

# Informe sobre recuperación energética de neumáticos fuera de uso en hornos de clínker

**25-03-2014**



## Prólogo

La aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) en la industria del cemento conlleva, entre otros, la investigación e implantación de procesos de trabajo que minimicen el impacto del elevado consumo de energía que tienen sus fábricas. En esta línea, la sustitución de los combustibles fósiles tradicionales (carbón, coque de petróleo) por combustibles alternativos derivados de residuos se ha convertido en una de las primeras vías –sino la principal– para reducir el impacto sobre el entorno natural que provoca este uso intensivo de energía.

Desde hace 30 años en Europa, y también en los últimos 8 ejercicios en Cataluña, la valorización energética de residuos en hornos de cemento ha permitido un importante ahorro de combustibles fósiles y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en lo que respecta a los gases de efecto invernadero (y, por tanto, una contribución a la lucha contra el Cambio Climático), y ha evitado el destino a vertedero de residuos que ya no eran reutilizables o recuperables materialmente.

Ahora, y en el marco del II Acuerdo Voluntario entre la Generalitat y el sector del cemento catalán, Administración y empresas evalúan la ampliación de nuevos residuos del catálogo europeo de residuos que puedan ser valorizables energéticamente. El presente Informe Técnico refleja, específicamente, las utilidades que comportaría la recuperación energética de neumáticos fuera de uso en hornos de clinker. Un proceso que, respetando la jerarquía de gestión de los residuos y teniendo en cuenta los efectos sobre la salud y el medio ambiente respecto otros combustibles fósiles, representa un nuevo ejemplo de aplicación de las MTD en la que tanto la Administración como la industria están enteramente comprometidas.

## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. DATOS DE GENERACIÓN Y TRATAMIENTOS.....	5
2.1    Datos de generación de NFU y sus destinos.....	5
2.2    Datos de recuperación de NFU en cementeras.....	10
3. CONSIDERACIONES AMBIENTALES.....	13
3.1    Vías de recuperación en relación con la jerarquía de residuos.....	13
3.2    Garantías ambientales de la recuperación de NFU en cementeras.....	18
<b>3.2.1 Cuestiones generales</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2 Garantías del proceso de fabricación de clinker</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3 Principales estudios en relación con los NFU</b>	<b>21</b>
3.3    Ejemplos de estudios sobre emisiones.....	25
<b>3.3.1 Estudio “Combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Informe de emisiones”. CSIC</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2 Publicación CIEMAT “Estudio y resultados de la participación del Sector Cementero Español en el Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos (2000-2003)”</b>	<b>32</b>
<b>3.3.3 Declaración del COMEAP UK, 2005</b>	<b>37</b>
<b>3.3.4 Estudio sobre las Emisiones y su posible efecto sobre el medio ambiente y la salud en el entorno de cuatro plantas cementeras URS, 2010</b>	<b>42</b>
<b>3.3.5 Canada: “An assessment of the use of tires as an alternative fuel”. Faculty of Engineering, Dalhousie University. 2007</b>	<b>49</b>
<b>3.3.6 USA: “Air Emissions Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations firing Tire-Derived Fuels”. PCA 2008.</b>	<b>52</b>
3.4    Perfil de emisiones de fábricas españolas que valorizan NFU (2008-2011) .....	62
4. INSTALACIONES TIPO .....	66
4.1    Características y propiedades de los NFU.....	66
4.2    Instalación para la valoración energética de NFUs en cementera .....	68
<b>Anexo II. Revisión de datos de emisión por parte de agencias ambientales de EEUU y Canadá</b>	<b>78</b>
<b>Anexo III: Análisis específico: influencia del uso de NFU en las emisiones de Zn80</b>	
<b>Anexo IV: Análisis específico: influencia del uso de NFU en las emisiones de compuestos orgánicos</b>	<b>85</b>

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La Comisión Europea, en su Comunicación sobre “Uso eficiente de los recursos naturales”<sup>1</sup>, afirma que la utilización más eficiente de los recursos ayudará a Europa a alcanzar muchos de los objetivos ya fijados en distintas áreas para el crecimiento y el empleo, y será un elemento clave para avanzar en la lucha contra el cambio climático. La Comisión Europea destaca entre las mejores prácticas de eficiencia el uso de residuos como combustible en las cementeras, pues reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, los costes energéticos y da una solución ambientalmente correcta a los residuos.

La recuperación de residuos en cementeras es una actividad avalada por la Unión Europea, tras más de 40 años de experiencia. En el Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles para la fabricación del cemento (BREF), publicado por la Comisión Europea, se recoge que el uso de residuos como combustibles es una mejor técnica disponible. Este documento cita que las características especiales de los hornos de cemento permiten reciclar y valorizar residuos, sin generar riesgo para el medio ambiente o la salud de las personas, ni un detrimento en la calidad del producto.

Así mismo, por sus características, estos residuos influyen positivamente en el mix de combustibles utilizados en el horno para la fabricación del clinker, por no incrementar sus emisiones, e incluso reducirlas para algunos contaminantes. El neumático fuera de uso es un combustible alternativo de los más habitualmente utilizados en la Unión Europea para valorizar energéticamente.

Según la asociación Europea de fabricantes de neumáticos y caucho (ETRMA), cada año unos 3,2 millones de toneladas de neumáticos usados se generan en Europa<sup>2</sup>. De ellos, más de 1,25 millones de toneladas se recuperaron energéticamente en 2012.

En la última década se ha hecho un progreso muy significativo en el reciclado de neumáticos fuera de uso. Los grandes retos a los que se enfrenta la recuperación de neumáticos son los siguientes:

- Prohibición de eliminación en vertederos desde el 16 de julio de 2006.
- Garantizar un tratamiento ecológico de los NFU en toda la cadena.
- Promover soluciones eficientes, sostenibles y económicas.

---

<sup>1</sup> <http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe>. Apartado Key Documents, “Some examples....”

<sup>2</sup> UE27, más Noruega y Suiza. Datos del informe estadístico RMA 2013

En Cataluña la cantidad de NFU gestionada asciende a unas 31.000 t (año 2012) aunque este último dato podría considerarse bajo en comparación con otros años, o con otros ámbitos geográficos.

La industria cementera presenta una capacidad de **reciclaje material y valorización energética de neumáticos fuera de uso** para alcanzar los siguientes objetivos que deben perseguir las políticas de gestión de residuos en el ámbito europeo:

- “Disminuir el vertido y fomentar de forma eficaz la prevención y la reutilización, el reciclado de la fracción reciclable, así como otras formas de valorización de la fracción no reciclable de los residuos.”
- “Reducir la contribución de los residuos al cambio climático fomentando la aplicación de las medidas de mayor potencial de reducción.”

Esta capacidad se sitúa actualmente en más de 200.000 t/a autorizadas en el conjunto del Estado español, de las cuales se emplearon en 2012 unas 119.000 (más de 20 instalaciones autorizadas de las 35 operando).

Actualmente, y de manera singular en el contexto europeo, no hay en Cataluña instalaciones cementeras autorizadas para emplear este tipo de combustible recuperado.

## 2. DATOS DE GENERACIÓN Y TRATAMIENTOS

### 2.1 Datos de generación de NFU y sus destinos

En el caso de Europa, según la asociación ETRMA, los neumáticos usados totales recogidos en 2012 y sus destinos fueron:

NEUMÁTICOS USADOS								
TOTAL	NEUMÁTICOS PARCIALMENTE GASTADOS				NEUMÁTICOS FUERA DE USO			
	TOTAL	Reutilización	Exportación	Recauchutado	TOTAL	Reciclado Material	Recuperación Energética	Vertedero/ desconocido
3.418 kt	653 kt	133 kt	196 kt	324 kt	2.765 kt	1.341 kt	1.262 kt	162 kt

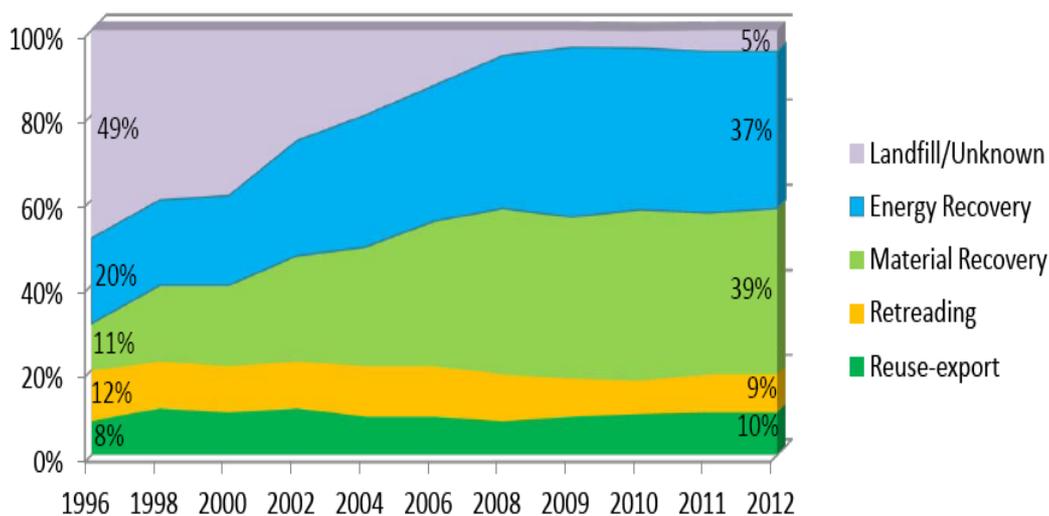
Fuente: ETRMA

Las principales aplicaciones de recuperación de NFU dadas en Europa durante este año fueron:

Rutas de Recuperación de Neumáticos Fuera de Uso 2012			
	Kt (2012)	Aplicación	%
Recuperación Material (51,5%)	1.341	Obra Civil	12
		Aplicación de productos	88
Recuperación Energética (48,5 %)	1.262	Central eléctrica, co-incineración	9
		Homos de Cemento	91

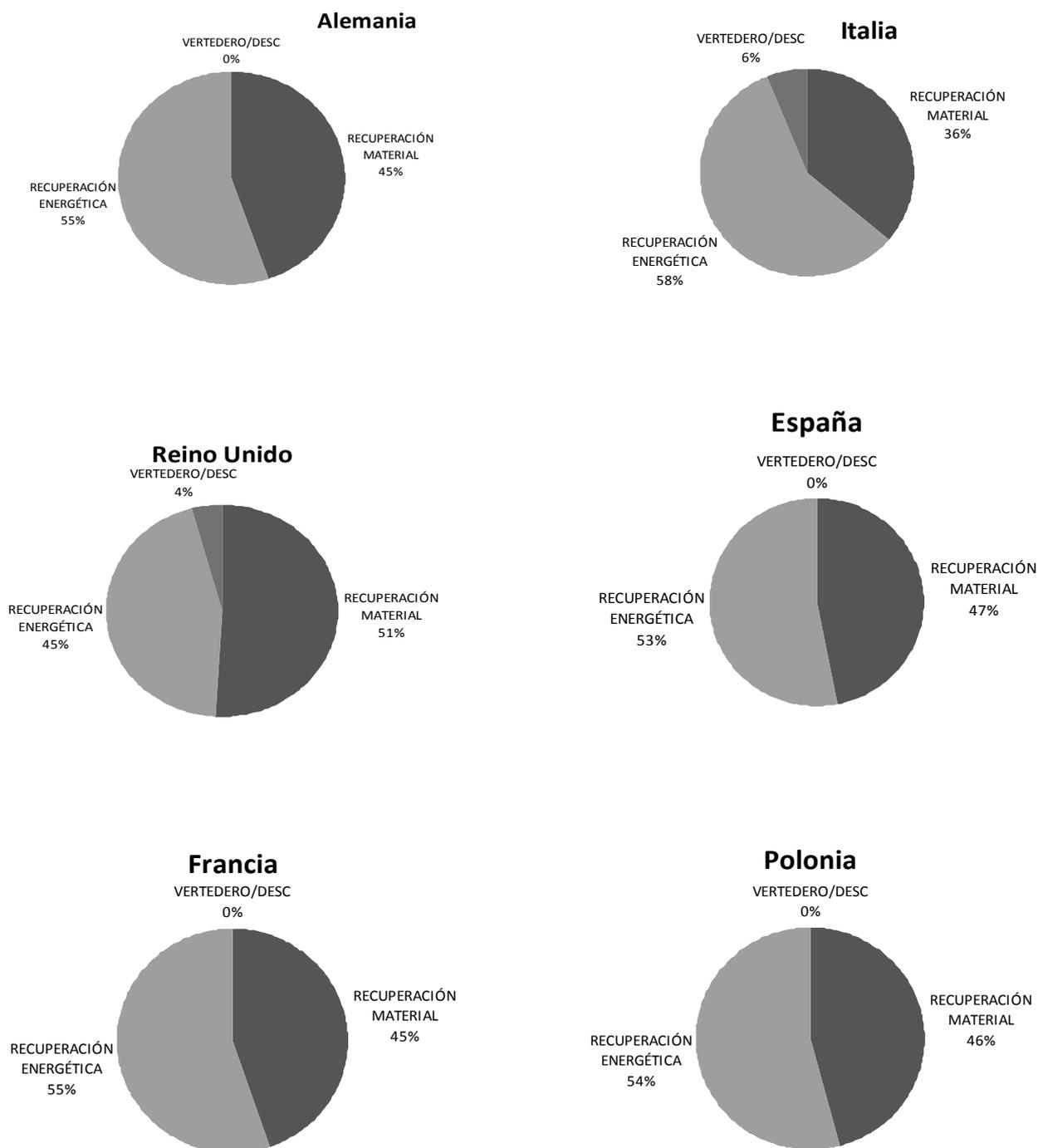
Fuente: ETRMA

Como se puede observar en el gráfico siguiente, obtenido del informe anual de ETRMA la evolución de las rutas en neumáticos usados ha tenido una evolución muy pronunciada en el caso de la recuperación energética y la recuperación material, a costa de su acopio en vertederos.



