

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO. INFORME SOBRE EMISIONES

DR. JOSEP RIVERA

*INVESTIGADOR RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ESPECTOMETRIA
DE MASAS*

INSTITUTO DE QUÍMICA AMBIENTAL DE BARCELONA: CSIC

DR. ESTEBAN ABAD

LABORATORIO DE DIOXINAS

INSTITUTO DE QUÍMICA AMBIENTAL DE BARCELONA: CSIC

En el marco de un convenio de colaboración entre Oficemen y el CSIC, se han analizado las emisiones de hornos que utilizan como combustibles alternativos neumáticos usados y harinas animales. Los resultados de las emisiones de dioxinas en estos hornos no difieren estadísticamente de los de hornos que no usan residuos como combustible.

1. Antecedentes

Con fecha quince de enero de 2002, el Excmo. Sr. D. Rolf Tarrach Siegel, Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en virtud de nombramiento según Real Decreto 1557/2000, de 22 de diciembre, y D. Manuel de Melgar Y Oliver, Presidente de OFICEMEN en representación de dicha entidad por acuerdo estatuta-

rio, suscribieron un convenio de colaboración cuyo objeto es la realización de trabajos de investigación y actividades de control de producción de cemento que tengan relación con el Medio Ambiente. En dicho convenio se abordaron tres temas específicos:

- a) Estudio de clínkeres producidos en fábricas donde se valorizan harinas ani-

la industria cementera y el medio ambiente

males y otros residuos y subproductos como combustibles alternativos.

- b) Estudio de la proporción de dioxinas y metales pesados contenidos en los gases y en los cementos producidos.
- c) Estudio de la lixiviación de metales en hormigones y morteros.

Este Informe es el resultado del Estudio de las emisiones de dioxinas y furanos, y de metales dentro del citado convenio OFICEMEN-CSIC.

2. Objetivos

El objeto del estudio es determinar si las emisiones de los hornos de clínker durante el empleo de residuos como combustible alternativo se mantienen en unos valores que permiten garantizar la calidad ambiental del entorno. En particular se estudiarán las emisiones de dioxinas y furanos y metales pesados, por ser las que demandan mayor interés por parte de la sociedad en relación con los procesos de valorización de residuos en general.

3. Metodología

Para la ejecución del estudio se seleccionaron tres fábricas atendiendo a los tipos de residuos que utilizan, por ser las harinas animales y los neumáticos los residuos más utilizados actualmente en España. En las tres fábricas el combustible fósil empleado tradicionalmente es el coque de petróleo, con un poder calorífico inferior de 7.500 kcal/kg.

Fábrica 1: sustituye parcialmente el combustible por harinas animales, con un poder calorífico inferior de unas 3.500 kcal/kg.

Fábrica 2: sustituye parcialmente el combustible por neumáticos fuera de uso, con un poder calorífico inferior de unas 6.500 kcal/kg.

Fábrica 3: sustituye parcialmente el combustible por harinas animales y neumáticos fuera de uso.

Dioxinas y furanos. Se solicitó a un Organismo de Control Autorizado dos tomas de muestras en cada fábrica, más una en blanco. La determinación cuantitativa fue realizada en los laboratorios del IIQAB del CSIC.

Metales pesados y sus compuestos. Se solicitó a un Organismo de Control Autorizado la toma de muestras y posterior analítica de las emisiones de los siguientes elementos: Mercurio, Cadmio, Talio, Antimonio, Arsénico, Cobre, Cromo, Cobalto, Manganeso, Níquel, Plomo y Vanadio, en dos campañas diferentes para cada fábrica.

La toma de muestras y posterior análisis se realizó de acuerdo con métodos normalizados internacionales (ISO), europeos (EN) o de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), o bien instrucciones propias de las Entidades Colaboradoras de la Administración basados en los anteriores.

- Toma de muestras de dioxinas y furanos: Procedimientos internos basados en la Norma UNE 1948-1:1996 (Método de Filtro/Condensador/adsorbente sin división de flujo) y en la UNE 77-223:1997 para la determinación de partículas sólidas.
- Determinación de dioxinas y furanos según la norma UNE-EN 1948-2 y 3:1996.
- Toma de muestras de metales, basados en norma 29 de la US EPA.

Al realizar el análisis de metales en muchas ocasiones los valores obtenidos estaban por debajo de los límites de determinación. En esos casos, el resultado se ha expresado precedido del signo "<". Para algunos metales el límite establecido por la legislación corresponde a la suma de las concentraciones de un grupo de elementos. Para realizar esas sumas cuando los valores de algún elemento eran menores que el límite de determinación se ha sumado el valor de dicho límite. Los límites de determinación dependen de la precisión del método analítico empleado, incluyendo características de los equipos de cada laboratorio, y de algunas condiciones específicas del muestreo, por lo que cada medición puede llevar asociado un límite de determinación diferente.

la industria cementera y el medio ambiente

Los muestreos se realizaron durante la marcha estable del horno, con una alimentación de residuos cuya cantidad varía de una fábrica a otra en función de la disponibilidad de los mismos. Son cantidades que pueden considerarse como habituales en las fábricas que valorizan residuos en España, en torno a valores del 5 %, 10 %, y 15 % de sustitución de energía térmica de residuos respecto del total de energía aportada al horno. La experiencia en otros países ha mostrado resultados positivos con porcentajes de sustitución de incluso más del 90 %.

Fábrica 1:

Fábrica con proceso vía seca, precalcinador, y precalentador de ciclones de 5 etapas. El foco analizado recibe dos caudales: uno procedente de los gases de combustión del horno y otro procedente del enfriador de clínker y compuesto de aire exterior y partículas de este material. Ambos caudales se hacen pasar conjuntamente por un filtro de mangas para su desempolvado.

Primera campaña: 16 y 17/05/2002.

- Alimentación de combustible tradicional: 15,6 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: 1,6 y 2 t/h de harinas animales. Punto de alimentación: quemador principal. Porcentaje de sustitución térmica por residuos: entre 4,8 % y 6 %.
- Alimentación de materia prima ("crudo"): 230 t/h.

Segunda campaña: 25 y 26/03/03.

- Alimentación de combustible tradicional: 15,6 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: 1,6 y 2 t/h de harinas animales. Punto de alimentación: quemador principal. Porcentaje de sustitución térmica por residuos: entre 4,8 % y 6 %.
- Alimentación de materia prima: 230 t/h.

Fábrica 2:

Fábrica con proceso vía seca, precalcinador, y precalentador de ciclones de 4 etapas. Limpieza de partículas en los gases de salida mediante filtro de mangas.

Primera campaña 15 y 16/07/2002.

- Alimentación de combustible tradicional: 8,5 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: 1 t/h de neumáticos. Punto de alimentación: precalcinador. Porcentaje de sustitución térmica: 9,4 %.
- Alimentación de materia prima: 100 t/h.

Segunda campaña 10 y 11/12/2002.

- Alimentación de combustible tradicional: 8,5 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: 1 t/h de neumáticos. Punto de alimentación: precalcinador. Porcentaje de sustitución térmica: 9,4 %.
- Alimentación de materia prima: 100 t/h.

Fábrica 3:

Fábrica con proceso vía seca, precalcinador, y precalentador de ciclones de 4 etapas. Limpieza de partículas en los gases de salida mediante electrofiltro.

Primera campaña: 13/9/2002.

- Alimentación de combustible tradicional: entre 5,7 y 7,8 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: entre 1,0 y 1,2 t/h de neumáticos (dosificados en el precalcinador), más 0,7 t/h de harinas animales (dosificadas en el quemador principal). Porcentaje de sustitución térmica alrededor del 10 % y el 4 %, respectivamente, de neumáticos y harinas animales, con una sustitución total del 14 %.
- Alimentación de materia prima: entre 110 y 125 t/h.

Segunda campaña: 05/02/2003 y 17/07/2003

- Alimentación de combustible tradicional: entre 6,6 t/h de coque de petróleo.
- Alimentación de residuos: 0,6 t/h de neumáticos (dosificados en el precalcinador), más 0,7 t/h de harinas animales (dosificadas en el quemador principal). Porcentaje de sustitución térmica de alrededor del 8 % y el 5 %, respectivamente, de neumáticos y harinas animales, con una sustitución total del 13 %.
- Alimentación de materia prima: 110 t/h.

la industria cementera y el medio ambiente

4. Resumen de resultados

Las referencias legales más recientes que nos permiten hacer una presentación de los resultados obtenidos con unos valores de emisión comparativos son la Directiva 2000/76 sobre incineración y co-incineración de residuos y su transposición al ordenamiento jurídico estatal a través del Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos. En ellas se establecen los valores límite de emisiones que todo tratamiento térmico de residuos debe cumplir para mantener un elevado grado de protección al medio ambiente y a la salud de las personas. Esta legislación, más estricta que las anteriores directivas comunitarias relativas a la incineración de residuos, será de aplicación a estas fábricas a partir del 31 de diciembre de 2005, y constituye una referencia importante para la evaluación de las emisiones durante la valorización de residuos.

En ella se establecen las condiciones particulares para los hornos de cemento que valoricen residuos, atendiendo a sus características específicas que lo diferencian de otros procesos de incineración y co-incineración:

- Las emisiones de metales y de dioxinas y furanos tienen los mismos límites que para las instalaciones de incineración.
- Para otras sustancias, se debe tener en cuenta que en parte pueden generarse del procesado de la materia

prima, que se realiza en contacto directo con los gases de combustión, y no de la combustión de los residuos en sí.

- La legislación establece las condiciones para obtener resultados comparables con los límites de emisión. Los resultados de las mediciones de los hornos de clínker se expresan en masa de la sustancia por Nm³ de gas emitido, y se referencian al 10 % de oxígeno para los gases procedentes de la combustión.

Se resumen a continuación los resultados de las mediciones de emisiones efectuadas en las tres fábricas comparándolas con los límites establecidos por el Real Decreto 653/2003.

