

EXPERIENCIA DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO FRANCESA EN EL USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

ALAIN CAPMAS

DIRECTOR GENERAL DE ATILH

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS

La industria del cemento francesa comenzó a usar residuos como sustitutos de las materias primas y de los combustibles fósiles en 1980 y ha aumentado el nivel de sustitución con regularidad desde entonces, hasta llegar a una tasa de sustitución del 33.6 % en 2001.

Los estudios realizados en ámbitos profesionales en respuesta a las inquietudes que surgieron entre todas las partes interesadas han demostrado que el aumento de combustibles de sustitución en el horno vino acompañado por una disminución en las emisiones a la atmósfera y desde que se consolidó este hecho (1999) se ha venido produciendo una disminución constante en la cantidad de elementos minoritarios en el cemento.

Estos indicadores se manejan en el ámbito sectorial en el que se han iniciado acciones para su control.

1. Introducción

La energía ha sido siempre una preocupación principal en la industria del cemento, especialmente desde que el precio de la energía aumentó hasta representar el mayor coste de producción.

De 1973 a 1988, el consumo energético específico consolidado en la producción de cemento decreció desde 4750 MJ/tonelada de clinker hasta 3750 MJ/tonelada. Esta reducción se logró mediante las inversiones en el proceso y por el cierre de algunas plantas. Desde 1988, el consumo energético ha

sido más o menos constante. El progreso en la reducción de costes energéticos se centró en el uso de residuos como combustibles de alternativos, se inició en 1980 y alcanzó cifras significativas de sustitución a partir de 1984, como se muestra en el gráfico siguiente:

CEN (Comité Europeo de Normalización) / TC 51, el grupo encargado de estándares las normas del cemento y de la cal. También es un aspecto medioambiental hay que comparar diferentes soluciones para evitar el vertido final de materiales: reciclado, destrucción...

Consumo de combustible.



La principal preocupación en el uso de combustibles de sustitución era el mantenimiento de la calidad del cemento. Por calidad se debe entender tanto el valor de uso como el aspecto medioambiental.

La calidad en su uso está bien controlada por la aplicación de la Norma Europea EN 197-1, obligatoria en Europa desde abril de 2002. La conformidad se certifica con un nivel de control de 1+, que significa control del proceso y del producto por un organismo notificado. Por encima de este nivel, los responsables franceses solicitaron mantener una certificación voluntaria con parámetros adicionales o requisitos más exigentes, por ejemplo, consistencia de la composición, resistencia inicial mayor, tiempos de fraguado inicial mayores.

El aspecto medioambiental no está resuelto todavía ni en el nivel nacional ni en el europeo. La incorporación de información medioambiental en las normas del cemento de la próxima generación fue decidida en octubre de 2002 por el

2. Estudios medioambientales sobre la reutilización de residuos

2.0. Generalidades

Para usar residuos en grandes cantidades, como neumáticos, harinas cárnicas y óseas animales (MBM), aceite usado, se han iniciado estudios medioambientales específicos con la cooperación de ADEME, la Agencia Francesa para el Control Medioambiental y Energético.

2.1. Neumáticos

La combustión de neumáticos se inició en 1993, alcanzándose las 36.000 toneladas en 2001, lo que representa el 1,5% del consumo energético total. La Agencia de Protección Medioambiental Británica editó un informe que muestra la repercusión favorable de la combustión de neumáticos en hornos de cemento. También se evaluó que los neumáticos tenían

un posible impacto en las emisiones de SO₂ y COV, dependiendo del proceso en el horno y del tratamiento previo de los neumáticos, troceados o enteros. En Alemania se realizó también un estudio con las mismas conclusiones. En Francia, ADEME hizo también un informe que establece las limitaciones del uso de neumáticos, principalmente cuando se usan materias primas piritosas. El informe limita el aumento de emisiones de SO₂, aún cuando se emitan solo a impulsos correspondientes a la introducción de neumáticos enteros que, crean al mismo tiempo una contribución local de sulfatos y condiciones reductoras.

2.2. Aceite usado

El aceite usado ha sido objeto de un estudio de Análisis del Ciclo de Vida completo realizado en 2000 por ECOBILAN, una filial de PWC para ADEME. La conclusión principal de este estudio fue que la valorización del aceite usado como combustible en un horno de cemento era más conveniente que cualquier otra solución, como el reciclado o la regeneración, desde el punto de vista del efecto invernadero, de la acidificación, de la eutrofización y del agotamiento de los combustibles fósiles.