Fuente ETRMA

Según ETRMA, las rutas de reciclado de los neumáticos usados en los seis países con más volumen de recuperación en Europa en 2012 fueron las siguientes:



Alemania, uno de los líderes del reciclaje en Europa, muestra tasas de recuperación material ligeramente inferiores a otros países, debido a que no destina neumáticos a la obra civil (práctica de recuperación con resultado ambiental menos ventajoso, como se explica más adelante), mientras que en Francia o Reino Unido se emplean 28.000 y 30.000 t respectivamente (como puede verse en el Anexo). Los datos de recuperación energética en cementeras en Alemania superan las 250.000 t/año durante los últimos años.

**Por todo ello la evaluación y autorización del uso de neumáticos en cementera no debe verse como un obstáculo al reciclado material y la exploración de nuevas vías para el mismo.**

En España se mantienen usos en obra civil, y como material drenante en vertederos.

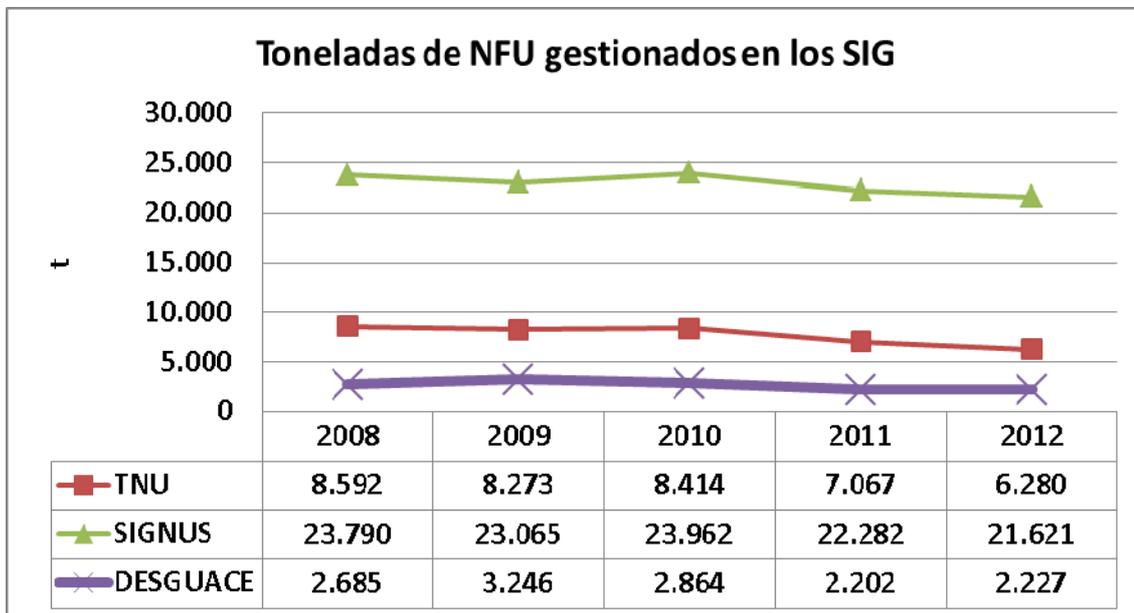
El uso en obra civil ha aumentado en los últimos años, según las memorias de TNU y SIGNUS, y de la asociación europea ETRMA, pasando de menos de 1.000 t en 2009 a 14.000 en 2012.

El uso de NFU como material drenante en vertederos tiene ciertos aspectos bastante discutibles ya que presenta alguna que otra desventaja (posible lixiviación de metales e hidrocarburos) respecto de otros medios de recuperación/eliminación. En primer lugar, la intención de la legislación europea cuando prohibió su vertido sin duda tuvo en cuenta la necesaria recuperación de un material valioso tanto en su composición como en su contenido energético, así como tuvo en cuenta otros posibles aspectos ambientales como la permanencia de los neumáticos en los vertederos. En este último caso, conviene recordar que varios estudios han analizado las características tóxicas de los lixiviados de los neumáticos en vertederos en determinadas condiciones (químicas, físicas, y temporales), observándose la posible generación de un impacto negativo si se gestiona por esta vía.

El segundo aspecto sería ambiental, puesto que varios estudios de análisis de ciclo de vida ponen de manifiesto el escaso aporte ambiental del uso como material drenante sustituyendo a grava o roca triturada en lugar de otros tipos de reciclaje o de recuperación energética.

Por todo ello resulta necesario en Cataluña evaluar las cantidades que se están destinando a “uso en vertedero” y poner fin a tal práctica.

En Cataluña, las cantidades gestionadas por los Sistemas Integrados de Gestión, según datos de la “Agència de Residus” fueron:



Otros datos globales sobre el sector que gestiona los neumáticos fuera de uso a noviembre de 2013 en Cataluña son:

<b>Capacidad autorizada de gestión en Catalunya</b>	165.000 t/año
<b>Capacidad máxima de triturado a 150 mm x 150 mm</b>	90.000 t/año
<b>Capacidad máxima de trituración a 50 mm x 50 mm</b>	40.000 t/año
<b>Capacidad máxima de triturado a 20 mm x 20 mm</b>	33.000 t/año

Las opciones de tratamiento para estas cantidades deben adaptarse a la realidad técnica de nuestro entorno europeo, con el objetivo de proporcionar a estos materiales en Cataluña unas vías de recuperación eficientes tanto desde el punto de vista económico como ambiental

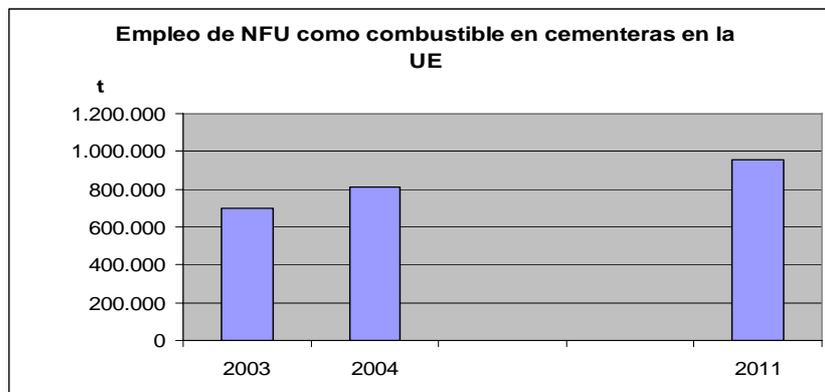
**Ello requiere disponer de plantas autorizadas para su tratamiento. En el caso de las fábricas de cemento, el disponer de autorización no implica obligatoriamente a futuro emplear la totalidad de la capacidad autorizada, sino que permite la recuperación de este material en las cantidades resultantes de la libre operación de los mercados. El desarrollo a futuro de vías de reciclado eficaces no se ve por ello comprometido.**

## 2.2 Datos de recuperación de NFU en cementeras

Se muestran varios ejemplos de las cantidades empleadas en distintos ámbitos geográficos:

### Unión Europea

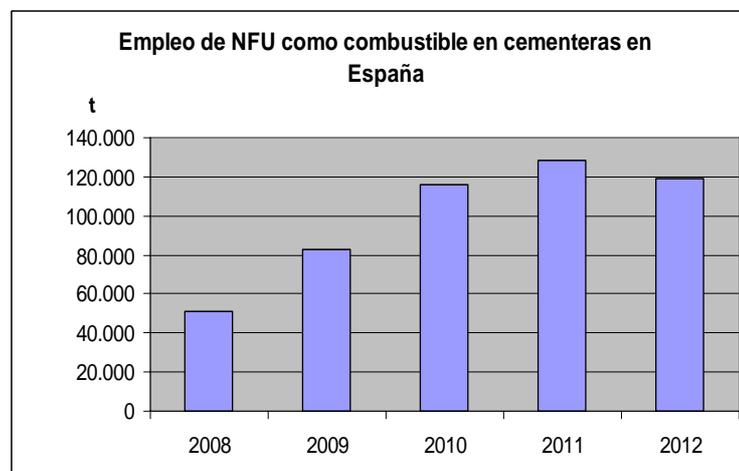
El uso de NFU como combustible en las cementeras de la Unión Europea comenzó hace más de 3 décadas, llegando hoy a una cantidad cercana al millón de toneladas anuales. Se muestra su evolución en los últimos años:



Fuente: Cembureau UE 15, 2011:WBCSD UE 27

### España

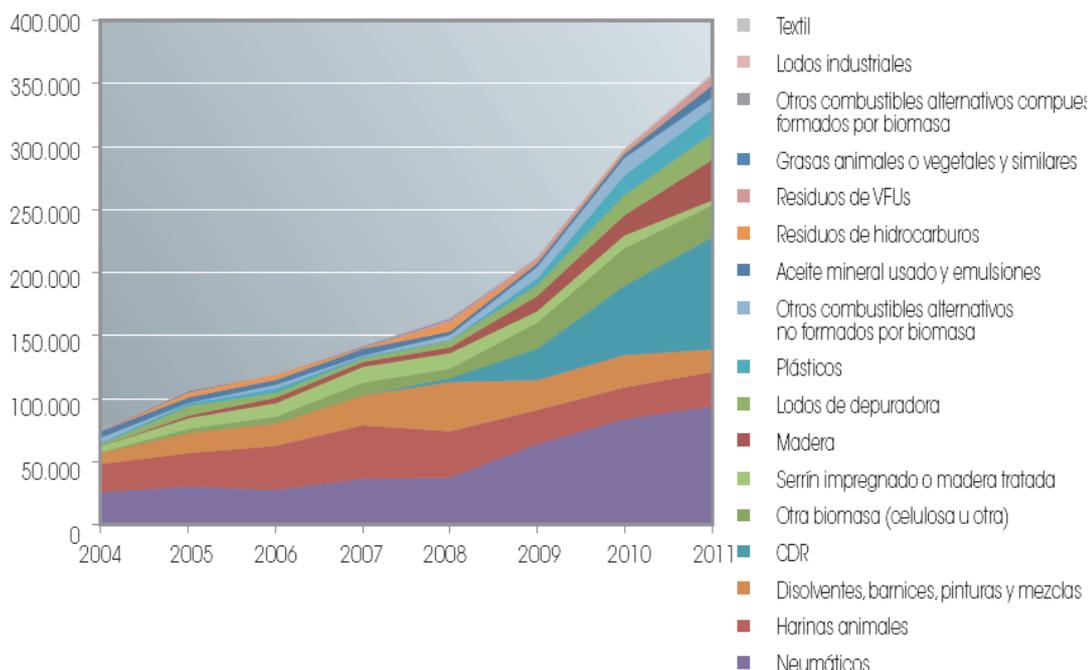
El uso de NFU como combustible en las cementeras de España tuvo su inicio en 2001. Se muestra su evolución en los últimos años:



Fuente: Oficemen

En cuanto al aporte energético de los NFU en el conjunto de combustibles alternativos, se muestra en el siguiente gráfico la evolución entre 2004 y 2011, siendo el NFU el principal componente que se observa en la base del gráfico.

• **Consumo energético de combustibles alternativos por tipos en España (tep.)**



Fuente: Institut Cerdà

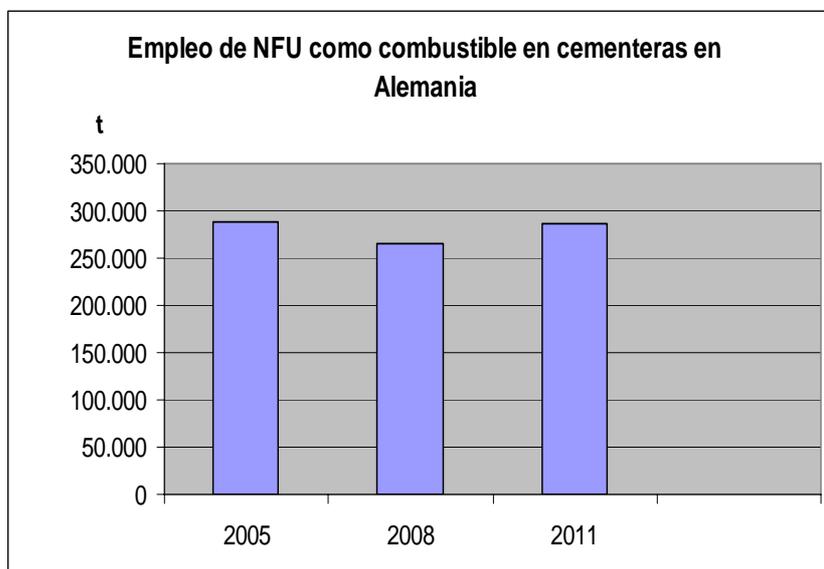
Su distribución por comunidades autónomas, en toneladas, ha sido la siguiente:

Consumos totales de neumáticos fuera de uso por comunidad autónoma								
CCAA	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	18.389	16.802	12.839	13.185	7.672	15.988	29.148	27.750
Comunidad Valenciana	7.764	7.459	5.298	7.000	17.521	22.070	26.748	21.360
País Vasco	7.344	13.931	13.102	15.385	8.699	11.841	12.725	14.821
Castilla y León	0	0	0	0	0	12.399	28.074	34.543
Castilla-La Mancha	0	0	1.585	9.502	9.121	18.171	16.319	18.485
Región de Murcia	2.756	3.710	4.660	6.624	5.300	792	68	188
Galicia	5.002	6.540	6.600	754	0	0	0	0
Asturias	0	0	0	0	0	2.816	2.791	6.255
Cantabria	0	0	0	0	0	0	65	4.986
Totales anuales	41.255	48.442	44.084	52.450	48.313	84.077	115.938	128.389

Fuente: Institut Cerdà

## Alemania

El uso de neumáticos en cementeras en Alemania muestra cierta estabilidad en los últimos años.