4.1. FÁBRICA 1. Harinas animales

4.1.1 Emisiones de metales y sus compuestos.

(Ver Tabla 1).

4.1.2 Emisiones de dioxinas y furanos.

(Ver Tabla 2).

Tabla 1.- Emisiones de metales y sus compuestos.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm ³) (duración del muestreo: 120')	Segunda campaña (mg/Nm ³) (duración del muestreo: 120')	Valor límite RD* (mg/Nm ³)
Hg	0,028	0,0016	0,050
Cd+Tl	0,013	0,0092	0,050
Sb+As+Cu+Cr+Co+Mn+Ni+Pb+V	0,297	0,1463	0,500

* Real Decreto 653/2003

Tabla 2.- Emisiones de dioxinas y furanos.

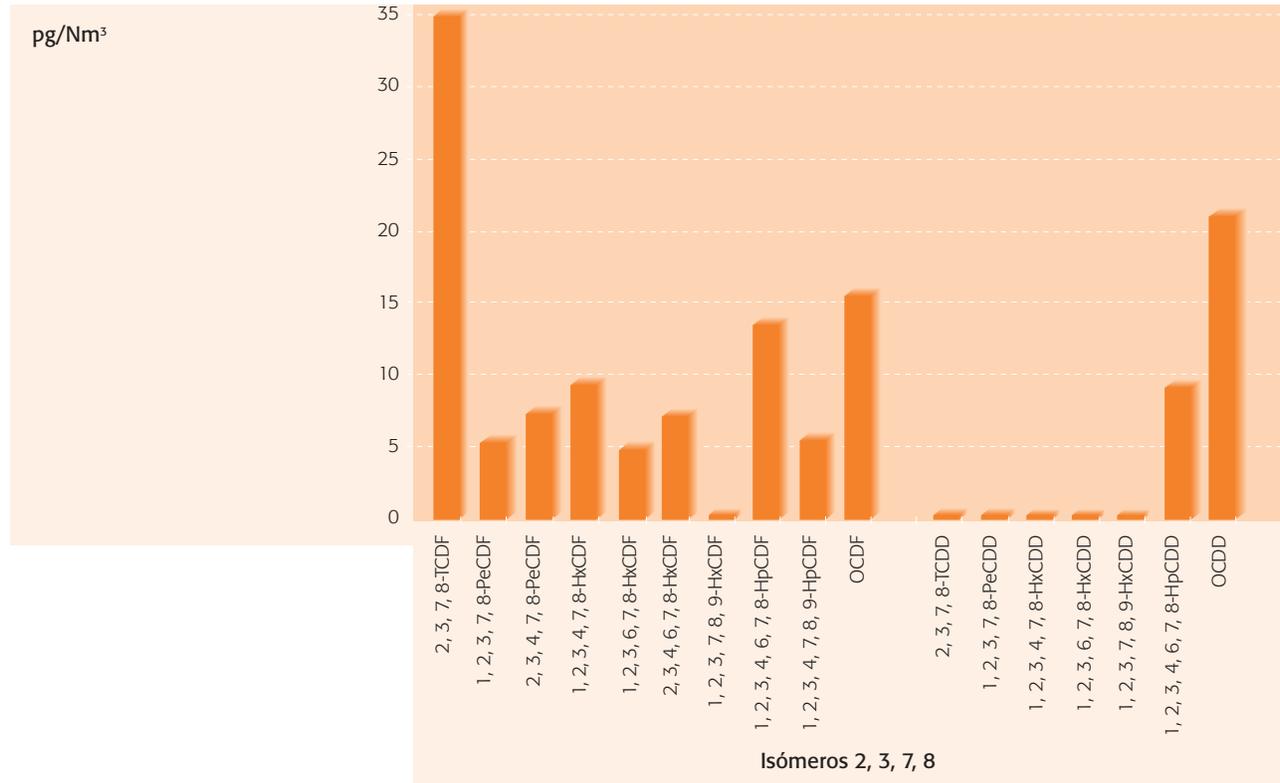
Primera campaña (ng I-TEQ/Nm ³)	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm ³)	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm ³)
0,009	0,001	0,1

* Real Decreto 653/2003

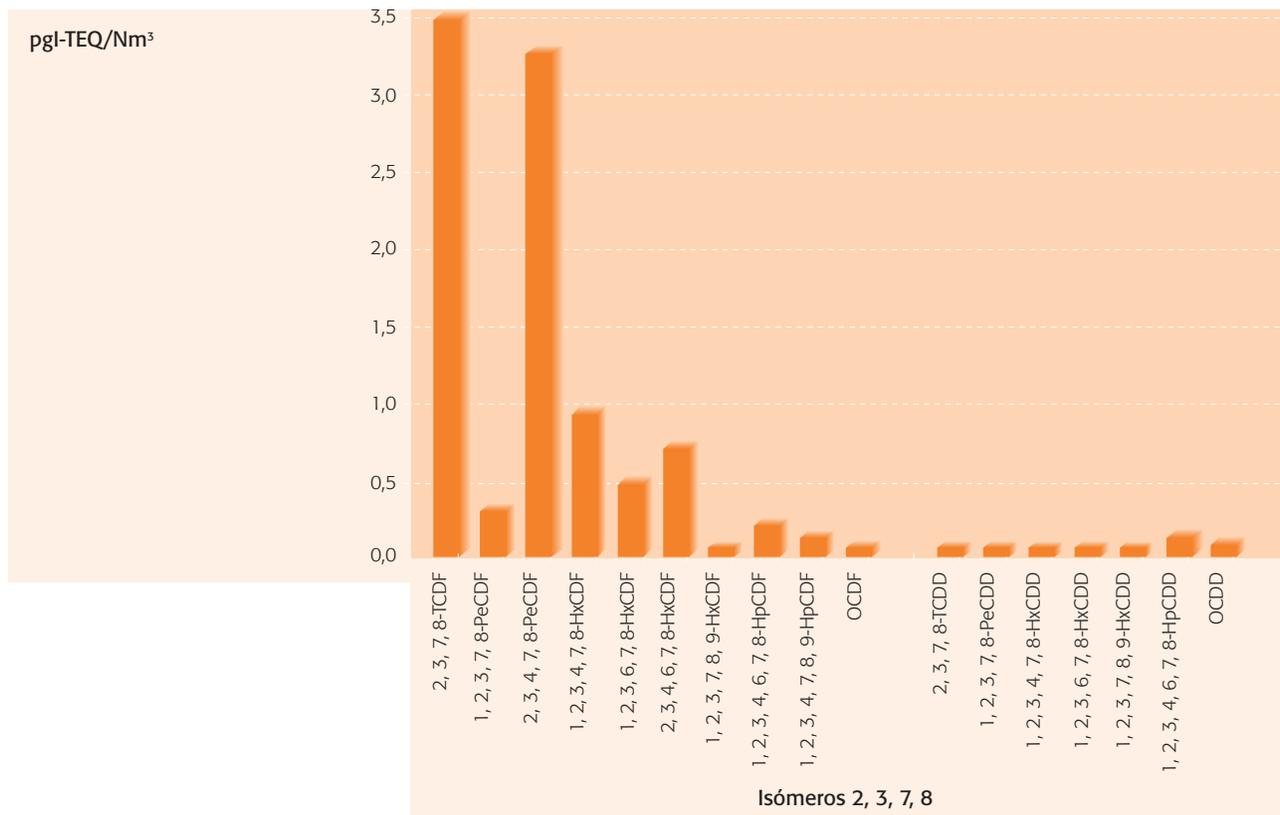
la industria cementera y el medio ambiente

Con las siguientes distribuciones por congéneres:

Primera campaña. Fábrica 1. Harinas animales.

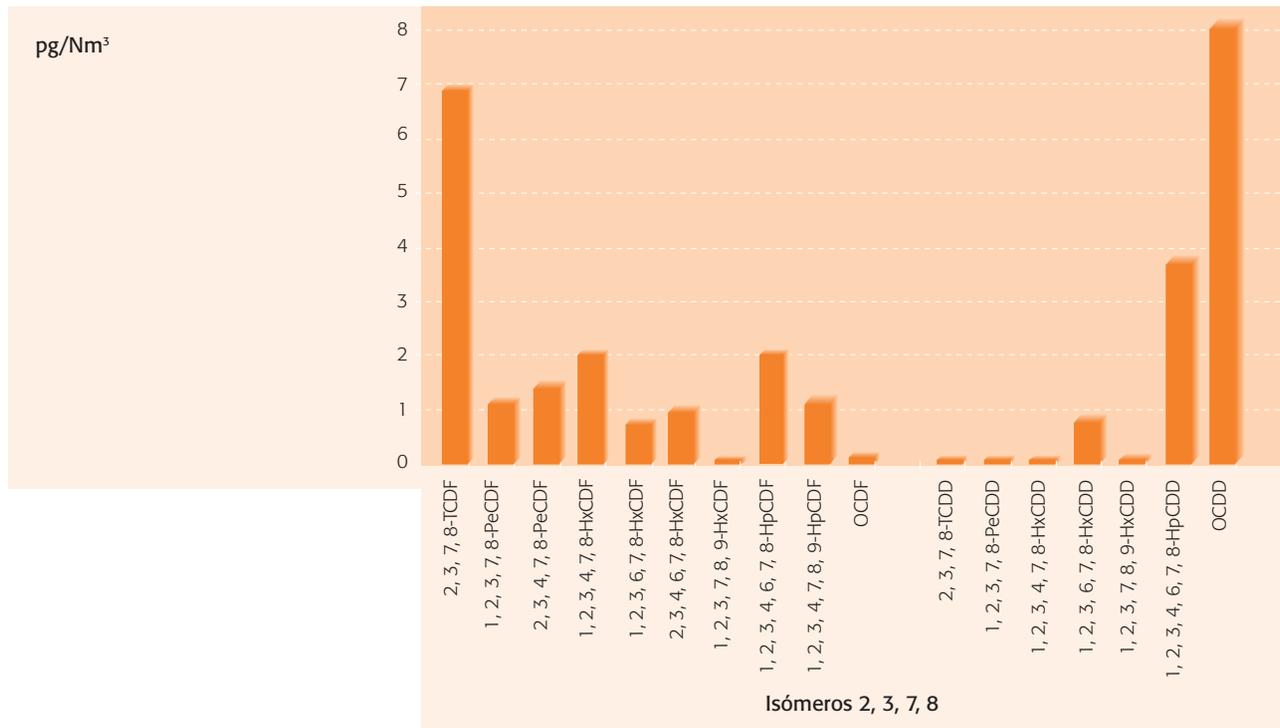


Primera campaña. Fábrica 1. Harinas animales.