2.3. Harinas animales

La destrucción de residuos cárnicos y óseos (harinas animales) se inició en 1996 como servicio público en tres plantas cementeras. Los resultados fueron considerados excelentes debido al proceso de fabricación del cemento:

- Altas temperaturas (2000° C / 1450° C).
- Condiciones oxidantes en el horno.
- Tiempo considerable de retención del gas.
- Estabilidad de los parámetros de incineración.
 - Destrucción completa de residuos
- Flujo a contracorriente de materia prima en polvo seco.
- Naturaleza básica de la materia prima.
 - Neutralización de indicios ácidos
- Fijación de metales.
- Ausencia de residuos de combustión.

Desde el punto de vista de las Autoridades Francesas, la destrucción de las harinas en la planta de cemento es, con diferencia, la mejor técnica disponible.

En 2001 surgieron preocupaciones acerca de las dioxinas emitidas a la atmósfera debidas al cloruro de las harinas. En la Tabla siguiente figuran los resultados de mediciones hechas con y sin harinas sustituyendo parcialmente el combustible del horno Tabla 1.

La producción acumulada de dioxinas en todas las plantas francesas en el año 2001 representa menos de 0,5 g de dioxinas.

La cantidad de harinas consumidas como combustible en hornos de cemento aumentó de manera constante desde 1996 hasta alcanzar las 260.000 toneladas en 2001 y 350.000 toneladas en 2002. La perspectiva para 2003 es la destrucción de más de 400.000 toneladas, lo que va a representar solo el 50 % de la producción de harinas.

Las Autoridades Francesas han puesto en marcha un programa para buscar otros procesos para la eliminación de residuos cárnicos en 2002 y han recibido algunas propuestas.

2.4. Residuos usados como sustitutos de materias primas

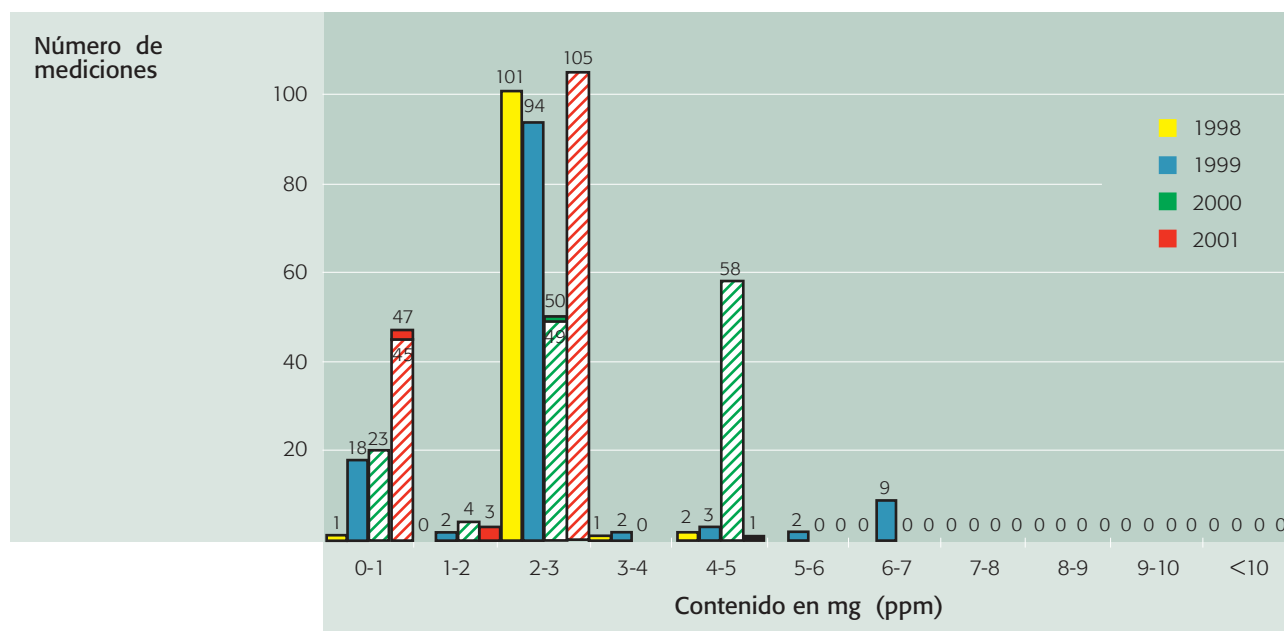
Otras industrias están ofreciendo residuos a la industria del cemento para su reciclado. Para cada residuo se hace un análisis completo con el fin de verificar la viabilidad de su uso en el proceso. Se ha firmado un código de buenas prácticas dentro de la industria para definir los residuos aceptables:

- Los elementos principales se deben corresponder con elementos presentes en el cemento hasta el 80 % como mínimo.
- Los elementos minoritarios se definen con límites específicos.