Fuente: VDZ, memorias anuales.

### Otras Regiones del mundo

En relación con otras áreas geográficas los datos de recuperación energética de NFU en unidades o número de neumáticos serían los siguientes:

*Uso de NFU como Combustible preparado de residuos (datos 2006, 2005 para EEUU. WBCSD)*

	NFU total (número excluyendo exportaciones y recauchutado)	Uso como combustible	Instalaciones que lo emplean
<b>Europa</b>	250 millones	41%	Hornos de cemento
<b>Japón</b>	80 millones	70%	Hornos de cemento, plantas de papel y fábricas de neumáticos
<b>Estados Unidos</b>	292 millones	53%	Hornos de cemento, fábricas de pasta, plantas de combustión

Fuente: WBCSD. Managing end of life tyres.

### 3. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

#### 3.1 Vías de recuperación en relación con la jerarquía de residuos

La composición de los NFU incluye diversos materiales, aunque principalmente comprende una mezcla de goma, natural y sintética, y acero, a las que se añaden una serie de sustancias para asegurar sus prestaciones, seguridad y durabilidad. Estas características le confieren una gran variedad de rutas de recuperación y potenciales mercados, aunque se suelen agrupar en dos grandes vertientes:

- Reciclado material de caucho/acero.
- Valorización o recuperación energética.

##### **Reciclado Material**

- Neumáticos enteros: usados en ingeniería civil.
- Neumáticos triturados: Como material drenante en lugar de gravas o arenas, como relleno por debajo de la subrasante en carreteras, y otras aplicaciones de ingeniería civil.
- Polvo de NFU: Usado como suelo en parques infantiles, en hierba artificial, en suelos ecuestres o como modificadores de asfaltos convencionales.

##### **Recuperación de energía**

Tal y como describen los documentos de los propios fabricantes,<sup>3</sup> el valor calorífico del neumático es el equivalente al carbón de buena calidad, por lo que los NFU se pueden usar como una alternativa a los combustibles de origen fósil en instalaciones adecuadas. La mayoría de los neumáticos usados recuperados energéticamente en Europa se emplean en cementeras, suponiendo un menor impacto ambiental global que el uso de combustibles fósiles. Presentan un elevado contenido de energía y son igual o incluso mejor recurso que otros combustibles fósiles. Esto, junto con los costes elevados de energía ha incrementado su uso. Así mismo, las tecnologías para su uso están desarrolladas, y con el suficiente apoyo y reconocimiento, como una alternativa viable, el desarrollo de esta industria tiene un gran potencial.

La Directiva 2008/98 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos («Directiva marco de residuos»), que establece el marco jurídico de la Unión Europea para

---

<sup>3</sup> "Managing end of life tyres" World Business council for Sustainable Development"

la gestión de los residuos, incorpora el principio de jerarquía en la producción y gestión de residuos, que ha de centrarse en la prevención, la preparación para la reutilización, el reciclaje u otras formas de valorización. Esta jerarquía debe ser tenida en cuenta por las Administraciones en el desarrollo de sus políticas en materia de prevención y control de residuos, pero teniendo en cuenta además el mejor resultado medioambiental global. De este modo, vías de recuperación material que impliquen transportes a larga distancia (incluidas exportaciones), o tratamientos intensivos en energía u otros impactos ambientales añadidos no tienen por qué tener prioridad ante la recuperación energética.

Los estudios de ACV revisados muestran en general las ventajas ambientales del reciclado material de NFU en aplicaciones en las que se sustituye a polímeros (objetos de caucho artificial, hierba artificial, etc).

Aunque resulta difícil comparar los resultados de los ACV de distintos tratamientos, los resultados pueden ser útiles de cara a una reflexión sobre este posible balance ambiental.

Varios estudios de análisis de ciclo de vida (ACV) revisados han demostrado que el tratamiento de los NFU en cementera presenta ventajas ambientales importantes en comparación con el uso de combustibles convencionales.

Cuando se han comparado algunos tipos de reciclado material en los que no se aprovechan plenamente las propiedades del NFU, con el tratamiento de NFU en cementera, las ventajas ambientales obtenidas para el escenario de reciclado de material no resultan tan positivas como las aplicaciones en objetos de caucho sustituyendo a polímeros.<sup>4</sup> En el caso de operaciones como el relleno o como material drenante en vertederos, u otros usos en obra civil<sup>5</sup>, los beneficios ambientales se reducen significativamente aún más.

Hay que tener en cuenta además, que el uso de neumáticos en cementeras permite recuperar la fracción de acero presente en los mismos, puesto que el hierro es un elemento mineral necesario para la fabricación del clinker. Por ello se trata de una recuperación energética y material simultánea, cuestión a tener en cuenta al aplicar la jerarquía de gestión de residuos.

---

<sup>4</sup> Comparative Life Cycle Assessment of two Options for Scrap Tire Treatment: material recycling vs. tire-derived fuel combustion.

<sup>5</sup> "Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: material recycling in asphalt and artificial turf vs. civil engineering application for drainage layers in landfills." Genan, 2010

### Ejemplo de Análisis de Ciclo de Vida para distintos tratamientos: Estudio ACV Aliapur

Aliapur es la compañía líder en Francia en el campo de la recuperación de neumáticos fuera de uso. En 2010 publicó un estudio sobre el Análisis del Ciclo de Vida de los NFU (Neumáticos Fuera de Uso)<sup>6</sup>. En él se llega a la conclusión de que, con las condiciones técnicas actuales, casi todos los métodos estudiados de recuperación tienen beneficios medioambientales, independientemente del impacto evaluado.

Entre los que poseen grandes ventajas ambientales se encuentran las aplicaciones en objetos de caucho y hierba artificial (por el mayor impacto evitado en la fabricación de polímeros), así como la valorización energética en cementeras.

Aunque la realización de comparaciones entre los resultados de ACV presenta limitaciones y es a menudo cuestionada en la fase de revisión crítica del ACV de los estudios publicados, Aliapur presentó sus resultados de ACV para varios tipos de tratamiento intentando mantener una coherencia en la metodología que permitiera evaluar los resultados con cierta perspectiva.

Como ejemplo de tres de los nueve tratamientos evaluados, se presentan a continuación los resultados para las distintas categorías de impacto.

Los resultados obtenidos para reciclado material (método no destructivo) en objetos de caucho para una t de NFU fueron:

RESULTADO TOTAL ACV	Objetos de Caucho
Consumo de energía primaria total (GJ)	-63
Emisiones gases calentamiento global (de origen fósil) a 100 años (kg eq. CO2)	-2.703
Emisiones de gases acidificantes (kg eq. SO2)	-20.425
Formación de ozono troposférico (g eq. Etileno)	-204
Consumo recursos no renovables (kg eq. Antimonio)	-26
Consumo de agua (m3)	-41
Contribución a la eutrofización (g eq. PO4)	-1.838
Generación residuos (t)	0

<sup>6</sup> "Life Cycle Assessment of nine recovery methods for ELT" Reference document – Publication June 2010 - R&D Aliapur. 2010

Donde los valores negativos indican ahorro en comparación con los valores de impacto ambiental con el material habitual (polímeros) y sin este uso del NFU.

Mientras tanto, los resultados obtenidos para el uso en cuenca de infiltración como material drenante (método no destructivo) para una t de NFU fueron:

RESULTADO TOTAL ACV	Cuenca de infiltración
Consumo de energía primaria total (GJ)	0
Emisiones gases calentamiento global (de origen fósil) a 100 años (kg eq. CO <sub>2</sub> )	-11
Emisiones de gases acidificantes (kg eq. SO <sub>2</sub> )	18
Formación de ozono troposférico (g eq. Etileno)	0
Consumo recursos no renovables (kg eq. Antimonio)	0
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	0
Contribución a la eutrofización (g eq. PO <sub>4</sub> )	21
Generación residuos (t)	0

(Se consideraban como cero los valores no significativos)

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para una de las opciones de tratamiento como uso energético (método destructivo), en cementera sustituyendo combustible fósil, para una t de NFU.

RESULTADO TOTAL ACV	Cementerías
Consumo de energía primaria total (GJ)	-43
Emisiones gases calentamiento global (de origen fósil) a 100 años (kg eq. CO <sub>2</sub> )	-1.466
Emisiones de gases acidificantes (kg eq. SO <sub>2</sub> )	-7.031
Formación de ozono troposférico (g eq. Etileno)	-92
Consumo recursos no renovables (kg eq. Antimonio)	-21
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	-11,8
Contribución a la eutrofización (g eq. PO <sub>4</sub> )	-327
Generación residuos (t)	0

Las conclusiones del estudio de Aliapur fueron que todos los métodos de recuperación presentaban beneficios ambientales, por lo que resultaba beneficioso invertir en etapas de recolección y trituración o granulado y transporte de NFU.

Los resultados obtenidos permiten también poner en perspectiva la jerarquía de residuos mencionados en el contexto de la Directiva 2008/98/CE relativa a los residuos. El estudio hacía notar en su interpretación de resultados que no todos los métodos considerados como de recuperación material tenían sistemáticamente mejores resultados

medioambientales que los métodos de recuperación de energía, como puede ser el empleo de NFU en cementeras.

Aunque se ha llegado a esta conclusión, se debería efectuar una revisión para los métodos no destructivos con la finalidad de incrementar el conocimiento para este tipo de recuperación.

Por último, concluye que sería beneficioso realizar una política de recuperación de neumáticos basada en una combinación de las diferentes metodologías estudiadas (métodos destructivos y no destructivos).

### **Aplicabilidad real de ciertos tipos de reciclado**

En el ámbito estatal, el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) presenta unos objetivos específicos para la gestión de neumáticos que, por las perspectivas excesivamente optimistas en los años de su redacción (2008) o por falta de información basada en la práctica de algunas aplicaciones materiales de los neumáticos (como el uso en mezclas bituminosas), resultan inviables a medio plazo, e incompatibles con los objetivos generales del propio PNIR que se han señalado anteriormente (eficiencia y lucha contra el cambio climático).<sup>7</sup>

Así, se presenta para 2012-2015 un objetivo de reciclaje en mezclas bituminosas del 42% - 45%, dando lugar aun objetivo de reciclaje total de NFU del 52-55%.

Estas cifras han resultado ser muy diferentes a los resultados obtenidos en la práctica aplicación de las mezclas bituminosas modificadas. De los datos de Signus se desprende que menos de 2.500 t de caucho fueron destinadas a mezclas bituminosas en 2009,<sup>8</sup> comparadas con las cerca de 120.000 que “estimaba” el Plan. Tampoco esta opción está teniendo tasas de utilización muy mayores en otros países.

Por ello varios agentes gestores han solicitado la revisión de estos objetivos, siendo esta revisión ya anunciada por el propio Plan en función del desarrollo de las aplicaciones.

---

<sup>7</sup> Memoria TNU 2012: “Plan Nacional 2008-2015: Se ha experimentado que los parámetros porcentuales establecidos en dicho Plan, son hoy por hoy, inviables o de difícil cumplimiento”.

<sup>8</sup> Memoria SIGNUS 2009. En 2012 no desglosa el dato de uso, aunque sí destaca su potencial. Por otra parte, la memoria TNU 2012 sí desglosa su uso, que no supera las 500 t entre los dos últimos años.

## 3.2 Garantías ambientales de la recuperación de NFU en cementeras

### 3.2.1 Cuestiones generales

**Por las especiales garantías del proceso de fabricación, el uso de combustibles preparados a partir de NFU, no incrementa las emisiones de las fábricas, ni genera riesgos añadidos para la seguridad y salud de las personas, respetando la calidad del producto.**

El uso de NFU como combustibles en hornos de cemento, entre otros residuos, está regulado en Europa de manera específica desde el año 2000 mediante la Directiva 2000/76/CE, de incineración de residuos, que recogía las condiciones que deben cumplir varias instalaciones industriales de tratamiento térmico de residuos, entre ellas los hornos de cemento, en cuanto a controles de funcionamiento y emisiones, comunes para toda Europa. Esta Directiva ha sido incorporada en la Directiva de Emisiones Industriales 2010/75/UE (Prevención y Control Integrados de la contaminación), y sus requisitos se basan en el objetivo de alcanzar “un grado elevado de protección del medio ambiente y la salud de las personas”, mediante el “establecimiento y mantenimiento de condiciones operativas y de requisitos técnicos rigurosos, así como de valores límites de emisión para las instalaciones de incineración o coincineración de residuos...”.

La experiencia acumulada en Europa en el uso de NFU ha constatado que se cumplen esos límites de emisión. Están disponibles estudios técnicos y científicos sobre emisiones y potenciales riesgos para la salud relacionados con la combustión de neumáticos en cementeras. Los estudios de calidad reconocida y contrastable son publicados por revistas científicas o por organismos oficiales, y entre éstos, los principales se describen más adelante en el presente documento.

Además de los límites de emisión de los contaminantes relevantes, en Europa están reguladas las condiciones de la combustión para que ésta se realice de manera completa. Las Directivas mencionadas recogen los requisitos clave, que están en línea con los recomendados por los comités técnicos y científicos internacionales<sup>9</sup>:

- **Altas temperaturas:** 850° C

---

<sup>9</sup> Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, Documento BREF sobre Mejores Técnicas Disponibles del 9 de abril de 2013, etc.

- **Tiempo de residencia** suficiente para la destrucción: 2 segundos a esa temperatura.