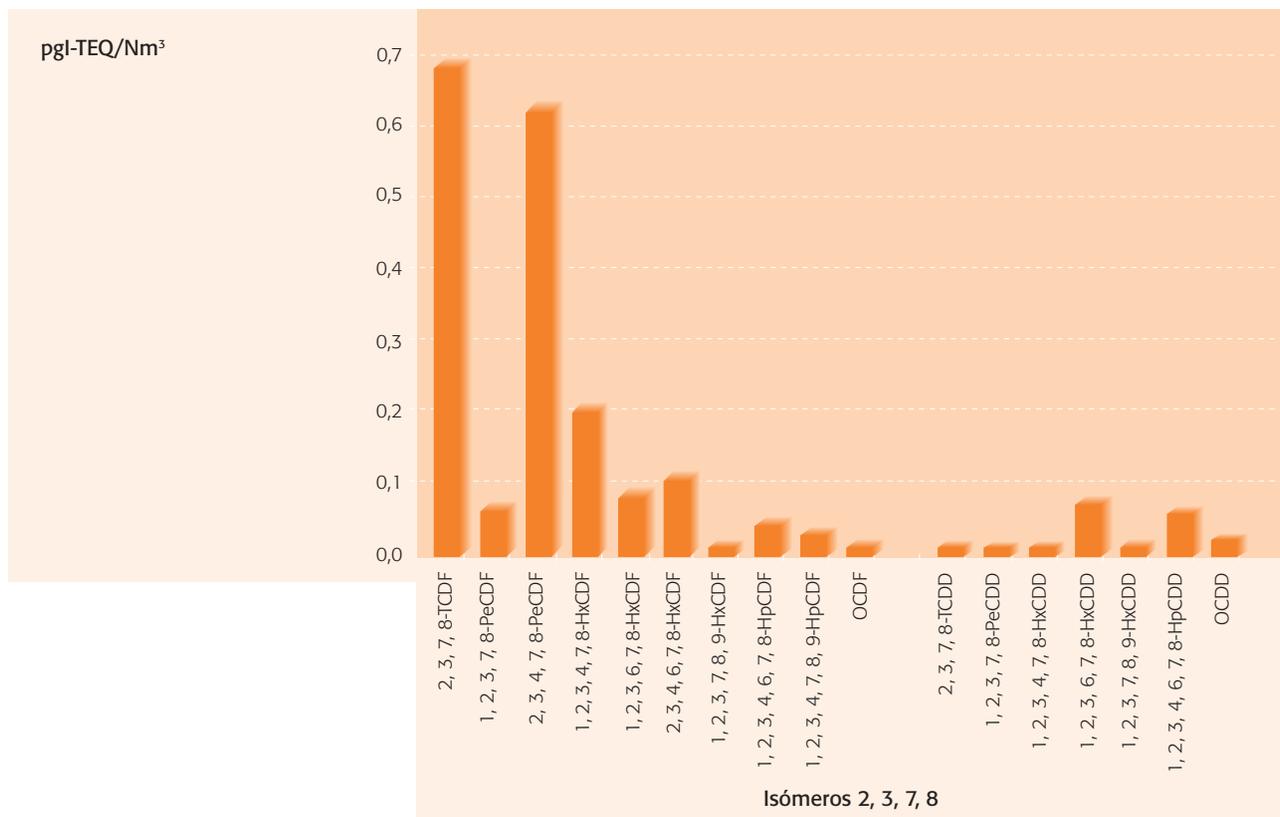


la industria cementera y el medio ambiente

Segunda campaña. Fábrica 1. Harinas animales.



Segunda campaña. Fábrica 1. Harinas animales.



la industria cementera y el medio ambiente

Tabla 3.- Emisiones de metales pesados.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm ³) (valor medio de dos muestreos de 70 y 60')	Segunda campaña (mg/Nm ³) (valor medio de dos muestreos de 60')	Valor límite RD* (mg/Nm ³)
Hg	<0,036	<0,037	0,050
Cd+Tl	<0,048	<0,044	0,050
Sb+As+Cu+Cr+Co+Mn+Ni+Pb+V	<0,269	<0,159	0,500

* Real Decreto 653/2003

Tabla 4.- Emisiones de dioxinas y furanos.

Primera campaña (ng I-TEQ/Nm ³)	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm ³)	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm ³)
0,026	0,042	0,1