Tabla 1.

mg de I-TEQ/Nm ³ de dioxinas	Número de resultados	Mínimo	Máximo	Promedio	Límite legal
0% de MBM	22	0,002	0,069	0,018	< 0,1
10 – 20% de MBM	40	0,00002	0,087	0,014	<0,1

CEM I (Mercurio)



Cada empresa ha acordado también la aceptación de un procedimiento y de un esquema de control de calidad.

Esta estandarización recoge la armonización de criterios de comportamiento y la elaboración de procedimientos de verificación.

3. Calidad medioambiental del cemento

3.0. Generalidades

La calidad medioambiental del cemento es una preocupación creciente en Europa. El CEN ha adoptado la idea de que en el 2002 todas las normas deben cumplir el requisito esencial CPD nº 3 (E.R.3) de la Directiva de Productos de Construcción. Esta decisión va a significar que el CEN/TC 51 va a incluir en las normas, del cemento, la EN197-1 en la próxima revisión, disposiciones relativas al medioambiente, higiene y seguridad. La información que se va a normalizar será probablemente:

- La hoja informativa de seguridad
- La hoja informativa medioambiental
- Instrumentos para realizar Análisis del Ciclo de Vida.

Además del requisito nº 3, las especificaciones pueden tener que cumplir la futura directiva relativa a limitaciones en la comercialización y uso del cemento.

3.1. Medición de elementos minoritarios en el cemento

La medición de elementos minoritarios que no exceden de varias partes por millón en el cemento que es un producto de base natural, no es fácil. La mayor parte de los procedimientos usados actualmente tienen dificultades para diferenciar los elementos minoritarios de los componentes y combinaciones principales. El procedimiento más sensible es el ICP – MS, que es un procedimiento de investigación en el laboratorio que no se puede aplicar como análisis de rutina. Se deben desarrollar otros procedimientos como el ICP – AES, aunque no son recientes, para armonizar el límite de detección, que puede variar en un factor 10 entre diferentes laboratorios.

El caso del mercurio medido en 1998 – 2001 en todos los CEM I producidos en Francia ilustra las discrepancias entre los umbrales de detección: las dos poblaciones aparentes que se ven en el histograma corresponden a límites de detección diferentes y no a diferencias reales en los contenidos de mercurio.

Tabla 2.-

Grupo I

ppm	Cd	Hg	Ti
1999	2.98	3.01	12.2
2000	2.65	3.41	9.99
2001	1.79	1.86	6.71

Grupo II

ppm	Sb	As	Pb	Cr	Co	Ni	V	Sn	Se	Te
1999	9.02	22.90	20.69	91.41	7.27	44.40	107.67	9.10	14.03	9.50
2000	6.43	14.64	15.92	87.57	6.75	42.56	110.66	5.00	11.01	7.98
2001	5.45	14.33	14.82	73.11	6.96	37.87	103.61	5.00	9.28	8.57

Grupo III

ppm	Cu	Mn	Zn
1999	21.40	336.48	94.59
2000	24.92	390.49	90.20
2001	29.00	377.84	104.88

Incluso con estas incertidumbres, los valores promedio de los elementos minoritarios en el CEM I de la Industria del Cemento Francesa han disminuido entre 1999 y 2001 (ver Tabla 2).

Este decrecimiento de todos los elementos de los Grupos I y II coincide con el aumento de los combustibles de sustitución del 25,0 % al 33,6 % como promedio sectorial, contrariamente a la percepción general. Este efecto se puede atribuir parcialmente a las mejoras en la detección, pues cuando un elemento no se puede medir se toma el valor límite de la detección. Pero el decrecimiento también se puede observar en los valores medidos más altos. Se debe recordar que los combustibles fósiles contienen metales pesados, pero también materias primas naturales los contienen.