En el Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles para la fabricación de cemento (BREF), publicado por la Comisión Europea, se recoge que el uso de residuos como combustible es una mejor técnica disponible. Este documento cita que las características especiales de los hornos de cemento les permiten reciclar y valorizar residuos, sin generar un riesgo para el medio ambiente o la salud de las personas, ni un detrimento en la calidad del cemento<sup>10</sup>.

Adicionalmente el uso de residuos como combustibles en hornos de cemento puede tener los siguientes efectos ambientales (Sección 4 del BREF, donde se describen detalladamente las Técnicas para ser evaluadas como MTD):

*“El uso de residuos como combustibles tiene los siguientes beneficios ambientales*

- *Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> fósil, y de NO<sub>x</sub>*
- *Reducción del uso de recursos naturales.”*

*“Su aplicabilidad es general para la industria, siempre que se asegure que la materia orgánica combustiona de manera completa. Los controles de entrada de residuos y de las emisiones garantizan un bajo nivel de emisiones, por ejemplo de metales y dioxinas o furanos.”*

En el caso concreto de los neumáticos fuera de uso en trozos, pueden actuar como coadyuvantes en la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). En el BREF se menciona su uso como una posible variante de la técnica de “combustión escalonada” para la reducción de NO<sub>x</sub>. Su uso puede dar lugar a ciertas reducciones de NO<sub>x</sub>, aunque no es sencillo mantener la regularidad de la combustión si se pretende llegar a altas eficiencias de reducción con esta técnica.

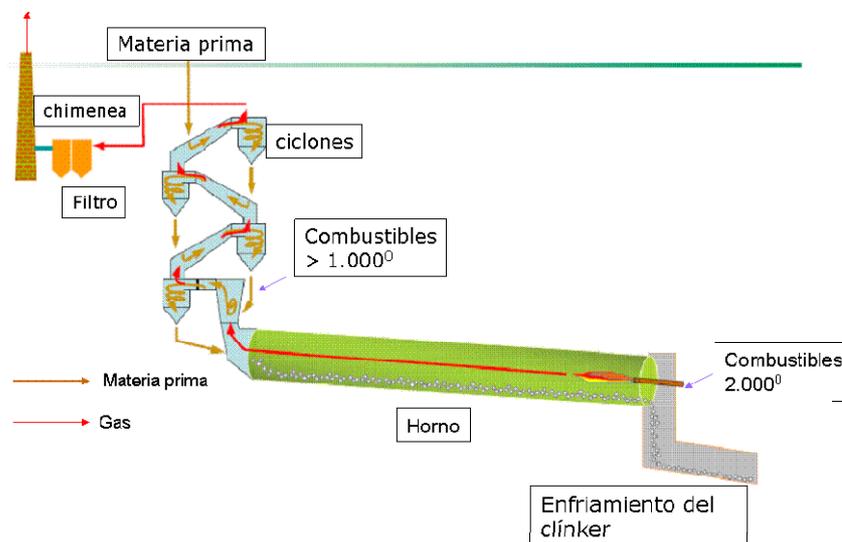
### 3.2.2 Garantías del proceso de fabricación de clinker

Para obtener el **clinker** es necesario calentar las materias primas minerales (caliza y arcillas) en grandes hornos rotatorios hasta su fusión parcial, a 1.450°C. El calor necesario para ello se obtiene de la combustión en una gran llama principal y a veces en una secundaria. Este proceso requiere una gran cantidad de combustibles y aporta la

---

<sup>10</sup> [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CLM\\_Published\\_def.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CLM_Published_def.pdf), Pág. 19, del BREF Cement, lime and magnesium se resumen las características del proceso que se enumeran más adelante en este documento.

posibilidad de valorizar ciertos residuos orgánicos utilizándolos como combustibles alternativos en sustitución de los tradicionales.



Para llegar al horno, el mineral molido finamente va cayendo a través de la torre de ciclones. Mientras, los gases de combustión circulan en sentido contrario, por lo que este contacto directo entre gases y material proporciona una limpieza de los mismos, neutralizando los gases ácidos, y arrastrando otros contaminantes como metales hacia la parte baja del horno, donde se solidifican con el clinker. En detalle, se constata que:

- **Los compuestos orgánicos de los residuos quedan destruidos, desapareciendo su peligrosidad. La combustión de residuos en el horno clinker destruye de manera completa la materia orgánica contenida en los mismos gracias a tres factores, que son:**
  - o **Altas temperaturas:** cerca de 2.000° C en el quemador principal y de 1.000° C en el quemador secundario (o precalcinador).



- o **Largo tiempo de residencia:** los gases permanecen a muy alta temperatura, entre 3 y 4 segundos por encima de 850°C en el precalcinador, y entre 5 y 6 segundos por

encima de 1.800° en la llama principal. La legislación europea exige 2 segundos por encima de 850°C.

- **Atmósfera oxidante:** la combustión se realiza con exceso de aire, por lo que toda la materia orgánica reacciona con el oxígeno formando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.
- **Los gases se limpian a través de la materia prima entrante al horno.** El propio material mineral presente en el horno (mayoritariamente cal) y en los ciclones, constituye un potente sistema de filtrado de los gases de combustión. Posteriormente los gases son filtrados nuevamente en equipos de limpieza de gases (filtros de mangas, electrofiltros o la combinación de ambos).
- **No se producen cenizas volantes o residuos de la valorización.** En general, en la combustión de los residuos queda un resto mineral, denominado “cenizas”, pero en el horno de cemento estas cenizas quedarán fundidas en el clinker, de forma permanente e inocua<sup>11</sup>. Las partículas emitidas por el horno de cemento no son cenizas volantes del combustible, como en otras instalaciones, sino que son partículas de la materia prima arrastrada de los ciclones superiores.

**Por todo ello cuando los gases del horno llegan a la atmósfera, no presentan una composición que conlleve mayor impacto sobre el medio ambiente que cuando se ha empleado un combustible tradicional.<sup>12</sup>**

### 3.2.3 Principales estudios en relación con los NFU

El campo de investigación en materia de medio ambiente es muy amplio y ha protagonizado grandes avances en los últimos años. Los impactos de las distintas actividades humanas sobre el medio ambiente son diversos y los estudios se han ido especializando. Sobre el campo del tratamiento de residuos existe numerosa literatura, mucha de la cual no es aplicable a las cementeras. Es conocido que muchos estudios advierten de los riesgos de la combustión de neumáticos cuando las temperaturas a las que se realiza esta combustión son insuficientes. Por eso en la Unión Europea, antes que en otras zonas del mundo, se ha sometido a una estricta normativa a las instalaciones de gestión de residuos para evitar los posibles impactos sobre el medio ambiente o la salud que se pudieran derivar de estas actividades. La principal, prohibir su vertido para evitar combustiones a cielo abierto, tal y como recomiendan los convenios internacionales.

---

<sup>11</sup> CSIC, 2003. "Empleo de combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Efecto en las características y propiedades de los clínkeres y cementos". Puertas et. al, Revista de Materiales de Construcción. 54, 2004.

<sup>12</sup> Ver apartado de estudios científicos, especialmente de UNEP, CSIC, CIEMAT, Universidad de Alicante

Adicionalmente, también se regularon las condiciones exigidas a la combustión de éstos residuos mediante las Directivas mencionadas anteriormente.

Hoy los legisladores, la industria, las administraciones, los trabajadores y los vecinos del entorno de las fábricas de cemento tienen a su disposición estudios científicos sobre emisiones y los potenciales riesgos para la salud relacionados con la combustión de neumáticos en cementeras. Los estudios de calidad reconocida y contrastable son publicados por revistas científicas o por organismos oficiales.



**Estos estudios confirman que no hay efectos negativos sobre las emisiones, ni por lo tanto riesgos para la salud o el medio ambiente, derivados del uso de NFU en los hornos de cemento.**

A continuación se detallan algunos de estos estudios:

1. La declaración del **Comité Consultivo sobre Efectos Médicos de Contaminantes para la Salud (COMEAP)** de **Reino Unido**, sobre que el uso de residuos como combustibles alternativos en fábricas de cemento “no presentan probabilidad de causar un incremento de riesgo para la salud”. Tras varios estudios, que incluían datos sobre emisiones, inmisiones y salud, e informes de la Agencia Ambiental de Inglaterra y Gales, el Comité Consultivo sobre Efectos Médicos de Contaminantes para la Salud concluyó en 2005 que **los hornos de cemento que usan como sustituto de su combustible neumáticos fuera de uso o Combustibles líquidos derivados de residuos “no presentan probabilidad de causar un incremento de riesgo para la salud”**.<sup>13</sup>

<sup>13</sup><http://www.comeap.org.uk/documents/statements/39-page/linking/78-substitute-fuels-in-cement-kilns>.

2. La Agencia de Protección Ambiental Americana-**EPA** ha publicado en su web el estudio sobre emisiones de dioxinas durante la combustión de neumáticos en la industria cementera de EEUU realizado en 2008 en diferentes tipos de hornos (vía seca y húmeda) e instalaciones de alimentación (quemador principal, precalcinador y precalentador). **Se constata que no se produce un incremento de las emisiones de dioxinas en los hornos que emplean neumáticos.**<sup>14</sup>

Ya en 1997 esta Agencia había realizado el estudio "Emisiones al aire de la combustión de llantas usadas", en el que, como conclusión, la **EPA** afirmaba que "La combinación de mucho tiempo en la cámara de combustión y altas temperaturas hace que los **hornos de cemento sean un ambiente idóneo para la combustión de combustible derivado de neumáticos. Las emisiones de los hornos no se ven afectadas negativamente** por el uso de estos combustibles respecto a los de base".<sup>15</sup>

3. Los documentos y estudios realizados por el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas<sup>14</sup>, en el marco del **Convenio de Naciones Unidas sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes** (Convenio de Estocolmo), concluyen que el procesado de residuos en cementeras utilizando diferentes instalaciones de alimentación como el precalcinador, precalentador o quemador principal no supone un incremento en las emisiones de contaminantes orgánicos persistentes, en concreto, de dioxinas y furanos:

El programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, junto con Alemania y el gobierno tailandés, ha realizado un programa de análisis y muestreo de dioxinas en Tailandia, con el fin de caracterizar y verificar los factores de emisión, que concluye que **"los resultados demostraron que el agregado de neumáticos y/o residuos líquidos peligrosos no tenía efecto sobre los resultados de emisión**, considerando que el proceso seco en horno de cemento empleado en la planta cementera corresponde a la tecnología más avanzada y la planta se encuentra bien gestionada"<sup>16</sup>

4. La Universidad de Dalhousie de Canadá<sup>17</sup>, ha realizado una "Evaluación del uso de neumáticos usados como combustible alternativo". La evaluación del riesgo para la salud se ha realizado mediante una exhaustiva revisión de estudios que analizan el impacto de las emisiones de las plantas de cemento, a partir de mediciones en chimenea y un estudio de dispersión de contaminantes. Se concluye que el uso de

---

<sup>14</sup> <http://www.epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/publications.htm#other>. 2008 Air Emission Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations Firing Tire-Derived Fuels (PDF).

<sup>15</sup> "Emisiones al aire de la combustión de llantas usadas". EPA 1997.

<sup>16</sup> Instrumental Normalizado para la identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos. PNUMA 2005. [http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit\\_2005es.pdf](http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit_2005es.pdf)

<sup>17</sup> Pegg, M. J., Amyotte, P. R., Fels, M., Cumming, C. R. & Poushay, J. C. 2007. An assessment of the use of tires as an alternative fuel. Disponible en: [www.gov.ns.ca/nse/waste/docs/TireUseAlternative-FuelAssessment.pdf](http://www.gov.ns.ca/nse/waste/docs/TireUseAlternative-FuelAssessment.pdf)

- neumáticos como combustible alternativo no implicaría riesgo ambiental ni de salud añadido, respecto al uso de combustibles tradicionales, ya que las concentraciones estarían por debajo de los estándares aceptados para la protección de la salud.
5. En el estudio realizado por URS España<sup>18</sup> sobre las emisiones de cuatro plantas cementeras españolas (una de ellas empleando NFU) y su posible efecto sobre el medio ambiente y la salud en el entorno de las mismas, se analizó la posible afección de la población a través de la inhalación y la ingestión. Se concluye que:
    - “Las emisiones de las cuatro plantas conllevan un riesgo claramente inferior a los valores de referencia considerados internacionalmente como aceptables para todos los contaminantes y en todos los colectivos potencialmente afectados”.
    - “No se ha identificado ningún aumento del riesgo potencial para la salud en el caso de las plantas que utilizan combustibles derivados de residuos en sustitución del coque de petróleo”.
  6. El Instituto Canadiense de Toxicología (CANTOX)<sup>19</sup>, ha realizado una revisión de diversos estudios para evaluar los impactos en la salud pública, debido al uso de combustibles alternativos en la industria cementera, principalmente neumáticos y otros combustibles preparados a partir de residuos no peligrosos. Este informe concluye que:
    - “Las emisiones disponibles, las concentraciones a nivel del suelo y los datos de evaluación de salud no predicen impactos adversos para la salud debido al uso de combustibles alternativos en hornos de cemento”.
  7. Estudio realizado por el CSIC<sup>20</sup> sobre emisiones de dioxinas furanos en tres hornos en España durante el uso de neumáticos usados y harinas animales alimentados por el precalcinador y/o quemador principal, que concluye que “Los resultados no suponen impacto añadido en el entorno”.
  8. Evaluación de las emisiones de dioxinas del sector cementero español, un trabajo realizado en el marco de un Convenio con el Ministerio de Medio Ambiente, y el Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales-CIEMAT, en el que se concluye que<sup>21</sup>:

---

<sup>18</sup> Lavall, A., García, A., González, C., Liebert, C. & Perret, J.F. 2010. Estudio sobre las emisiones y su posible efecto sobre el medio ambiente y la salud en el entorno de plantas cementeras. Cemento Hormigón, 938.