* Real Decreto 653/2003

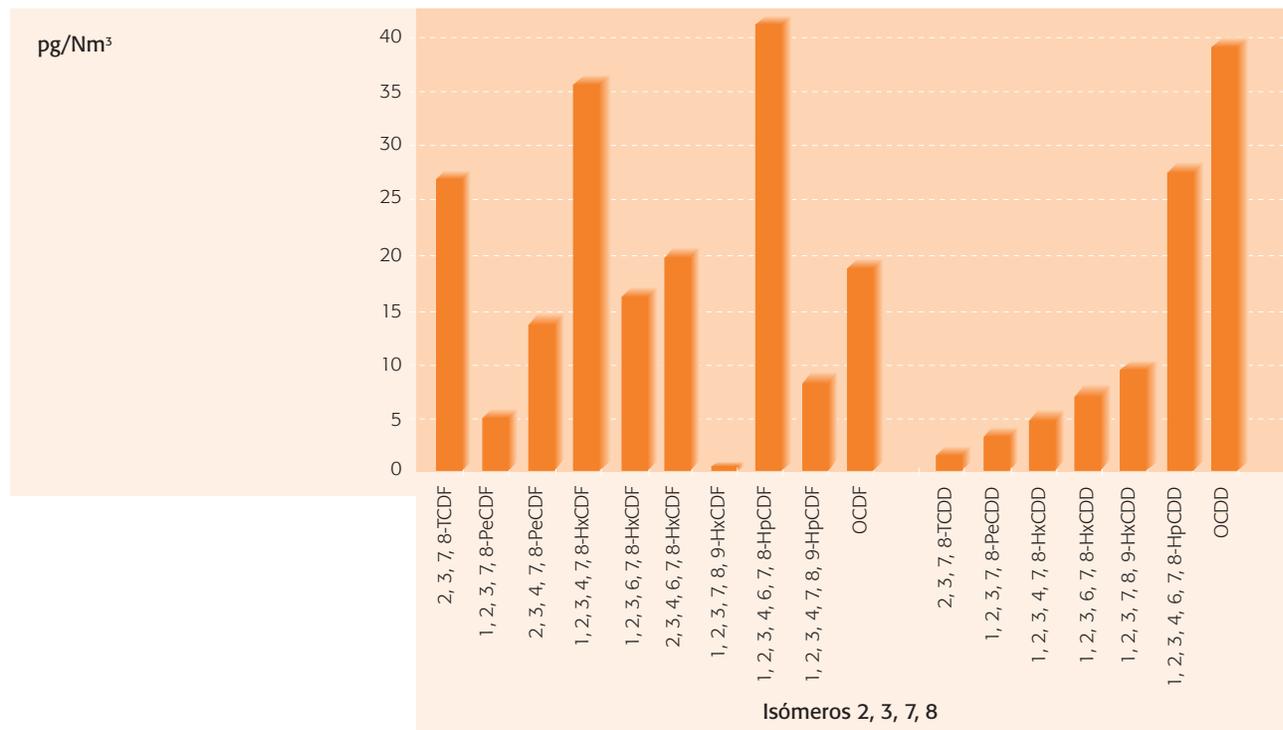
4.2. FÁBRICA 2. Neumáticos fuera de uso

4.2.1 Emisiones de metales pesados. (Ver Tabla 3).

4.2.2 Emisiones de dioxinas y furanos. (Ver Tabla 4).

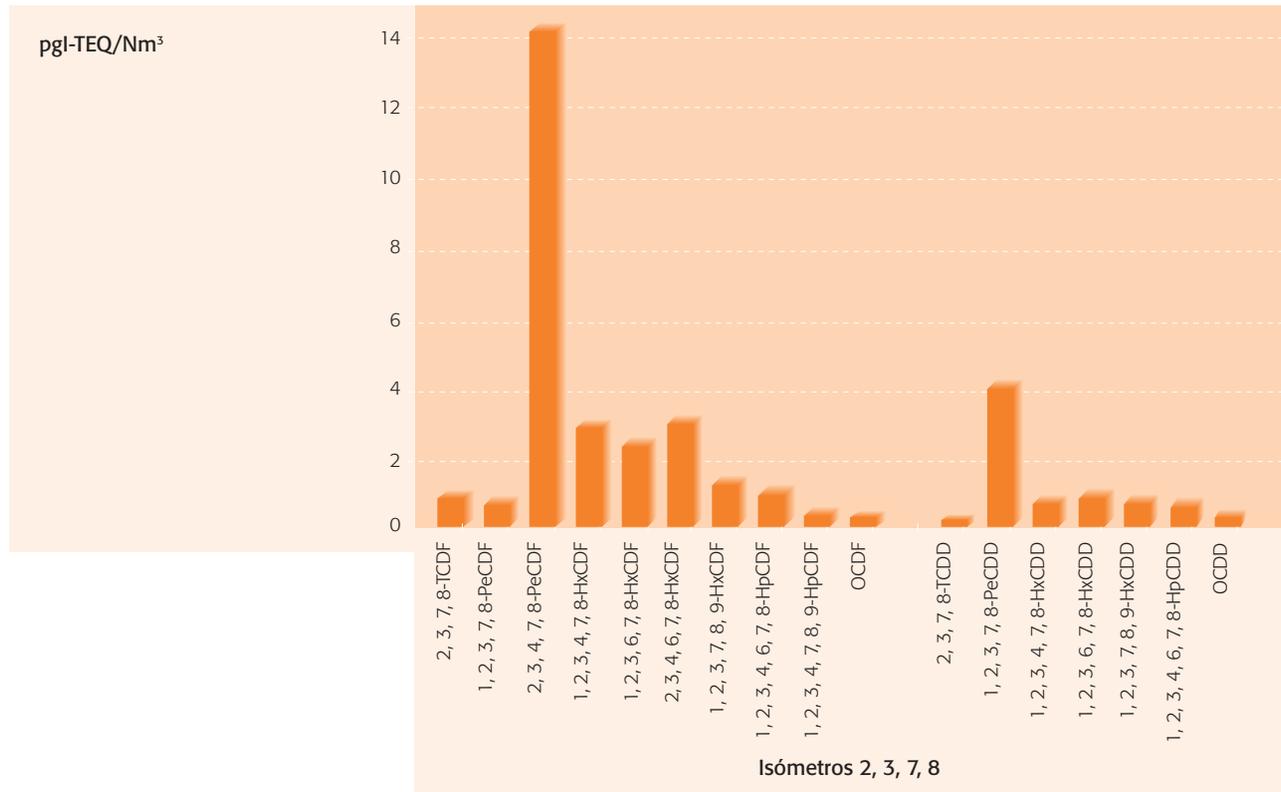
Con las siguientes distribuciones por congéneres:

Primera campaña. Fábrica 2. Neumáticos fuera de uso.

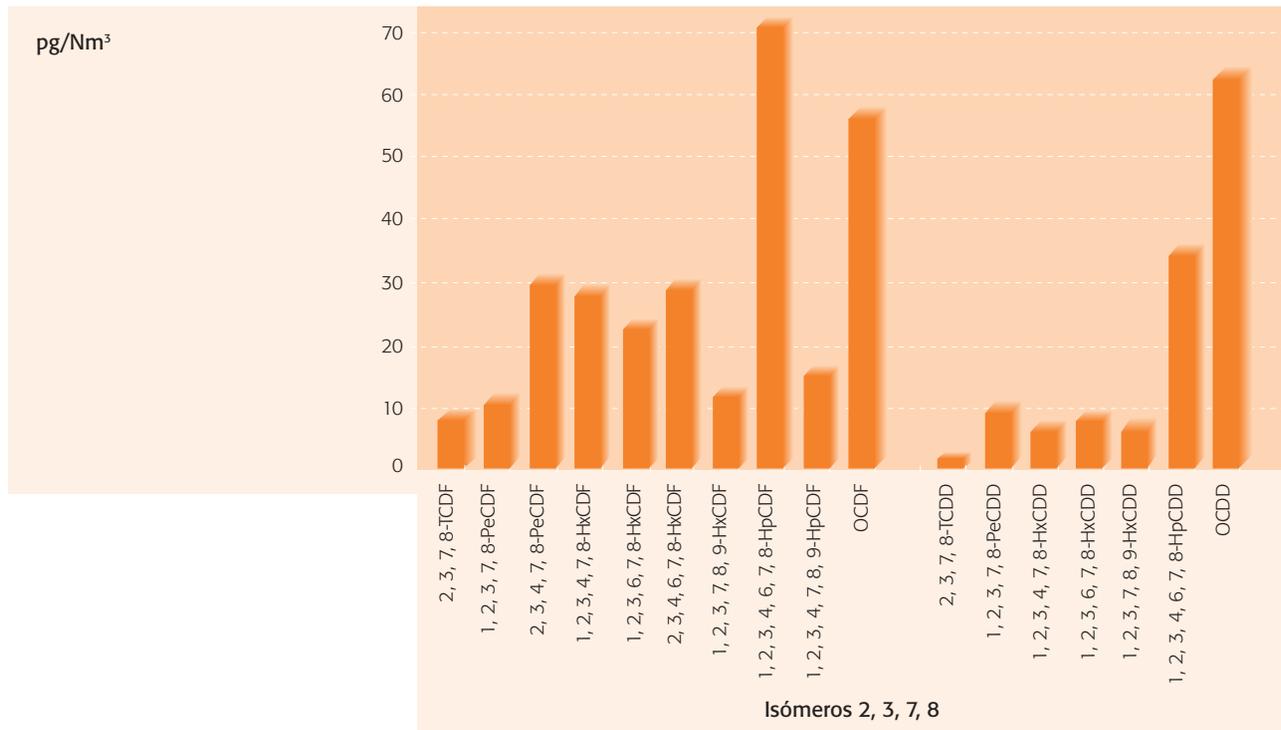


la industria cementera y el medio ambiente

Primera campaña. Fábrica 2. Neumáticos fuera de uso.

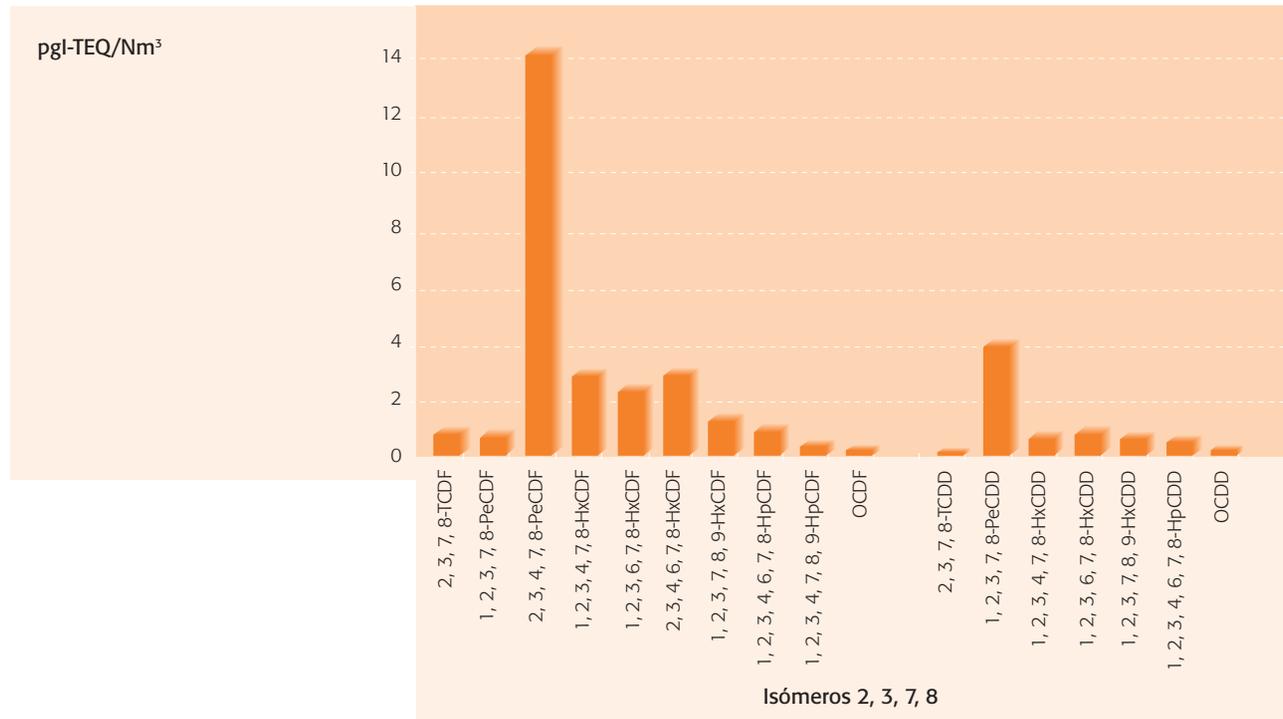


Segunda campaña. Fábrica 2. Neumáticos fuera de uso.



la industria cementera y el medio ambiente

Segunda campaña. Fábrica 2. Neumáticos fuera de uso.