3.2. Seguimiento del comportamiento a corto plazo de los elementos minoritarios en el cemento

El caso del cromo VI está actualmente en estudio. Sin entrar a evaluar la conveniencia de la adición de sulfato ferroso, es importante medir la cantidad de cromo soluble durante la mezcla y colocación del hormigón. Pero el cromo se disuelve rápidamente, mientras que el sulfato ferroso se disuelve más lentamente, regulado por la energía de la mezcla y el tiempo de reacción con el cromo VI, reduciéndolo a un valor no medible. En cualquier caso, el cromo VI precipita más tarde

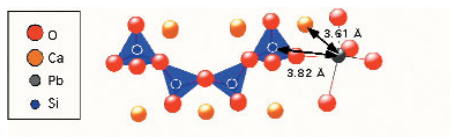
con minerales del grupo de la familia de la etringita a otra velocidad. Teniendo en cuenta este comportamiento, pruébale método de medida tiene que reproducir en lo posible las velocidades reales de las reacciones en el hormigón. Esto no se ha tenido en cuenta hasta ahora, pero se ha convertido en una cuestión clave si se tiene que restringir la comercialización de cementos con contenido de cromo VI superior a 2 ppm.

Los dermatólogos han advertido que algunas personas alérgicas a productos como el cromo, cobalto, níquel o cobre pueden presentar reacciones alérgicas con concentraciones mucho más bajas, incluso menores que unas pocas partes por billón (ppb). Obviamente, la reducción del límite de detección para estos elementos hasta el nivel lo más bajo posible tiene una importancia estratégica. Por supuesto que, en estas condiciones, la mejor y única solución es el uso de guantes al colocar preparados de cemento.

3.3. Seguimiento del comportamiento a largo plazo de los elementos minoritarios del cemento

El comportamiento a largo plazo de los elementos minoritarios es también una cuestión importante para el confinamiento de residuos finales, como los residuos nucleares o las cenizas volantes de las incineradoras de residuos municipales. Se han realizado estudios completos en la industria nuclear

El caso del plomo. En la estructura de In CSH.



para conocer la estabilidad de la envoltura de hormigón. Todos muestran un comportamiento del hormigón excelente a muy largo plazo. Pero la limitación de estos estudios proviene de la gran estabilidad de condiciones usadas, que corresponden a almacenamientos profundos. Se han hecho también estos estudios en condiciones más próximas a las encontradas en tierra, y todavía siguen en curso.

Todos estos estudios obtuvieron buenos resultados:

- El hormigón libera menos elementos minoritarios a largo plazo que la cantidad medida en el agua mineral,
- Tras 10 años de lluvia ácida, la liberación sigue siendo difícilmente detectable,
- La liberación no se corresponde con la cantidad inicial de elementos minoritarios en el cemento, lo que evidencia que los elementos minoritarios están fijos en la matriz y no solamente retardados en la porosidad del hormigón.

Otras investigaciones básicas han puesto de manifiesto la manera en que fueron retenidos en la matriz los elementos minoritarios del cemento: el plomo, cinc, níquel... están fuertemente adheridos g, en el CSH, y sólo se pueden liberar si se produce una destrucción total de la pasta. El cromo VI es un sustituyente en las fases de hierro y aluminato. Los nuevos estudios tratan de investigar la cantidad máxima aceptable por la matriz como sustitutos.

4. Impacto medioambiental de las plantas de cemento

4.0. Generalidades

Existe también interés y a veces preocupación acerca del impacto medioambiental de las plantas de cemento. Existe un

recuerdo perdurable de los tiempos en que los alrededores de las plantas de cemento eran grisáceas a causa de la emisión de polvo. Hoy hay preocupaciones por el uso de sustancias peligrosas como algunos residuos.

4.1. Medición de los contaminantes en la chimenea

Gracias a la gestión medioambiental muchos contaminantes se miden de modo continuo en la chimenea:

- polvo
- NO_x
- SO₂
- HCl
- COV

Estos valores se consolidan en ATILH y se sigue su evolución como indicadores medioambientales en la gestión medioambiental. Por ejemplo, la emisión promedio de polvo ha disminuido desde 48 mg/Nm³ en 1999 hasta 18 mg/Nm³ en 2001 (partiendo de valores superiores a 8000). Las emisiones de NO_x han disminuido desde 743 mg/Nm³ en 1999 hasta 666 mg/Nm³ en 2001. Esta última mejora se obtuvo haciendo pruebas con técnicas de reducción primaria recomendadas en el documento BREF para cemento.