<sup>19</sup> CANTOX Environmental, Mississauga, Ontario. Literature Review & Assessment of Public Health

Impacts of Alternative Fuel Use in the Cement Industry. Report to the Cement Association of Canada, September 2006.

<sup>20</sup> “Polychlorinated dibenzo-p-dioxin/polychlorinated dibenzofuran releases to the atmosphere from the use of secondary fuels during clinker formation”. Abad, Rivera,... (IQAB-CSIC). Environmental Science and Technology 2004,38. (Resultados en castellano también en Revista Cemento Hormigón, extraordinario 2004, y en Ingeniería Química, enero 2004).

<sup>21</sup> “Global assesment of PCDD emissions from the spanish cement sector: effect of conventional/alternative fuels”. Organohalogen compounds. Fabrellas, Ruiz et al. Volumen 66 (2004). Resultados en castellano también en Revista Cemento Hormigón, marzo 2005

- “Los valores de emisión de dioxinas y furanos se encuentran muy por debajo de los límites de emisión exigidos por la legislación”.
- “Las emisiones de dioxinas y furanos no se ven afectadas por las sustituciones de combustibles fósiles por residuos, presentando rangos de emisión dentro de los márgenes en que se encuentran las emisiones de un horno convencional.”

En esa evaluación se realizaron 85 mediciones, 12 de ellas con NFU como parte del combustible alimentados por el precalcinador y/o precalentador y quemador principal.

### 3.3 Ejemplos de estudios sobre emisiones

Se recogen en este apartado de manera específica algunos resultados concretos de los estudios sobre emisiones de hornos de cemento que emplean neumáticos fuera de uso como combustible alternativo, mencionados de forma resumida en el apartado anterior.

Cabe señalar que existe gran cantidad de información acerca de las emisiones de hornos de cemento que emplean combustibles alternativos, pero en ocasiones la aplicabilidad de los hallazgos puede verse limitada por tratarse de pruebas piloto (Lemieux et al 2004, pruebas realizadas en un horno rotatorio a escala experimental) estimaciones a partir de factores de emisión genéricos no específicos del horno en estudio (Kook and Kemm (2002-2004)) o multitud de factores adicionales (tipo de proceso, tecnología de limpieza de gases, etc.). Por ello, más que focalizar el presente análisis en tablas con datos de emisión (que se presentan como ejemplos de mediciones reales realizadas) son interesantes las conclusiones de órganos o instituciones de prestigio que han dedicado tiempo suficiente a evaluar en detalle la relevancia de dichos hallazgos y a ponerlos en perspectiva teniendo en cuenta el estado de la tecnología actual, tanto de fabricación de cemento en nuestro entorno, como la de medición de emisiones de contaminantes, así como su relevancia en términos de efectos ambientales o para la salud.

#### Contaminantes analizados

En cuanto a los contaminantes estudiados, la mayoría se centran en los regulados por la normativa aplicable. En el caso de la Unión Europea<sup>22</sup>, para hornos de cemento estos contaminantes son:

---

<sup>22</sup> Directiva 2010/75/UE sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Capítulo IV. Plantas de incineración y co-incineración.

- Partículas totales. Sujetas a medición en continuo y límite de emisión.
- Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) Sujetos a medición en continuo y límite de emisión.
- Ácido clorhídrico (HCl). Sujeto a medición en continuo<sup>23</sup> y límite de emisión.
- Ácido fluorhídrico (HF). Sujeto a medición en continuo<sup>24</sup> y límite de emisión.
- Metales pesados: Cadmio (Cd), Talio (Tl), Mercurio (Hg), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Vanadio (V). Sujetos a mediciones puntuales y límites de emisión.
- Dioxinas y furanos (D/F). Sujetos a mediciones puntuales y límites de emisión
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Sujeto a medición en continuo y límite de emisión (teniendo en cuenta que la emisión de SO<sub>2</sub> puede no proceder de la coincineración de residuos, sino de las materias primas, pueden aplicarse exenciones a los límites en esos casos).
- Carbono Orgánico Total (COT). Sujeto a medición en continuo y límite de emisión (teniendo en cuenta que la emisión de SO<sub>2</sub> puede no proceder de la coincineración de residuos, sino de las materias primas, pueden aplicarse exenciones a los límites en esos casos).
- Monóxido de Carbono. Sujeto a medición en continuo. Dado que en hornos de cemento no es necesariamente indicador de la combustión sino que puede proceder de la oxidación de materia orgánica en materias primas, no se estableció límite de emisión europeo para coincineración, aunque la autoridad competente puede fijarlo a nivel de instalación.

### Otros contaminantes minoritarios analizados

Existe también información sobre otros contaminantes que la UE no ha considerado necesario regular en su normativa:

- Zinc (Zn). Por su presencia en los neumáticos, en algunos estudios se ha analizado el comportamiento de este metal en las emisiones y en el producto, con resultados que no presentan problemática alguna. En el Anexo III se presentan algunos datos disponibles.
- Otros contaminantes orgánicos persistentes (COPs). Como en cualquier proceso térmico, la fabricación de clinker puede tener emisiones de COPs, como las dioxinas y furanos, que hemos mencionado con anterioridad y PAH que son minoritarias. Cuando se emplean residuos, las condiciones de la combustión

---

<sup>23</sup> Con posibilidad de medición puntual en ciertos casos.

<sup>24</sup> Con posibilidad de medición puntual en ciertos casos

reguladas en la UE se consideran suficientes para mantener una alta calidad de la combustión que evite la emisión de productos de combustión incompleta, entre los que podrían estar presentes COPs. Algunos de los controles impuestos sobre la emisión de algunos de estos contaminantes, por ejemplo las Dioxinas se garantiza esta adecuada combustión de los residuos para que no supongan un aumento en las emisiones de estas sustancias. En el anexo IV se presenta información relevante sobre diferentes estudios de COPs (dioxinas, PCB, y PAH, etc).

### 3.3.1 Estudio “Combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Informe de emisiones”. CSIC

En España destaca entre las primeras referencias científicas acerca de las emisiones durante el uso de NFU la publicada por el equipo del Instituto de Química Ambiental de Barcelona, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas<sup>25</sup>. Se realizaron campañas de mediciones en 3 fábricas con las siguientes características y condiciones de utilización de residuos:

- **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 clinker 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.

---

<sup>25</sup> “Combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Informe de emisiones”. Dr J. Rivera, Dr. E. Abad. Revista Cemento Hormigón, nº extraordinario de 2004. Publicado en Environmental Science and Technology 2004,38 “Polychlorinated dibenzo-p-dioxin/polychlorinated dibenzofuran releases to the atmosphere from the use of secondary fuels during clinker formation”. Abad, Rivera, (IQAB-CSIC).

- **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.

Los resultados de las mediciones fueron los siguientes:

- **Fábrica 1: Harinas animales**

Tabla 1.- Emisiones de metales y sus compuestos.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (duración del muestreo: 120')	Segunda campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (duración del muestreo: 120')	Valor límite RD* (mg/Nm <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup> )	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )
0,009	0,001	0,1

\* Real Decreto 653/2003

- **Fábrica 2: NFU**

Tabla 3.- Emisiones de metales pesados.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (valor medio de dos muestreos de 70 y 60')	Segunda campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (valor medio de dos muestreos de 60')	Valor límite RD* (mg/Nm <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup> )	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )
0,026	0,042	0,1

\* Real Decreto 653/2003

- **Fábrica 3: NFU y harinas animales**

Tabla 5.- Emisiones de metales pesados.

Elemento	Primera campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (valor medio de tres muestreos de 40')	Segunda campaña (mg/Nm <sup>3</sup> ) (valor medio de tres muestreos de 48')	Valor límite RD* (mg/Nm <sup>3</sup> )
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/Nm <sup>3</sup> )	Segunda campaña (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	Valor límite RD* (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )
0,025	0,005	0,1

\* Real Decreto 653/2003

De la evaluación de resultados se recogen aquí los siguientes párrafos:

#### “5.1. Metales pesados

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

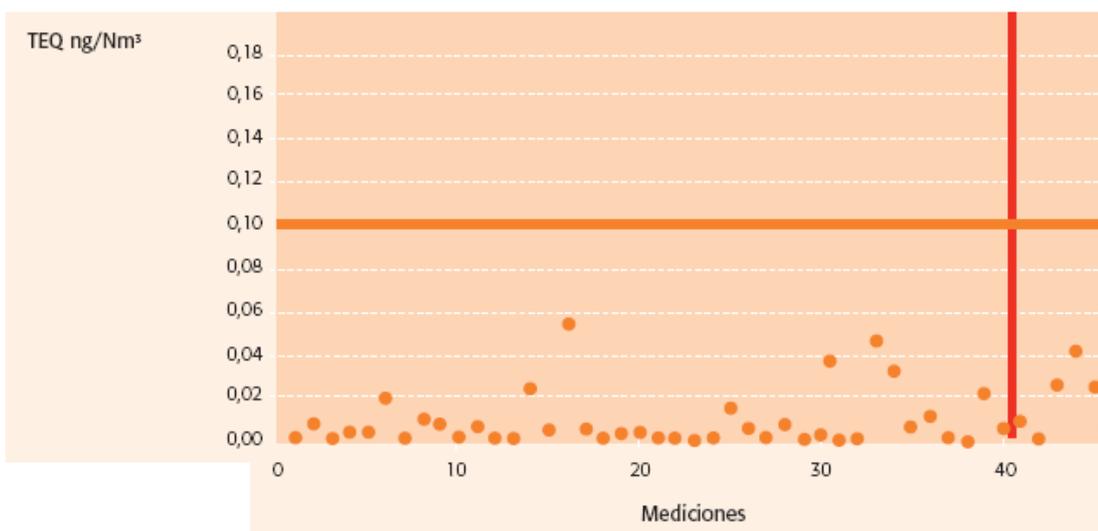
utilización de residuos y las incluyó en su informe. En estos casos no se observaron diferencias significativas entre las emisiones durante las dos campañas y las emisiones durante el empleo de combustibles tradicionales.

## 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/Nm<sup>3</sup>. 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 Nm<sup>3</sup>. 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 Nm<sup>3</sup>. 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.

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



porcentajes de sustitución térmica se situaron en torno 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/Nm<sup>3</sup> no difieren estadísticamente de los valores con los que se realizó el 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 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 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)."

### **3.3.2 Publicación CIEMAT “Estudio y resultados de la participación del Sector Cementero Español en el Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos (2000-2003)”**

El Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales CIEMAT publicó en 2005 el “Estudio y resultados de la participación del Sector Cementero Español en el Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos (2000-2003)”. Como se ha mencionado anteriormente los resultados de este profundo estudio se resumen en el artículo publicado por la revista científica *Organohalogen compounds*: “Global assessment of PCDD emissions from the Spanish cement sector: effect of conventional/alternative fuels”.<sup>26</sup> Se recogen a continuación varios fragmentos del estudio:

“Los objetivos del Programa de Medidas son:

- Cuantificar la emisión total de dioxinas y furanos debidas al sector del cemento en España.

---

<sup>26</sup> *Organohalogen compounds* Fabrellas, Ruiz et al. Volumen 66 (2004). Resultados en castellano también en Revista Cemento Hormigón, marzo 2005. estudio completo disponible en [www.recuperaresiduosencementeras.org](http://www.recuperaresiduosencementeras.org) , publicaciones.

- Conocer y definir la influencia cualitativa (perfiles de emisión) y cuantitativa en las emisiones de dioxinas de la utilización de diferentes tipos de residuos como combustibles alternativos.
- Calcular factores de emisión experimentales.
- Establecer influencias de los parámetros de operación.
- Establecer la idoneidad de la utilización de factores de emisión teóricos en España.

Básicamente, se llevó a cabo una campaña de muestreos durante los años 2000-2001-2002-2003 en 41 hornos. El estudio equivale al 69,5% de los hornos operativos durante el 2003, de los cuales 2 operan vía húmeda (40 % total), 2 vía semi-seca (33,3 % total) y 37 vía seca (77.08 % total). Se han analizado 89 muestreos: 25 durante el año 2000, 36 en el Año 2001, 26 durante el 2002 y se dispone de 2 muestreos del año 2003. El número de muestreos con combustibles convencionales (fuel, coque de petróleo...), es de 58 y 31 en hornos que utilizan combustibles alternativos (aceites usados, neumáticos, harinas,...). Todos los hornos muestreados que realizan prácticas de valorización energética de residuos mediante co-incineración en horno de clinker, operan mediante proceso seco, correspondiendo a 10 hornos.”

En cuanto a los resultados atendiendo a los tipos de combustible empleado:

“Los combustibles alternativos que se han utilizado en este estudio se detallan en la Tabla 6.17. La Figura 6.31 recoge los resultados de la emisión global de PCDD/Fs expresado en unidades de I-TEQ ng (Nm<sup>3</sup>, 10% O<sub>2</sub>), diferenciándose el uso de combustibles convencionales y alternativos.

COMBUSTIBLE	Nº muestreos
Mezclas disolventes	6
Harinas	5
NFU (Neumáticos Fuera de Uso)	4
Aceite usado/NFU	3
Aceite usado/NFU/disolventes	3
Aceite usado	2
Harinas/NFU	2
Aceite usado/disolventes	1
Aceite usado/Fracción ligera VFU	1
Serrín	1
Grasa animal/NFU/disolventes	1
Grasa animal/NFU/disolventes/harinas	1

Tabla 6.17. Relación de combustibles utilizados en los hornos muestreados que operan en condiciones de co-generación.

Como se puede apreciar en la Figura 6.31, no es significativa la diferencia en la emisión de PCDDs/PCDFs en el caso de aquellos hornos que realizan prácticas de co-combustión de residuos. Las emisiones, en todos los casos, se encuentran muy por debajo del límite de emisión establecido para hornos de cementera que realizan co-combustión de residuos en sus instalaciones ( $0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ ,  $10\% \text{ O}_2$ ).