4.3. FÁBRICA 3. Harinas animales y neumáticos fuera de uso, simultáneamente

4.3.1 Emisiones de metales pesados. (Ver Tabla 5).

4.3.2 Emisiones de dioxinas y furanos. (Ver Tabla 6).

Tabla 5.- Emisiones de metales pesados.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm³) (valor medio de tres muestrs de 40')	Segunda campaña (mg/Nm³) (valor medio de tres muestrs de 48')	Valor límite RD* (mg/Nm³)
Hg	<0,005	<0,011	0,050
Cd+Tl	<0,0062	<0,046	0,050
Sb+As+Cu+Cr+Co+Mn+Ni+Pb+V	<0,0561	<0,13	0,500

* Real Decreto 653/2003

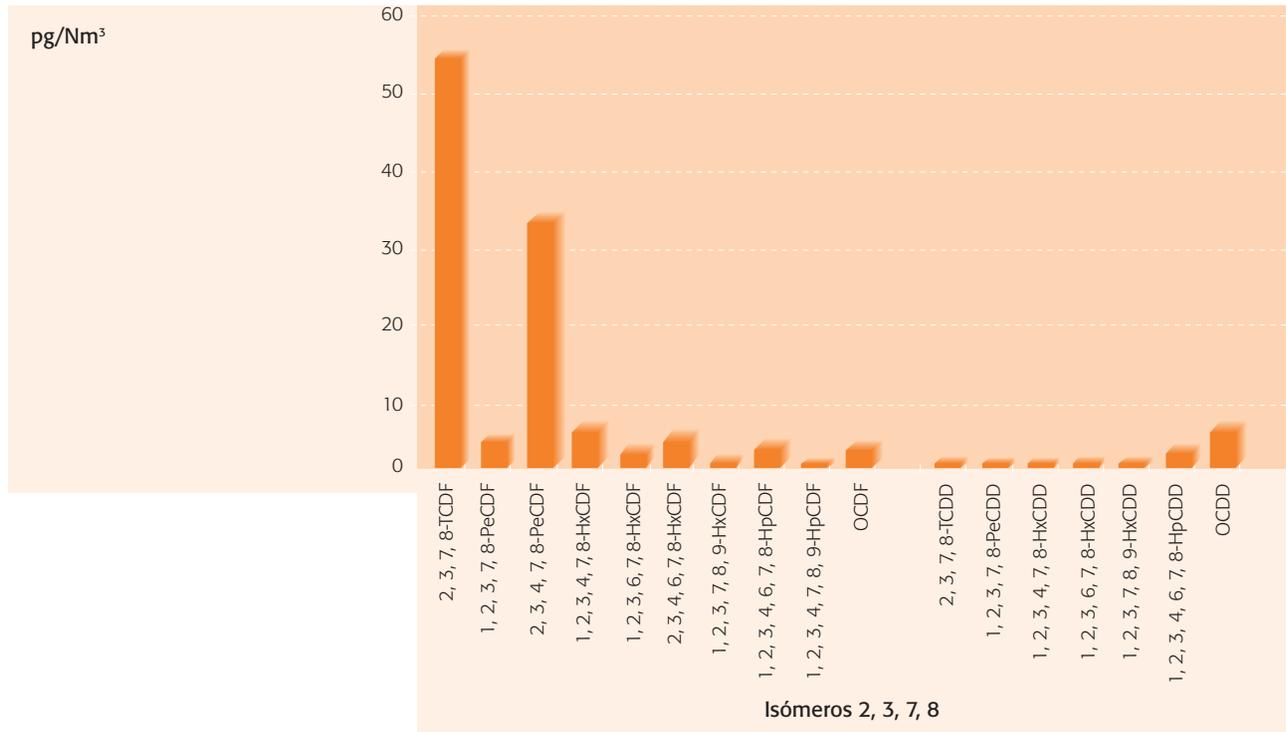
Tabla 6.- Emisiones de dioxinas y furanos.

Primera campaña (ng I-TEQ/Nm³)	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm³)	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm³)
0,025	0,005	0,1

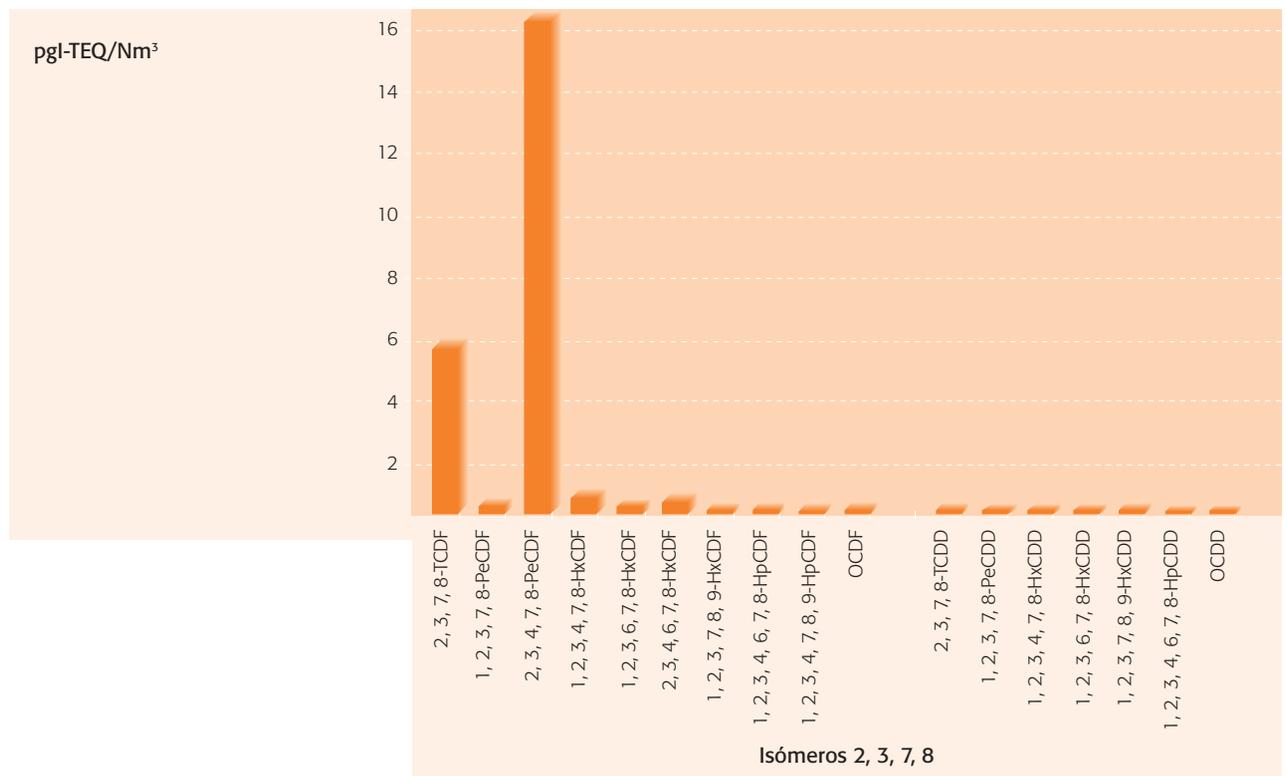
* Real Decreto 653/2003

la industria cementera y el medio ambiente

Primera campaña. Fábrica 3. Harinas y neumáticos fuera de uso.

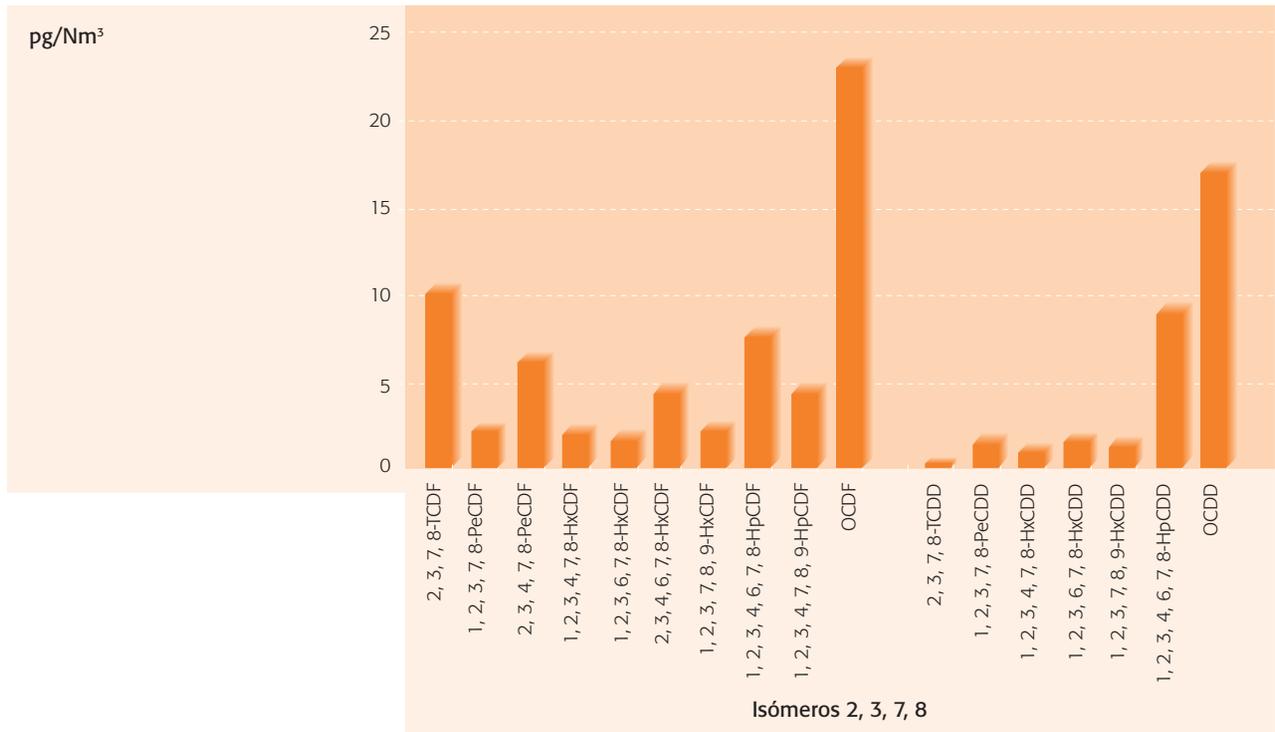


Primera campaña. Fábrica 3. Harinas y neumáticos fuera de uso.