Otros muchos contaminantes se miden por muestreo y análisis puntual. En el 2000 se han organizado mediciones de contaminantes de la lista EPER en cuatro plantas de cemento en las que cada una operaba con un proceso diferente. A partir de estas mediciones se ha preparado un documento para ayudar a las fábricas en sus declaraciones de emisiones anuales, cuando se soliciten.

4.2. Evaluación del impacto de una planta de cemento en el vecindario

Sin embargo, la medición no es suficiente, ya que los responsables no están interesados en los valores, sino en los riesgos asociados con estos valores. Y existe una gran sensibilidad respecto de los riesgos ocasionados, muy superior a la sensibilidad respecto de otros riesgos aceptados (como el tabaco, el tráfico...). Se tienen que organizar y publicar estudios epidemiológicos.

gicos y toxicológicos. En Francia han sido investigadas dos plantas por un equipo de científicos. El informe es muy voluminoso y difícil de comunicar. Se ha hecho un estudio específico con ayuda de un epidemiólogo para organizar la información y hacerla útil. Por ejemplo, se ha comparado el valor correspondiente a la cantidad de elementos minoritarios presentes en el área más expuesta con los valores exigidos para el cultivo de verduras. Tendrían que pasar 100.000 años en la zona más expuesta para que alcance los valores de los límites aceptables. Es un tiempo realmente largo para una planta de cemento y sus canteras.

Los datos se han organizado también para agrupar la información sobre riesgos cancerígenos y sobre efectos sistémicos. Todos los resultados son, como mínimo, diez veces menores que los límites aceptables. Sin embargo, incluso con el informe organizado para que sea más comprensible, la información sigue siendo difícil de entender. Es necesario contar con intermediarios, como doctores locales o la administración local para convencer a los vecinos de la planta.

5. Conclusión

La energía va a seguir siendo una preocupación importante para la industria del cemento, y el uso de combustibles de sustitución va a ser inevitable para mantener la competitividad. Esto no es un argumento que haga pensar que el cambio es contrario al medioambiente, sino que, por el contrario, en este artículo se ha demostrado que es favorable a la protección medioambiental. Los flujos de residuos están cada vez mejor organizados e incluso los residuos se certifican por su calidad y servicio. La Industria del Cemento Francesa ha acordado un procedimiento común de un esquema de aceptación y control de calidad de residuos. Las emisiones se controlan en la chimenea, así como las concentraciones de elementos minoritarios del cemento. La evaluación de riesgos se está explorando, pero por el momento no se dispone de datos comparativos por plantas.

Se puede lograr el desarrollo sostenible mediante la gestión medioambiental, que comprende:

- Medición de los elementos contaminantes
- Evaluación de riesgos que implican las concentraciones
- Comunicación y toma de decisiones

De estos elementos, la comunicación es probablemente el de más difícil realización ya que es nuevo para todos.



"Reciclaje y valorización energética de aceites usados. Desgracias y debilidades"; ADEME ISBN2-86817-496-5.

"Evaluación de la situación ambiental de la producción de clinker..."; Cemento y Hormigón n° 836 05/02.

"Evaluación de procedimientos instrumentales de análisis de elementos minoritarios": H. Taylor; BCA.TEAM-CC:0-1.1994.

"Evolución y cuantificación de los sensibilizadores mas importantes en los cementos Pórtland comerciales"; M. Frías; materiales de construcción; vol 52, n°265; enero/febrero/marzo 2002.

"Etude du comportement à la lixiviation des bétons de route: quantification des teneurs en métaux lourds relargués au cours du "tank test""; AM. Marion; report CRIC 1999-2000.

"Cinétique et mécanisme de relargage des métaux lourds présents en trace dans les matrices cimentaires"; E. Moudilou; thèse Université d'Orléans; France; décembre 2000.

"spéciation du plomb, du cuivre, du zinc du chrome III et VI dans les hydrates de ciment"; I. Moulin; thèse Université d'Aix Marseille; France ; février 1999.

Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias de fabricación de cemento y cal; EC; Marzo 2000.

Decisión de la CE de 17 julio 2000 sobre la aplicación del Registro de Emisiones Contaminantes Europeo (EPER).