Respecto a la cuantificación de la emisión de dioxinas y furanos, se observa que un mismo horno puede presentar mayor o menor emisión de PCDDs/PCDFs independientemente del uso de combustibles alternativos, así mismo para un mismo tipo de combustible los diferentes hornos presentan una emisión de diferente magnitud.

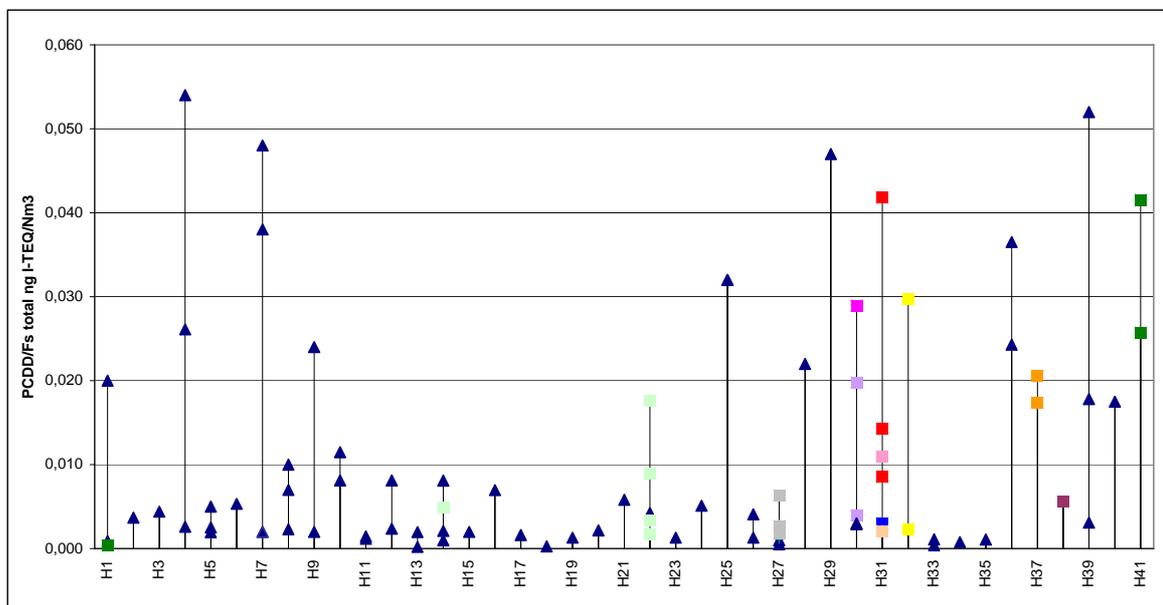


Figura 6.31. Emisión global de PCDDs/PCDFs en función del tipo de combustible, en hornos de producción de clínker. Expresado en unidades de toxicidad (I-TEQ  $\text{ng/Nm}^3$ ,  $10\% \text{ O}_2$ ).

El código de colores que se ha utilizado en este informe para diferenciar los diferentes residuos empleados como combustibles es el siguiente:

- Aceite usado / Neumáticos fuera de uso (NFU)
- Aceite usado / Neumáticos fuera de uso (NFU) / Disolventes
- Aceite usado
- Aceite usado / Fracción ligera de Vehículos fuera de uso (VFU)
- Grasas animales / Neumáticos fuera de uso (NFU) / Disolventes
- Aceite usado / Disolventes
- Harinas animales
- Harinas animales / Neumáticos fuera de uso (NFU)
- Grasas animales / Neumáticos fuera de uso (NFU) / Disolventes / Harinas animales.
- Serrín / Astillas + Celulosa
-

- Mezcla de disolventes
- Neumáticos fuera de uso (NFU)
- Combustibles tradicionales: coque de petroleo, carbón....

La Figura 6.32. representa la emisión total de PCDD/Fs en función del tipo de combustible. A modo de comparación se representa el rango de variación que existe en los hornos estudiados en los cuales se utilizan combustibles convencionales. Se observan rangos de emisión relativamente amplios, pero sus máximos se encuentran por debajo del máximo obtenido utilizando combustibles convencionales.

En la Tabla 6.18 se presentan los rangos de emisión en los diferentes casos a estudio. Los factores de emisión de PCDD/Fs para los 89 muestreos en función del tipo de combustible se representan en la Figura 6.33.

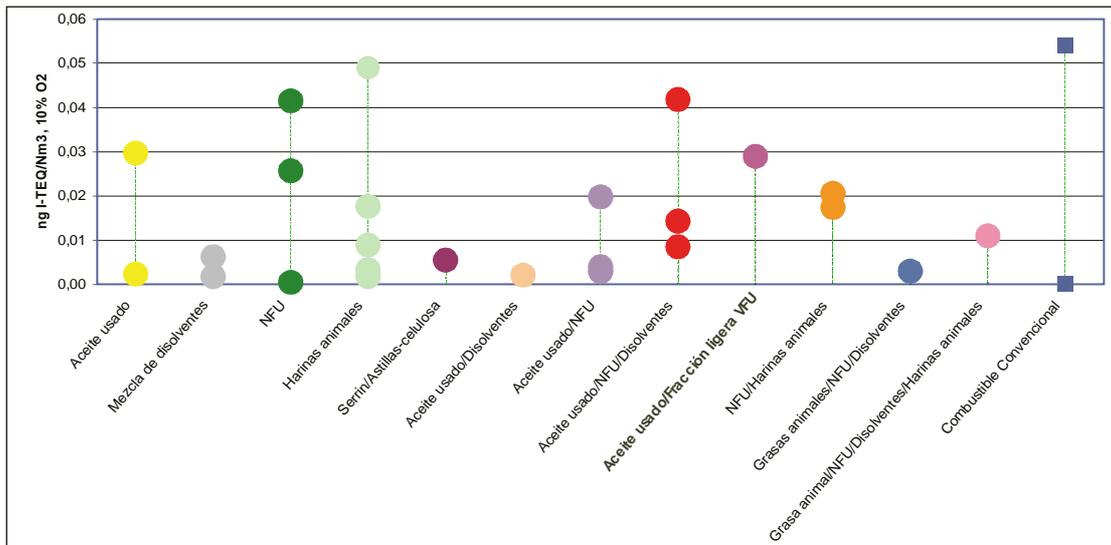


Figura 6.32. Emisión de PCDDs/PCDFs en hornos de producción de clinker, en función de los diferentes tipos de combustibles alternativos utilizados. Expresado en unidades de toxicidad (I-TEQ ng/Nm<sup>3</sup>, 10% O<sub>2</sub>).

<b>Emisión Total de PCDDs/PCDFs ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>, 10%O<sub>2</sub></b>	<b>Max</b>	<b>Min.</b>
Aceite usado	0,0297	0,0023
Mezcla de disolventes	0,0063	0,0011
NFU	0,0415	0,0004
Harinas animales	0,0490	0,0018
Serrín/Astillas-celulosa	0,0055	
Aceite usado/Disolventes	0,0021	
Aceite usado/NFU	0,0198	0,0029
Aceite usado/NFU/Disolventes	0,0418	0,0085

Aceite usado/Fracción ligera VFU	0,0289	0,0174
NFU/Harinas animales	0,0206	
Grasas animales/NFU/Disolventes	0,0030	
Grasa animal/NFU/Disolventes/Harinas	0,0110	
<b>Combustible Convencional</b>	<b>0,054</b>	<b>0,0002</b>

Tabla 6.18. Rangos e emisión de PCDDs/PCDFs en Hornos de clinker que utilizan diferentes combustibles en el proceso de fabricación.

A modo de resumen se observa que los rangos alcanzados en el caso de combustibles alternativos presentan una variación entre 0,8-133 ng I-TEQ/t de clinker en función de cada tipo de combustible. No se aprecia que exista una relación respecto al residuo utilizado. En comparación con los valores alcanzados con combustibles convencionales (0,7-245 ng I-TEQ/t de clinker) los valores obtenidos resultan inferiores. Así pues, basándonos en los resultados experimentales obtenidos en este estudio, se puede establecer que la influencia del tipo de combustible de sustitución en la emisión total de PCDDs/PCDFs, no es significativa respecto al uso de combustibles convencionales.”

El estudio detalla los análisis realizados para cada tipo de combustible alimentado, concluyendo que:

6.5.8.13. Conclusiones de la influencia de los combustibles alternativos

Resumiendo los resultados obtenidos respecto a la influencia de la sustitución de los combustibles convencionales (coque de petróleo, carbón, fuel-oil...) por combustibles alternativos procedentes de residuos, en las emisiones de PCDDs/PCDFs que se produce en un horno de clinker convencional, podemos apuntar algunas conclusiones:

1. En todos los casos estudiados en este trabajo, los valores de emisión de PCDDs/PCDFs se encuentran muy por debajo de los límites de emisión exigidos por la legislación en el caso de co-combustión de residuos en instalaciones cementeras (0,1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>, 10% O<sub>2</sub>).
2. Las emisiones de PCDD/Fs, cuantitativamente, no se ven afectadas por las sustituciones, presentando rangos de emisión dentro de los márgenes en que se encuentran las emisiones de un horno convencional.
3. No existe una relación directa entre la co-combustión de un tipo determinado de residuo y un rango de emisión determinada, parece estar más relacionado con el tipo de horno. (Ver apartado correspondiente a NFU).
4. Cualitativamente se han hallado variaciones de los perfiles en hornos alimentados con distinto tipo de residuos.
5. Dentro de un mismo horno, y para un mismo tipo de residuo, se pueden obtener valores y perfiles de emisión diferentes, no pudiéndose establecer relaciones entre los tipos de residuos y el contenido de PCDDs/PCDFs en las emisiones.
6. Los factores de emisión de PCDDs/PCDFs por unidad de producción, obtenidos en la utilización de combustibles alternativos, se encuentran dentro de los márgenes de los obtenidos en los hornos que operan con combustibles convencionales.
7. Tal y como se indica en el apartado 5, los sistemas no son especialmente reproducibles. Se observan comportamientos diferentes en cada horno. Se ha de mantener la necesidad de medir estos contaminantes (dioxinas) ya que cualquier variación de algún parámetro puede incidir en su aumento o disminución. Deben evitarse las extrapolaciones y mantener campañas de medidas periódicas.

El estudio menciona las cantidades alimentadas de NFU, que iban en un rango de 0,5 t/h a 1,5 t/h.

Esta publicación del CIEMAT hace también referencia a múltiples estudios bibliográficos acerca de factores de emisión e inventarios. En cuanto al uso de NFU como combustibles alternativos, cabe destacar el siguiente texto:

*“El programa de Naciones Unidas, junto con Alemania y el gobierno tailandés ha realizado un programa de análisis y muestreo de dioxinas en Tailandia, con el fin de caracterizar y verificar los factores de emisión dados por la UNEP (UNEP, 2001b). Los resultados obtenidos se detallan a continuación:*

- *Se han analizado muestras procedentes de dos hornos rotatorios de vía seca de una planta de cemento moderna donde se han utilizado combustibles convencionales y combustibles alternativos, tales como neumáticos usados y residuos industriales incluyendo aceites usados. Se han encontrado concentraciones muy bajas de PCDDs/PCDFs, así durante la operación normal (lignito/cok de petróleo y carga completa), los rangos de emisiones fueron de 0,0105 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> y 0,0008 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> para las condiciones de operación normal y de 0,003 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> al utilizar neumáticos usados y 0,0002 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> con aceites usados.*
- *Los factores de emisión resultantes se encuentran en un rango entre 0,02 y 0,001 µg I-TEQ/t de clinker para la operación normal y 0,005 y 0,003 µg I-TEQ/t de escoria en el caso de co-combustión de combustibles alternativos/desechos.*

*Por lo tanto, todos los resultados estuvieron muy por debajo del valor guía de 0,1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Los resultados demostraron que la co-combustión de neumáticos y/o residuos líquidos peligrosos no tenía efecto sobre los resultados de emisión, considerando que el proceso seco en horno de cemento empleado en la planta cementera corresponde a una tecnología avanzada y que la planta se encuentra bien gestionada (UNEP 2001) (Fiedler et al., 2002).”*

### 3.3.3 Declaración del COMEAP UK, 2005

COMEAP es el Comité Consultivo sobre Efectos Médicos de Contaminantes para la Salud. Está formado por expertos independientes que asesoran al Gobierno y a las Agencias públicas (de protección del Medio Ambiente y de la Salud) en el Reino Unido (más concretamente en Inglaterra y Gales). La Secretaría de este comité la proporciona la Agencia de Protección de la Salud (HPA).