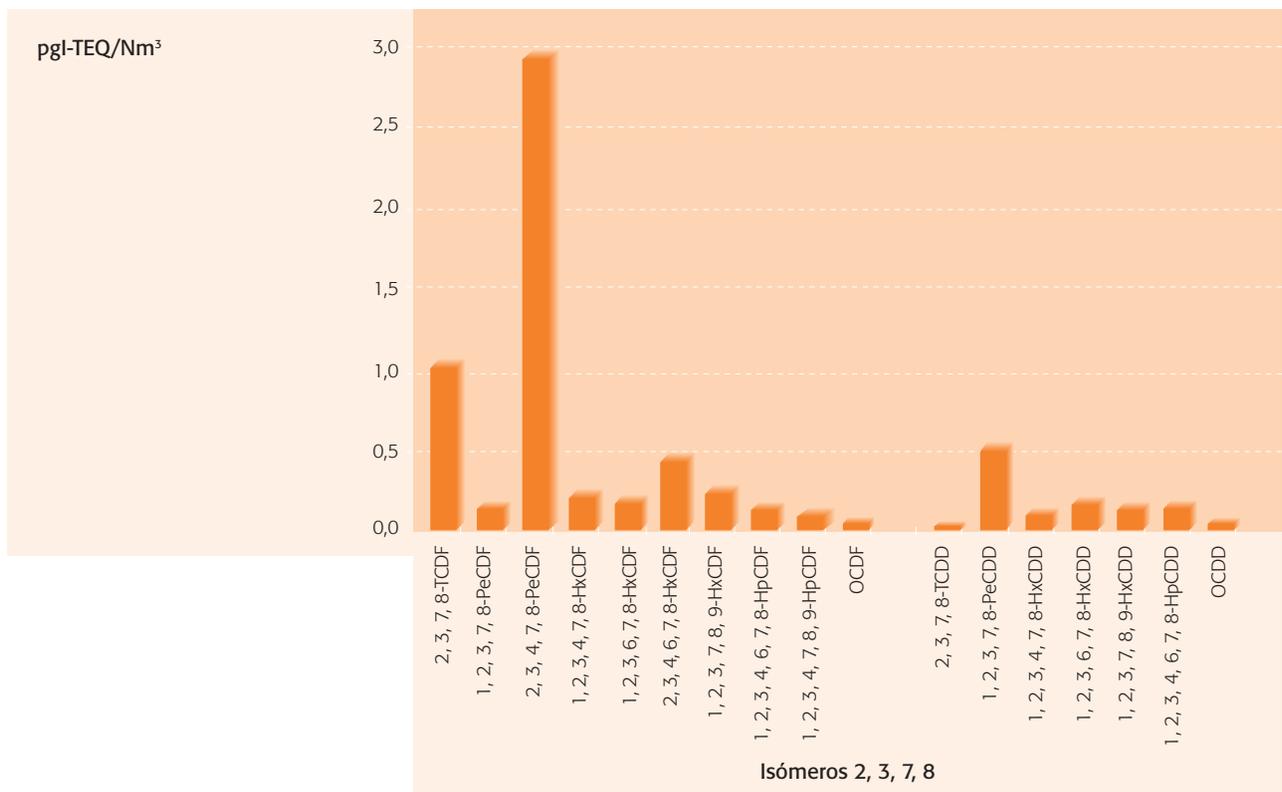


la industria cementera y el medio ambiente

Segunda campaña. Fábrica 3. Harinas y neumáticos fuera de uso.



Segunda campaña. Fábrica 3. Harinas y neumáticos fuera de uso.



la industria cementera y el medio ambiente

5. Evaluación de los resultados

Las emisiones objeto del estudio han sido las de metales pesados y las de dioxinas y furanos. Durante las dos campañas de mediciones realizadas en cada horno se observó que los valores de las emisiones se encontraban por debajo de los valores establecidos en la Directiva 2000/76/CE de incineración de residuos, y su transposición al ordenamiento jurídico estatal a través del Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos. El citado Real Decreto será de aplicación a estas instalaciones a partir del 31 de diciembre de 2005, por tratarse de fábricas que ya venían utilizando combustibles alternativos. Tal y como cita la Directiva 2000/76/CE, *“el V Programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible tiene como objetivo en cuanto a calidad de la atmósfera que todo el mundo esté efectivamente protegido contra los peligros sanitarios reconocidos derivados de la contaminación atmosférica”*. En particular este programa aborda la limitación de los niveles de metales pesados y dioxinas y furanos.

La primera evaluación de los resultados hallados es que los valores de emisión están por debajo de los límites establecidos por la citada legislación, hecho que puede explicarse por los siguientes motivos:

- La fabricación de cemento requiere que las materias primas minerales que se introducen en el horno alcancen temperaturas de clinkerización (1.450-1.480 °C) en una atmósfera oxidante. La temperatura en el quemador principal puede alcanzar los 2.000 °C y los gases permanecen durante más de 5 segundos a 1.200 °C en presencia de oxígeno, condiciones que aseguran una destrucción de los componentes orgánicos de los residuos valorizados. También en el precalcinador, la temperatura de los gases de combustión supera los 1.100 °C, y la permanencia por encima de 850° está en torno a los 3 segundos.
- Estas condiciones dificultan en gran medida la generación de dioxinas y furanos durante la combustión. En cuanto a la posible síntesis de novo, los gases de combustión se enfrían luego con relativa rapidez y pasan a través del intercambiador de calor, en el que atraviesan el flujo de materia prima particulada (principalmente cal) que desciende hacia el horno.

- Respecto a las emisiones de metales pesados que pudieran proceder de los residuos, el flujo descrito anteriormente tiene además la capacidad de retener la emisión de metales presentes en los combustibles, en mayor medida cuanto menor sea su volatilidad. De este modo la fracción mineral de los combustibles alternativos se incorpora al clínker, hecho que ha sido objeto de estudio, por ejemplo, en el marco del presente Convenio de Colaboración en la línea de trabajo “Estudio de clínkeres”.

En lo referente al potencial impacto al medio ambiente de estas emisiones, algunos autores han publicado recientemente el resultado de diversos estudios cuyo objetivo fue la evaluación temporal de los niveles de dioxinas y furanos, así como de metales pesados en las zonas de influencia de algunas plantas de fabricación de cemento. En estos estudios, los autores concluyen que el impacto de la actividad en lo que a niveles de dioxinas y furanos en matrices ambientales se refiere es bajo.

En uno de estos estudios, realizado en los alrededores de una planta de cemento con cerca de 100 años de funcionamiento, se concluye que las concentraciones halladas en suelos y vegetación de dioxinas y furanos eran similares a las de zonas rurales no expuestas a focos de emisión. En el caso de los metales pesados los autores estudiaron muestras de aire, suelos y vegetación llegando a conclusiones similares (Schuhmacher y col., 2003; Schuhmacher y col., 2002).

En cuanto a estudios análogos de estos indicadores en plantas de cemento que utilizan residuos como combustibles alternativos, cabe destacar el realizado en Francia en los alrededores de dos cementeras, incluyendo estudios de presencia de dioxinas y metales pesados en suelos, vegetales y aire ambiente y evaluación del riesgo derivado sobre la salud, concluyendo que la actividad de estas fábricas no suponía un riesgo adicional para la calidad del entorno o la salud de las personas (ATILH, 2003).

5.1. Metales pesados

Las emisiones de metales pesados medidas en el presente estudio respetan los límites establecidos por la legis-

la industria cementera y el medio ambiente

lación citada para garantizar la seguridad del medio ambiente y la salud de las personas. Dicha legislación impone los mismos límites de emisión a cualquier instalación en la que se realice un tratamiento térmico de residuos. Para dos de las fábricas el Organismo de Control Autorizado disponía de mediciones anteriores a la utilización de residuos y las incluyó en su informe. En estos casos no se observaron diferencias significativas entre las emisiones durante las dos campañas y las emisiones durante el empleo de combustibles tradicionales.

5.2. Dioxinas y furanos

En el caso que nos ocupa, las tres fábricas estudiadas presentan valores de dioxinas y furanos entre 0,001 y 0,042 ng I-TEQ/Nm³. En todos los casos los niveles de dioxinas y furanos en las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite establecido para las instalaciones que emplean residuos como combustible, que es de 0.1 ng I-TEQ Nm³.

Estos datos son similares a los reflejados en el Inventario Nacional de Dioxinas durante el período 2000-2001 correspondientes a 40 mediciones en 20 hornos de plantas de casi toda la geografía española donde se documenta un valor medio de 0.01 ng I-TEQ Nm³. Estos hornos no estaban empleando en esas fechas residuos como combustibles, por lo que

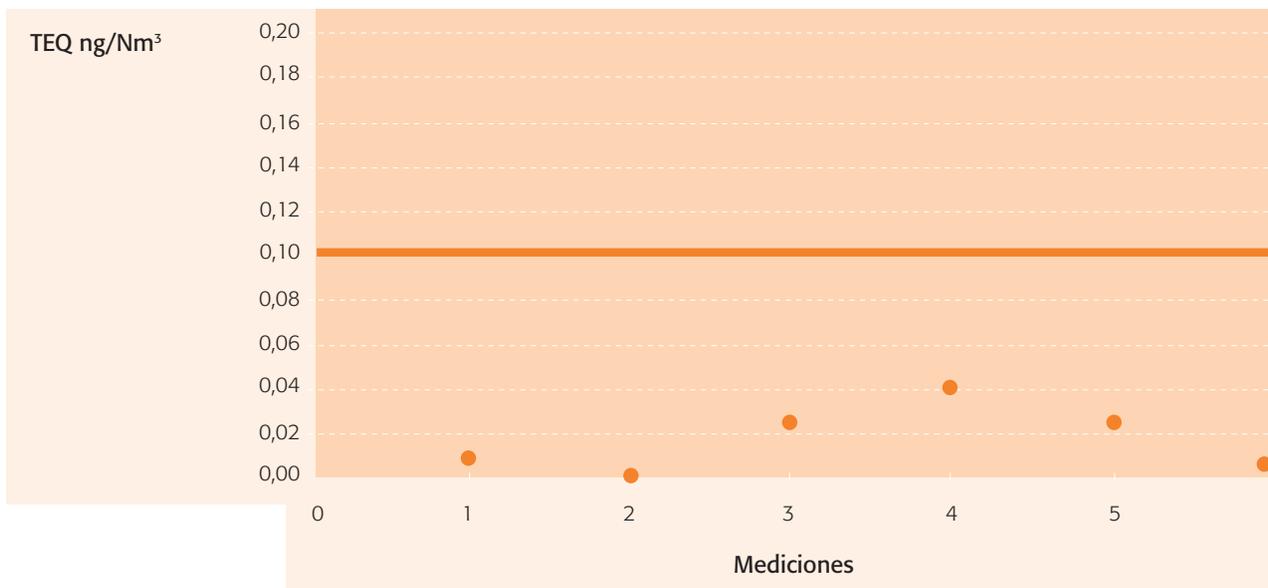
pueden constituir una muestra representativa de las emisiones de los hornos de cemento con combustibles tradicionales (Fabrellas y col., 2002).

