEN
 - Libro de ponencias sobre el empleo de residuos industriales como combustible alternativo en la industria del cemento.
- IMPEL NETWORK
 - Impel Workshop.

- OFICEMEN
 - Valorización de residuos y subproductos en fábricas de cemento. PROMA-96.
 - Combustibles alternativos en la fabricación de cemento.
 - Anuario 1999.
 - Revalorización de residuos y subproductos en la industria del cemento.
- PALOMINO GUZMÁN, Santiago
 - Valorización de residuos en plantas de cemento.
 - Alternativas para la eliminación de las harinas de carne y hueso
- RUIZ AMORÓS, Federico
 - Nuevas Tecnologías de Valorización Energética – Fuel Blending Facilities.
- SORIANO, Manuel
 - La valorización de residuos en cementera.
- SPAUN, Sebastián
 - Waste utilisation experience in Austria.
- URCELAI, Carlos
 - Empleo de combustibles alternativos: utilización de neumáticos fuera de uso y otros residuos.
- WALTISBERG, Josef H.
 - Influencia del empleo de combustibles alternativos en la emisión de dioxinas y furanos e un horno de cemento de vía seca.
- Informes medioambientales de los distintos fabricantes de cemento.

Asociaciones de Cemento

- AITEC, Associazione Italiana Tecnico Economica del Cemento
- FEBELCEM, Fédération de L' Industrie Cimentière Belge, a.s.b.l.
- SFIC, Syndicat Français de L' Industrie Cimentière.
- BDZ, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie.
- OFICEMEN, Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- CEMSUISSE.
- BCA, British Cement Association.