En el año 2005 este comité emitió su declaración “Statement on the use of substitute fuels in cement kilns”. De esta declaración se transcriben a continuación los siguientes párrafos (numeración de la declaración):

(1) *“El Comité de Efectos Médicos de los contaminantes atmosféricos fue preguntado para considerar los **datos recogidos por la Agencia de Protección de la Salud (HPA) y la Agencia Medioambiental (EA)** sobre los **efectos en las emisiones de contaminantes atmosféricos de la sustitución de una proporción de coque de petróleo por Combustibles líquidos de sustitución (SLF) y neumáticos usados en hornos de cemento específicos.**”*

(2) Los datos proporcionados incluían *“información de emisiones de contaminantes de hornos de cemento usando coque y de hornos en los cuales los combustibles de sustitución se emplearon de acuerdo a un protocolo definido. También se consideraron resultados de modelización de concentraciones de contaminantes a nivel local.”*

(4) Los Miembros del Comité llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) *“Los datos presentados confirmaron la opinión anterior del Comité de que la sustitución de Combustible Líquido de Sustitución y neumáticos usados, de acuerdo con el protocolo definido, no dio lugar a aumentos de emisión de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y partículas. En algunos casos las emisiones se redujeron. Se dio un aumento en las emisiones de dióxido de azufre pero este no fue probable de causar concentraciones de dióxido de azufre a nivel local que excedieran los Objetivos de Calidad del Aire”.*
- b) *“Hubo acuerdo en que la sustitución de Combustible Líquido de Sustitución y neumáticos usados, de acuerdo con el protocolo definido con el que se realizaron los trabajos de obtención de los datos presentados, en comparación con el uso de coque como combustible, no era probable de causar un riesgo incrementado para la salud”.*
- c) *“Hubo acuerdo en que esta conclusión podía ser extendida a otras plantas de cemento empleando Combustible Líquido de Sustitución y neumáticos usados del mismo modo (de acuerdo con el mismo protocolo) que las plantas de Westbury y Ketton”.*

(5) Los Miembros del Comité acordaron adicionalmente las siguientes conclusiones:

- Que las conclusiones mencionadas anteriormente no podían ser extendidas a fábricas de cemento que no operasen de acuerdo al protocolo mencionado, ni a otros tipos de residuos como lodos de depuradora (pues no habían sido analizados en las pruebas reportadas). En cuanto a las dudas que se plantearon sobre posibles situaciones de mal funcionamiento de del proceso de fabricación que pudieran dar lugar a aumento de emisiones, los miembros del Comité quedaron satisfechos con las descripciones de los

procedimientos de seguridad, haciendo hincapié en que éstos debían ser aplicados de modo riguroso.

- *“Los Miembros advirtieron en contra del uso de comparaciones de emisiones de fábricas de cemento con aquellas procedentes de vehículos de motor, señalando que la naturaleza de la materia particulada emitida por los primeros es probablemente difiere de modo significativo de las producidas por éstos últimos.”*

Es interesante esta última conclusión del Comité, que da respuesta a muchas inquietudes y dudas acerca de las emisiones de las fábricas de cemento y la comparación de las cantidades emitidas con las emisiones de otras instalaciones o sus efectos:

Gran parte del dossier evaluado en 2005 se recoge como Apendice 1 del “Papel para COMEAP 2008”,<sup>27</sup> en el que la Agencia de Protección de la Salud (HPA) solicitaba a ese Comité una opinión sobre si esas conclusiones podían extenderse a lodos secos de depuradora, harinas cárnicas, y residuos derivados de la fracción resto (RDF). Para ello la Agencia remite al Comité un informe en 2008 con datos sobre las características de los residuos y las emisiones medidas, en el que la Agencia Ambiental de Inglaterra y Gales manifiesta que:

Informe de la Agencia Ambiental 2008: *“Desde inicios de los 90 la Agencia Ambiental ha autorizado el uso de varios tipos de residuos que podrían ser usados como combustible en las fábricas de cemento. ....Actualmente todas menos una en este territorio están usando algún combustible derivado de residuos”...* *“Mientras que este uso proporciona un beneficio ambiental para la industria, también beneficia al medio ambiente en varios aspectos, siendo el principal la conservación de combustibles fósiles y la recuperación de energía a la vez que se destruyen residuos que en muchos casos sólo pueden ser eliminados en vertederos. Como gran parte de estos residuos son biomasa, son neutros respecto a la emisión de CO2 y ofrecen una manera de reducir de modo significativo las emisiones de carbono de este principal sector industrial”...* *“Mediciones recientes han mostrado que se cumplen los límites de dioxinas”.*

Información acerca de las autorizaciones aportada por la EA:

---

<sup>27</sup><http://www.comeap.org.uk/documents/statements/39-page/linking/78-substitute-fuels-in-cement-kilns>

- Las plantas evaluadas en 2005 para NFU fueron Ketton (h7, 1060 t/d de capacidad, vía seca con precalentador, empleando también SLF) y Westbury (vía húmeda, dos hornos de 950 t día).
- En 2008 Todas las plantas de Reino Unido tienen permiso para algún residuo, y 8 de 11 lo tienen para neumáticos. Ketton empleaba neumáticos enteros (hasta 40% de sustitución energética) junto con SLF, y Westbury empleaba neumáticos enteros (hasta 24%)

Información acerca de las emisiones por tipo de contaminante aportada por la EA, basados en revisión de la literatura y pruebas:

- **General:** “Numerosos estudios han sugerido que el uso de residuos en hornos de cemento no es más contaminante para el medio ambiente que el uso de combustibles convencionales.
- **NOx.** Según la Guía sectorial IPPC el uso de neumático troceado puede reducir la emisión de NOx entre un 20-40%. A pesar de ellos existe una gran variabilidad
- **SO2 y gases ácidos.** “Las condiciones altamente alcalinas descomponen los residuos organoclorados y los gases ácidos y el proceso retiene una gran proporción del material residual en el clinker. Debido al flujo en contracorriente del material alimentado y el aire de combustión, muchos de los contaminantes que potencialmente podrían ser emitidos al aire quedan retenidos en el clinker. Aunque parte de las emisiones de SO2 quedan retenidas en la cal entrante, todavía hay emisiones significativas de SO2 en hornos de cemento. Sin embargo los datos de emisión de SO2 tampoco han mostrado diferencias significativas...”
- **Orgánicos.** “Las muy altas temperaturas y largos tiempos de residencia alcanzados en los hornos predicen un ambiente altamente eficaz para la destrucción de compuestos orgánicos”.
- **Metales.** “Los metales pesados que se liberan en el horno son absorbidos por el clinker debido al alto contenido alcalino del clinker y a la acción de “limpieza” o “lavado” (“scrubbing”) que este ejerce dentro del propio horno”. Los metales no volátiles como BA, Be, Cr, y As tienden a incorporarse en el clinker en un 99.9% aproximadamente. Alrededor del 99,5% de los semi-volátiles como Cd, Pb, Zn, también quedan retenidos en el clinker. Los metales más volátiles como Hg y Tl son mayormente liberados con la corriente de gases en el horno y son controlados en los sistemas de limpieza de gases”.

Por otra parte, del “papel para COMEAP, feb 2008”, es interesante que la Agencia haga notar que las conclusiones a las que llegó el COMEAP en 2005 se basaban en datos de

emisión que con la normativa actual se habrán podido reducir, por lo que esta situación aporta un margen de seguridad adicional:

(3) *“El uso de combustibles de sustitución (ahora generalmente denominados como “Combustibles Derivados de Residuos” WDF) en hornos de cemento está actualmente muy extendido y es objeto de la normativa IPPC y de la Directiva de incineración de residuos. La Directiva de incineración de residuos requiere a la autoridad establecer límites de emisión para muchos de los contaminantes clave tales como partículas, HCl, NOx, metales y dioxinas. Muchos de los límites de la Directiva son más estrictos que las condiciones de los permisos establecidas previamente cuando el COMEAP consideró este asunto por última vez”.*

Entre la literatura científica que revisa este comité, se encuentran los trabajos realizados por el IQAB (CSIC) y la Universidad Rovira Virgili.

También se menciona por parte de la Agencia de protección de la Salud que no se han encontrado evidencias de efectos sobre la salud relacionados con el uso de estos combustibles en cementeras.

Como muestra de los datos de emisión particulares que la Agencia había estado valorando en el pasado, se detallan a continuación los resultados de las pruebas realizadas en un horno de cemento.

Tabla 2.- Emisiones medidas de la combustión de prueba de neumáticos en un horno de cemento en el Reino Unido (9)

Contaminante	Combustibles fósiles (carbón y coque)	Combustibles fósiles y 15% de neumáticos
Partículas mg / m <sup>3</sup>	60	60
mg / m <sup>3</sup> de NO <sub>x</sub>	1180	800
mg / m <sup>3</sup> de SO <sub>x</sub>	500	500
mg / m <sup>3</sup> de CO <sub>x</sub>	985	948
mg / m <sup>3</sup> de cloro y flúor	1,13	1,0
mg / m <sup>3</sup> de VOC	129	68
ng / m <sup>3</sup> de dioxinas	0,12	0,03

Fuente: C.Lorea, W Van Loo, 2005<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Datos correspondientes al informe de Wolfeden, L. “Tyres in the environment”. Report of the Environment Agency, Reino Unido, 1998, citados en el artículo “Aprovechamiento energético de neumáticos usados en la industria cementera europea”. C. Loréa, W. Van Loo. Revista Cemento Hormigón, sept 2005.

---

### 3.3.4 Estudio sobre las Emisiones y su posible efecto sobre el medio ambiente y la salud en el entorno de cuatro plantas cementeras URS, 2010

Este estudio, realizado para la Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente (CEMA) en 2010. El estudio se encuadra dentro del análisis de riesgos para la salud asociado a las emisiones atmosféricas procedentes de instalaciones industriales. Este estudio supone por tanto ir más allá de las pautas establecidas por la legislación vigente, y realizar una evaluación de los riesgos para la salud de las personas que residen y/o trabajan en los alrededores de una planta cementera.

Se elaboró una metodología de trabajo basada en la desarrollada por US EPA<sup>29</sup> acerca de la evaluación de riesgos.

Esta metodología, que es la empleada en el presente estudio, comprende las siguientes etapas:

- **Caracterización de la planta y su entorno.** La primera fase consistió en realizar una evaluación preliminar de la instalación y su entorno, con el fin de identificar los focos de emisión a considerar y los receptores potenciales (puntos del territorio seleccionados por su significatividad, en los que se van a analizar los riesgos) que pueden verse afectados como consecuencia de la actividad industrial.
- **Caracterización de las emisiones atmosféricas.** Una vez realizada la evaluación preliminar de la planta y su entorno se procedió a caracterizar los focos identificados en la fase anterior. Para ello se recopiló toda la información disponible acerca de las concentraciones y caudales de emisión, así como los parámetros físicos (altura, diámetro de chimenea, etc.) relativos a cada foco. El estudio considera los parámetros incluidos en la Directiva 2000/76/CE de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.
- **Evaluación de la exposición.** Las vías de exposición consideradas fueron la inhalación y la ingestión. La evaluación de la exposición se realizó en dos fases:
  - Fase I. Modelización de la dispersión atmosférica mediante un modelo gaussiano de dispersión, que permite simular el transporte de los contaminantes a través del aire.
  - Fase II. Aplicación de un modelo matemático para la evaluación del paso de los contaminantes cuyas concentraciones se han calculado en la fase anterior a los

---

<sup>29</sup> US EPA: United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de E.UU)

vegetales, analizando su transmisión a través de la cadena trófica. Para ello se considerado las características físico-químicas de los contaminantes evaluados, su potencial de bioacumulación etc.

- **Evaluación del riesgo.** La cuantificación de los riesgos se realizó contrastando las concentraciones en aire, suelo y alimentos generadas a partir de los distintos modelos empleados con los valores toxicológicos de referencia (VTR) para cada compuesto evaluado.

Este estudio se planteó con el objeto de ampliar la base bibliográfica existente sobre evaluación de riesgos derivados de las emisiones de los hornos de cemento y del uso de combustibles alternativos obtenidos a partir de residuos en dichos hornos.

En una de las plantas analizadas se empleaban NFU troceados como parte del combustible, y se extractan a continuación algunos de los datos evaluados y las conclusiones:

Actualmente están en funcionamiento dos hornos gemelos, el V y el VI, de vía seca de fabricación con precalentador de ciclones, con una capacidad máxima de 2.000 t/día de clinker cada uno. El régimen de funcionamiento durante 2008 (período del que se han extraído los datos de emisión para este informe) ha sido de 5.089 h/año para el horno V y 2.951 h/año para el horno VI.

El combustible principal utilizado es el coque de petróleo, aunque se utilizan también combustibles alternativos en el horno VI (básicamente harinas cárnicas pero también neumáticos troceados y desecho plástico ligero de plantas de gestión de envases plásticos). La autorización ambiental de la planta limita actualmente a un 40 % la cantidad de combustibles alternativos a utilizar. Según información de los representantes de la planta, el porcentaje en funcionamiento normal es del orden del 30 %.