Los datos de emisiones de los hornos de las empresas cementeras que participaron en este Inventario se representan en el siguiente gráfico en los 40 primeros puntos, mientras que los 6 valores a la derecha de la línea roja corresponden a los valores obtenidos en las tres fábricas objeto del presente estudio, que usaban combustibles alternativos:

Mediante un análisis estadístico sencillo de los datos se puede concluir que no existen diferencias significativas entre ambas poblaciones de datos.

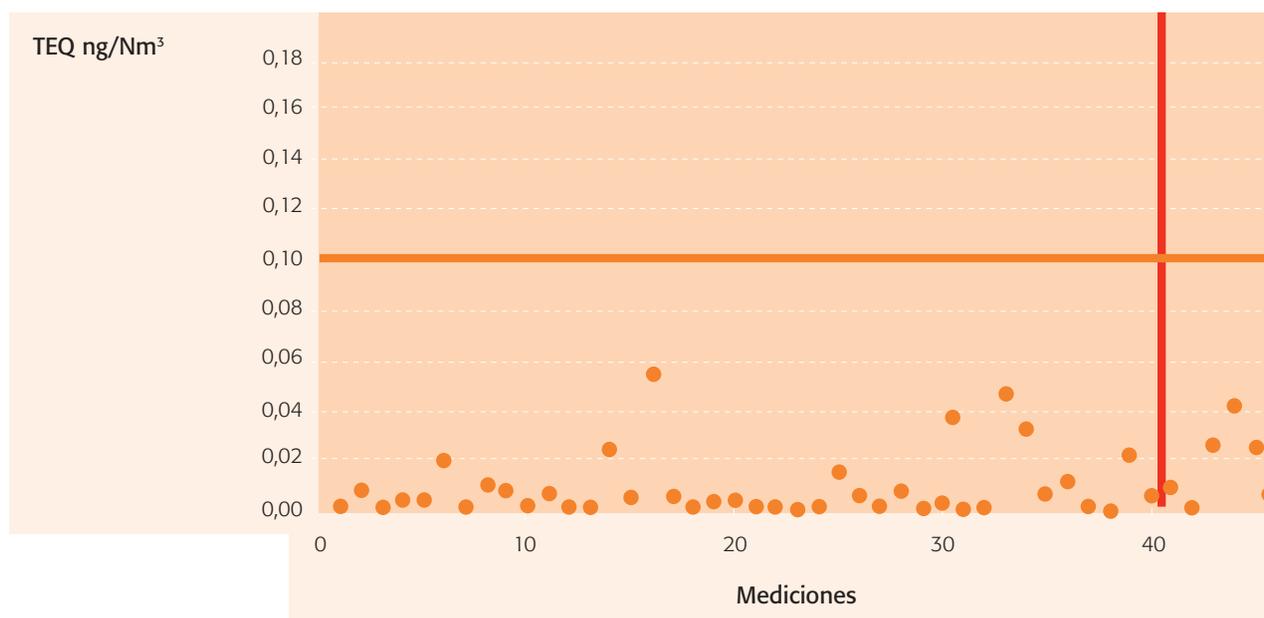
El análisis de varianza de un factor y dos tratamientos (con y sin utilización de residuos), para un nivel de significación del 95 % arroja el valor crítico para el estadístico F de 4,06, mientras que el valor F obtenido de la hipótesis de que ambos conjuntos de medidas pertenecen a una misma población es 2,90. Puesto que el valor F obtenido es menor que el valor crítico la hipótesis se puede dar por buena, es decir, las emisiones con combustibles alternativos pueden pertenecer a la misma población que las emisiones con combustibles tradicionales.

Emisiones de dioxinas y furanos en los tres hornos de cemento analizados.



la industria cementera y el medio ambiente

Emisiones de dioxinas y furanos en hornos de cemento en España (años 2000 y 2001/versus campaña de mediciones con residuos).



Las concentraciones de estos compuestos obtenidas en el presente trabajo concuerdan con valores documentados en la literatura correspondientes a fábricas de cemento que utilizan mezclas de combustible tradicional y materiales alternativos:

- Más de 150 medidas fueron realizadas en 16 hornos de cemento alemanes, comparando los resultados de los hornos que utilizaban diversos residuos (aceites usados, neumáticos y otros) como combustible alternativo con los de los hornos que utilizaban combustibles tradicionales, no observando diferencia entre los mismos en función del combustible. (Schneider y col, 1996.)

- En un análisis de las emisiones de dioxinas y furanos en los hornos de cemento franceses, se han comparado las emisiones de los hornos que destruyen harinas animales (40 mediciones) con las emisiones de fábricas que no las destruyen (22 mediciones), no observándose ningún incremento en la media de los resultados. (ATILH 2003).

- En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos por Fiedler y col. en la medición de emisiones en dos fábricas que introdujeron neumáticos y residuos líquidos como parte de su combustible. En ambos casos, las concentraciones de dioxinas y furanos en las emisiones de dichas instalaciones no excedieron los 0,0029 ng I-TEQ Nm³.

Tabla 6.

	ng I-TEC Nm ³
Fábrica A	0,0105
Fábrica A+ neumáticos	0,0029
Fábrica B	0,0008
Fábrica B+ residuos líquidos	0,0003

Valores (ng I-TEQ/Nm ³)						
0,012	0,018	0,017	0,024	0,027	0,026	0,029
0,034	0,036	0,038	0,04	0,06	0,074	0,423

Por otra parte, existen referencias de emisiones de hornos de clínker independientemente del tipo de combustible que utilicen. El inventario europeo de emisiones al aire de dioxinas y furanos realizado durante los años 1995-2000 corrobora que la industria cementera no supone una aportación signifi-

la industria cementera y el medio ambiente

cativa al total de estos contaminantes al medio ambiente (European Dioxin air emission Inventory). En la mayoría de los casos las plantas cementeras no exceden el valor de 0,1 ng I-TEQ Nm³, pudiendo deberse las excepciones a condiciones especiales del proceso o presencia abundante de compuestos orgánicos en las materias primas (Schneider y col., 1996).

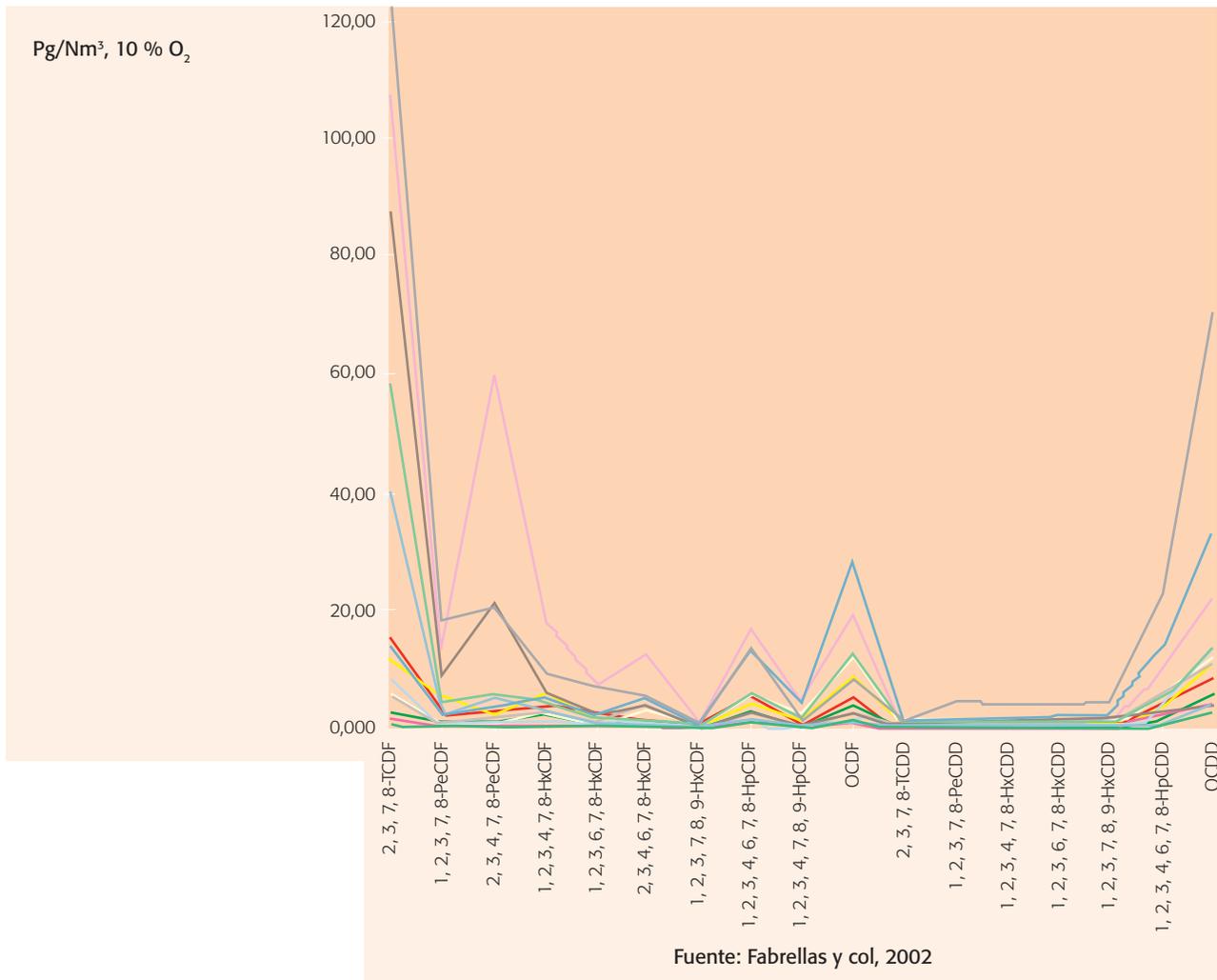
Un estudio realizado en Inglaterra en 5 plantas cementeras arrojó valores entre 0,012 y 0,423 ng I-TEQ/ Nm³, con un valor medio de 0,06 ng I-TEQ Nm³. (Alcock, et. al.), aunque no se describen los combustibles empleados.

Una de las herramientas más utilizadas en la evaluación de los resultados de dioxinas y furanos hace referencia al análisis del 'pattern' o distribución de dioxinas. En la literatura

ra existen multitud de trabajos que detallan una distribución isómero-específica de dioxinas y furanos en función de la fuente responsable de la emisión de estos contaminantes. Algunos ejemplos claros los encontramos en el estudio realizado por el Laboratorio de Dioxinas del CSIC en la caracterización de las fracciones de rechazo de los procesos de combustión que se producen en las plantas incineradoras de residuo sólido urbano (Abad y col., 2002; Abad y col., 2003). En estos casos tan particulares, la distribución de PCDDs/PCDFs pone de manifiesto una mayor concentración de furanos frente a dioxinas, en una relación expresada en equivalente tóxico entre 3 y 4.

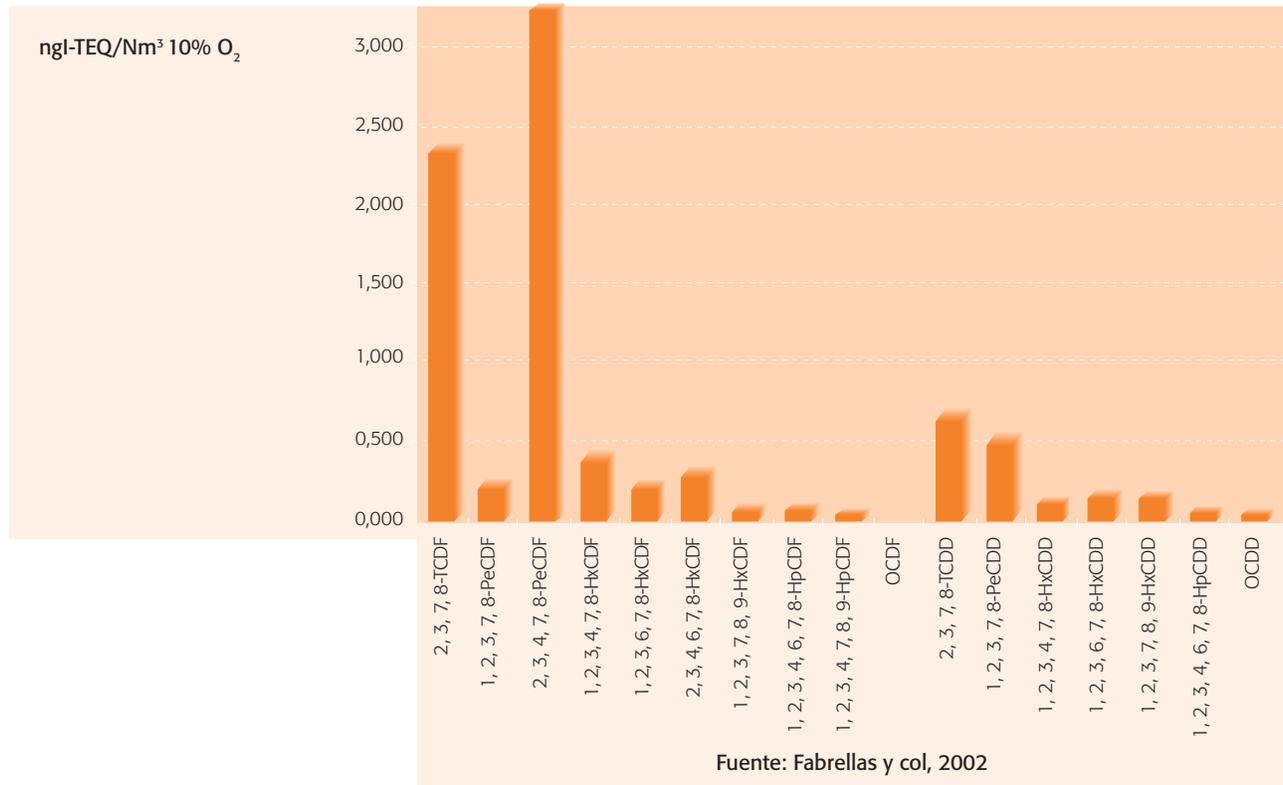
Para el caso concreto del estudio que se llevó a cabo en las plantas de fabricación de clínker que se indican en la pre-

Cogéneres 2, 3, 7, 8 PCDD/Fs (pg/Nm³).



la industria cementera y el medio ambiente

Pattern medio de los hornos muestreados (pg I-TEQ/Nm³).



sente memoria, los resultados muestran dos hechos a destacar en cuanto a la distribución de congéneres:

- El primero de ellos reside en una distribución de PCDDs/PCDFs con una mayor concentración de furanos frente a dioxinas. Hecho que cabe esperar en un proceso de combustión.
- Sin embargo, la diferencia respecto a la distribución clásica observada en los procesos de combustión sería la predominancia del 2,3,7,8-TCDF (tetraclordibenzofurano), que tiene un peso significativamente mayor que el resto de congéneres en gran parte de los análisis.

Las siguientes figuras ilustran los perfiles típicos de las dioxinas y furanos en las muestras de emisiones de hornos de cemento analizadas por el Inventario Nacional de Dioxinas (40 mediciones en 20 hornos sin empleo de combustibles alternativos).

El análisis de los resultados por congéneres obtenidos en las 6 mediciones realizadas en el presente estudio revela que el pattern típico de emisión de un horno de cemento se sigue manteniendo independientemente de la sustitución parcial del combustible por harinas animales o neumáticos, o ambos simultáneamente.

6. Conclusiones

Se han medido las emisiones de dioxinas y furanos y metales pesados en tres hornos de cemento que sustituyen diferentes proporciones de su combustible por residuos. Los porcentajes de sustitución térmica se situaron entorno al 5 %, 10 %, y 15 %; y los residuos utilizados fueron respectivamente harinas animales, neumáticos fuera de uso, y ambos simultáneamente.

Los valores determinados en ng i-TEQ/Nm³ no difieren estadísticamente de los valores con los que se realizó el

la industria cementera y el medio ambiente

Inventario Nacional de Dioxinas (40 mediciones en 20 hornos sin empleo de combustibles alternativos). En cuanto al análisis por congéneres, también se halló un patrón similar en las muestras analizadas con respecto a los patrones documentados por el Inventario Nacional.

A la vista de las condiciones de combustión y de captación de las muestras suministradas por las instalaciones y las OCAs correspondientes:

- Los resultados de las medidas de metales pesados analizados por las OCAs y los resultados de las medidas de dioxinas y furanos no suponen un impacto añadido en el entorno de las fábricas estudiadas como consecuencia del empleo de residuos como combustible.
- Los resultados se encuentran por debajo de los límites de emisión de fijados por la normativa citada para evitar o reducir en el mayor grado posible los efectos negativos sobre el medio ambiente y los riesgos resultantes para la salud humana de estas emisiones (Directiva 2000/76/CE y el correspondiente Real Decreto 653/2003).



E. Abad, M. A. Adrados, J. Caixach and J. Rivera. Dioxin Abatement Strategies at the Municipal Waste Management plant of Tarragona (Spain). *Environmental Science and Technology* 36, 92-99 (2002).

E. Abad, J. Caixach and J. Rivera. Improvements in the Dioxin Abatement Strategies at the Municipal Waste Management plant in Barcelona. *Chemosphere* 50, 1175- 1182 (2003).

R.E. Alcock, R. Gemmill and K.C. Jones. Improvements to the UK PCDD/F and PCB atmospheric emission inventory following an emissions measurement programme., *Chemosphere*, Vol. 38, No. 4, pp 759-770 (1999).

ATILH, 2003. A. Capmas. The French Cement Industry experience in the use of waste fuels. 5th Colloquia of managers and technicians of cement plants. Sevilla feb 2003.

J. M. Casas Inferencia estadística para economía y administración de empresas.. Editorial Centro de Estudios Fundación Areces, S.A.1996.

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000 relativa a la incineración de residuos. DOCE 28/12/2000.

Environmental Data of the German Cement Industry 2001. Verein Deutscher Zementwerke. V.

EN-1948-1,2,3:1996. European Standard, Stationary source emissions- Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs. European Committee for Standardization, Brussels (1996).

EPA. Method 1613: Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furans by isotopic dilution HRGC/HRMS. Washington (1995).

EPA. Method 23: Determinations of polychlorinated dibenzop-dioxins and polychlorinated dibenzofurans from stationary sources. Washington (1989).

"Empleo de Residuos Industriales como Combustibles Alternativos en la Industria del Cemento". Comisión Europea. Programa Energie. Año 2000.

Begoña Fabrellas, Maria Luisa Ruiz, Esteban Abad, Josep Rivera and Paloma Sanz. First evaluation of PCDD/Fs releases to the atmosphere from the manufacture of cement in Spain. *Organohalogen Compounds* 56, 139-142 (2002).

H. Fiedler, P. Chareonsong , J. Mayer and H. U. Hartenstein. PCDD/PCDF emissions from stationary sources – First results from Thailand. *Organohalogen Compounds* Vol. 59, pp 211 – 214 (2002).

Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing industries. Dec 2001. Institute for Prospective Technological Studies. European Commission.