Tabla A-IV-1. Datos de emisión de la planta de CEMEX en Castillejo. Horno 5

Parámetro	Dato emisión real	Unidades	Observaciones
HCl	2,2867	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
HF	0,1100	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
COT	5,1885	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los datos en continuo del año 2008
Cd	0,0056	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008 para la suma de Cd+TI. Se ha considerado como valor individual el valor de la suma Cd+TI
TI	0,0056	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008 para la suma de Cd+TI. Se ha considerado como valor individual el valor de la suma Cd+TI
Hg	0,0020	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Zn	0,0133	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Cr III	0,0020	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Cr VI	0,0009	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Ni	0,0039	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
As	0,0045	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Pb	0,0122	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Mn	0,0134	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Sn	0,0082	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores puntuales medidos en 2008.
Cu	0,0027	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Valor puntual medido en 2008.
Dioxinas + furanos	3,80E-09	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los valores medidos en 2008.
Partículas	7,3175	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los datos en continuo del año 2008
CO	415,2926	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los datos en continuo del año 2008
NO <sub>x</sub>	546,7352	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los datos en continuo del año 2008
SO <sub>2</sub>	0,5902	mg/Nm <sup>3</sup> BS, 10% O <sub>2</sub> .	Promedio de los datos en continuo del año 2008

Tabla A-IV-2. Datos de emisión de la planta de CEMEX en Castillejo. Horno 6

Parámetro	Dato emisión real	Unidades	Observaciones
HCl	4,2000	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
HF	0,0600	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
COT	4,9611	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Promedio de los datos en continuo del año 2008
Cd	0,0008	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Se ha considerado como valor individual el valor de la suma Cd+TI
TI	0,0008	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Se ha considerado como valor individual el valor de la suma Cd+TI
Hg	0,0020	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Zn	0,0097	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Cr III	0,0019	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Cr VI	0,0008	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Ni	0,0020	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
As	0,0032	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Pb	0,0217	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Mn	0,0030	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Sn	0,0105	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Cu		mg/Nm3 BS, 10% O2.	No se dispone de dato para la concentración de Cu
Dioxinas + furanos	1,30E-09	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Valor puntual medido en 2008.
Partículas	6,1146	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Promedio de los datos en continuo del año 2008
CO	608,7707	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Promedio de los datos en continuo del año 2008
NO <sub>x</sub>	330,6303	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Promedio de los datos en continuo del año 2008
SO <sub>2</sub>	0,6552	mg/Nm3 BS, 10% O2.	Promedio de los datos en continuo del año 2008

Los resultados de la evaluación de riesgos asociada a la exposición por inhalación fueron:

**Tabla 31a. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).**

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO <sub>x</sub>	6,07E-02	8,58E-04	-	-
SO <sub>2</sub>	1,75E-04	2,49E-06	-	-
HCl	9,23E-04	1,32E-05	-	-
HF	3,36E-05	4,74E-07	-	-
CO	1,11E-04	1,55E-06	-	-
REFERENCIA	1		1·10 <sup>5</sup>	

**Tabla 31b. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).**

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
PM tot	1,72E-03	2,24E-05	-	-
Dioxinas y Furanos	3,88E-07	5,75E-09	-	-
Sn	8,36E-09	1,25E-10	-	-
As	7,94E-04	1,18E-05	3,37E-08	5,02E-10
Cd	9,64E-04	1,42E-05	1,49E-08	2,19E-10
Zn	6,79E-08	1,01E-09	-	-
Cu	8,01E-06	1,17E-07	-	-
Cr III	2,04E-07	3,05E-09	-	-
Cr VI	5,22E-05	7,82E-07	8,96E-08	1,34E-09
Mn	9,91E-04	1,46E-05	-	-
Hg	4,19E-05	6,27E-07	-	-
Ni	2,01E-04	2,99E-06	2,95E-09	4,38E-11
Pb	2,14E-04	3,23E-06	5,51E-10	8,30E-12
REFERENCIA	1		1·10 <sup>5</sup>	

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

**Tabla 32. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (inhalación). Planta de Castillejo (Cemex).**

Contaminante	Índice de riesgo
NO <sub>x</sub>	Entre 100 y 10.000 veces por debajo del umbral
SO <sub>2</sub>	Entre 10.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Gases: CO, HCl, HF	Entre 10.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Partículas	Entre 1.000 y 100.000 veces por debajo del umbral
Dioxinas y Furanos	Entre 10.000.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 10.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral

**Tabla 33. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (inhalación). Planta de Castillejo (Cemex).**

Contaminante	Valor de ERI
As, Cr VI	Entre 1.000 y 100.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Cd, Pb, Ni	Entre 1.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

\* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

Los resultados de la evaluación de riesgos asociada a la exposición por ingestión fueron:

**Tabla 35. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).**

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	1,76E-05	3,53E-07	4,95E-06	9,94E-08	-	-
Sn	3,25E-07	6,56E-09	9,20E-08	1,85E-09	-	-
As	5,21E-06	1,05E-07	1,13E-06	2,27E-08	2,17E-10	4,38E-12
Cd	4,49E-06	9,00E-08	1,01E-06	2,03E-08	-	-
Pb	3,37E-05	6,80E-07	4,06E-06	8,20E-08	5,28E-11	1,07E-12
Tl	2,28E-05	4,58E-07	3,52E-06	7,05E-08	-	-
Zn	1,94E-06	3,91E-08	5,55E-07	1,12E-08	-	-
REFERENCIA	1				1·10 <sup>-5</sup>	

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

**Tabla 36. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (ingestión). Planta de Castillejo (Cemex).**

Contaminante	Índice de riesgo
Dioxinas y Furanos	Entre 100.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 100.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral

**Tabla 37. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (ingestión). Planta de Castillejo (Cemex).**

Contaminante	Índice de riesgo
As	Entre 100.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Pb	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

\* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

#### Como conclusiones el informe resume:

Una vez evaluados los índices de riesgo para los receptores del entorno de las plantas, considerando la exposición por inhalación e ingestión de suelo y las frutas y verduras producidas en las zonas estudiadas, se puede concluir que no existe riesgo significativo para la salud para ninguno de los receptores:

- Para las sustancias para las que las referencias internacionales han definido umbrales de exposición por debajo de los cuales no hay riesgo significativo para la salud, todas las concentraciones calculadas son muy inferiores a sus Valores Toxicológicos de Referencia correspondientes (índices de riesgo muy inferiores a 1) en todos los receptores.
- Para las sustancias para las que no hay definido un umbral, se ha calculado la probabilidad de desarrollar una afección para la salud en términos de Exceso de Riesgo Individual, ERI. Los índices ERI son también muy inferiores al valor de referencia considerado (1/100.000) para todos los receptores.
- Los índices de riesgo calculados se encuentran en rangos similares tanto en las plantas que emplean únicamente combustibles fósiles como en las que utilizan, además, combustibles alternativos derivados de residuos. Por tanto, puede concluirse que el tipo de combustible utilizado no presenta una influencia significativa en los índices de riesgos calculados.
- Estas conclusiones son válidas tanto para la evaluación realizada con los valores de emisión característicos de las fábricas como con los valores de emisión de las plantas si estas estuviesen emitiendo en concentraciones iguales a los límites de emisión establecidos en su Autorización Ambiental Integrada de acuerdo con la

legislación europea y nacional. Puesto que las emisiones de las plantas son menores que los valores límite de emisión, los cálculos realizados a partir de estos últimos muestran que los índices de riesgo serían ligeramente más elevados que cuando se trabaja con los valores de emisión de las plantas, pero siguen estando muy por debajo de los valores de referencia.

### **3.3.5 Canada: “An assessment of the use of tires as an alternative fuel”. Faculty of Engineering, Dalhousie University. 2007**

Este estudio fue encargado por el Ministerio de Medio Ambiente y Trabajo de Nueva Escocia, Canadá, y publicado en 2007. El estudio cuantifica en un 20% los NFU destinados a combustible en Canadá en 2005, la mayoría para plantas de cemento como neumáticos enteros. Su objetivo era la evaluación del inicio de esta actividad en una planta concreta.

Inicialmente se realizó una revisión de la literatura sobre estudios de Análisis de Ciclo de Vida, en la que se mostraban las ventajas del uso de NFU como combustible en cementera, aunque la complejidad de estos estudios y su alta dependencia de los parámetros y metodología considerados hacen que los estudios revisados puedan haber quedado superados por otros más recientes y completos como los mencionados anteriormente en este informe.

En cuanto a las emisiones y posibles impactos sobre la salud:

- Esta Universidad realizó una revisión crítica de los estudios de emisiones publicados, que mostraron variaciones en todos los datos de emisión. En el punto 6.0 de conclusiones se menciona que:
  - “Hay una gran variabilidad en todos los datos de emisión”.
  - “Parece que en el caso del NOx hay una tendencia definida de este contaminante a disminuir cuando se emplean neumáticos como combustible de sustitución”
  - “El efecto de la combustión de neumáticos (1%S) en las emisiones de SO2 no parece tener correlación”.
  - Las emisiones de CO en la mayoría de los casos son más altas...”Esto indicaría que los neumáticos producen una zona rica en combustible durante su pirólisis dando lugar a una combustión más incompleta un una temperatura de llama menor en el horno (consistente con las menores emisiones de NOx)”.

- La formación y destrucción, y como resultado, la emisión de dioxinas /furanos depende de muchos factores: perfiles de temperatura-tiempo, composición del combustible, composición de las materias primas en sí y de los gases. Lamentablemente no se puede cuantificar estos efectos y parece que las emisiones son bastante específicas de cada horno”.
- Acerca de metales no se menciona conclusión en este apartado final. El punto 4.2.1 “Revisión de los estudios de emisiones” explica que “no es posible sacar conclusiones acerca de las emisiones de metales de los limitados datos numéricos en las tablas. Excepto para el hierro (que normalmente se añade a la mezcla (*crudo*) de cemento), el contenido de metales de los neumáticos es pequeño y probablemente su efecto en los niveles de emisiones sería pequeño.
- “Nuestra revisión de la literatura y de los informes de pruebas parece apoyar la conclusión de que el uso de neumáticos enteros en hornos de cemento no tendría un efecto más perjudicial en las emisiones que quemar sólo carbón. Basado en las mediciones de emisiones en chimenea y el modelo de dispersión de Congestova Rovers& Asociados, las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo para la planta de Brookfield quemando carbón y quemando carbón con combustible de sustitución estaban todas por debajo de los estándares de salud aceptados. Sin embargo, dada la considerable variabilidad en los datos de emisión de las plantas que usan NFU como combustible de sustitución no es posible simplemente hacer predicciones con algún grado de certidumbre acerca de los cambios en la planta de Brookfield como resultado de la co-combustión con neumáticos enteros”
- Por ello, se recomienda, entre otros, hacer ensayos extensivos previamente a las pruebas y durante el uso de los neumáticos enteros, así como mediciones de concentraciones a nivel del suelo de contaminantes, junto con modelización de las emisiones.

Como muestra de los valores de emisión revisados de los diferentes trabajos publicados, el estudio ha elaborado las siguientes tablas:

Table 10: Emission Factors (kg/tonne cement)

Reference <sup>4</sup>	NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		PM	
	w/o tires <sup>5</sup>	w tires <sup>6</sup>	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
1	3.00		4.90		0.50	
2a			0.53	0.41	1.87	1.67
2b	4.96	3.9	5.27	3.13	0.19	0.23
3	2.94	2.63	1.17	1.45	0.17	0.18
Reference	CO		Cl		Metals	
	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
1	0.11		0.36		4.7E-04	
2a						
2b	0.52	1.22				
3	0.26	0.36	1.6E-02	2.4E-02	3.75E-04	9.71E-04
Reference	Fe		Zn		TOC	
	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
1	8.5E-03		2.74E-04		0.014	
2a					2.0E-04	2.0E-04
2b					2.8E-04	2.2E-04
3	1.5E-03	2.74E-03	3.10E-04	2.25E-04	2.76E-04	2.46E-04
Reference	PCDD/F					
	w/o tires	w tires				
1	1.40E-09					
2a						
2b						
3	1.76E-06	9.40E-07				

<sup>3</sup>  $\sigma$  = standard deviation<sup>4</sup> The references are: 1. EPA (2007); 2a. CANTOX (2006) Table A-6; 2b. CANTOX (2006) Table A-6a; and 3. Carrasco, Bredin and Heitz (2002).<sup>5</sup> Emission factor without tires as supplemental fuel<sup>6</sup> Emission factor using tires as supplemental fuel

Table 11: Emission Data for Cement Kilns

Reference CANTOX (2006)	units	NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		PM	
		w/o tires	w tires	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
A-2 <sup>7</sup>	mg/m <sup>3</sup> stack gas	692	430	27.3	10.4	14.9	10.1
A-3	mg/m <sup>3</sup> stack gas	915	503	24	9	37.2	20.3
A-4	mg/m <sup>3</sup> stack gas	1754.4	1483.9	696.8	905.2	99.2	106.5
A-7	mg/m <sup>3</sup> stack gas						
A-11	mg/m <sup>3</sup> stack gas	281	281			2.2	2.2
A-12 (1) <sup>8</sup>	µg/m <sup>3</sup> stack gas	1.8	0.49	0.4	3.5	0.002	0.012
A-12 (2) <sup>9</sup>	µg/m <sup>3</sup> stack gas	2.5	1.3	0.6	5.4	0.003	0.017
A-14	mg/m <sup>3</sup> stack gas	114				25.9	
Reference CANTOX (2006)	units	CO		Cl		Metals	
		w/o tires	w tires	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
A-2	mg/m <sup>3</sup> stack gas	249	445	0.7	0.28	0.12	0.012
A-3	mg/m <sup>3</sup> stack gas	558	857	0.9	0.95	0.028	0.021
A-4	mg/m <sup>3</sup> stack gas	155.4	228	9.4	15.3		
A-7	mg/m <sup>3</sup> stack gas					0.042	0.042
A-11	mg/m <sup>3</sup> stack gas	225	225				
A-12 (1)	µg/m <sup>3</sup> stack gas	7	3				
A-12 (2)	µg/m <sup>3</sup> stack gas	8	4				
A-14	mg/m <sup>3</sup> stack gas	25.9					
A-26	mg/m <sup>3</sup> stack gas	67.4	161.1				
Reference CANTOX (2006)	units	Fe		Zn		TOC	
		w/o tires	w tires	w/o tires	w tires	w/o tires	w tires
A-2	mg/m <sup>3</sup> stack gas					14.2	61.5
A-4	mg/m <sup>3</sup> stack gas	0.87	1.86				
A-7	mg/m <sup>3</sup> stack gas			0.022	0.062		
Reference CANTOX (2006)	units	PCDD/F					
		w/o tires	w tires				
A-1	mg/m <sup>3</sup> stack gas		9.6E-04				
A-2	mg/m <sup>3</sup> stack gas	4.80E-08	1.40E-09				

<sup>7</sup> These are the Table numbers in the CANTOX (2006) report from which data was abstracted

<sup>8</sup> Data in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  from operating 1 kiln

<sup>9</sup> Data in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  from operating 2 kilns

Nota: las unidades de las referencias A12 son en concentración a nivel del suelo (inmisión).

### 3.3.6 USA: “Air Emissions Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations firing Tire-Derived Fuels”. PCA 2008.

Este estudio “Resumen de Datos de Emisiones a la Atmósfera para operaciones de piroprocesado en hornos de cemento que usan Combustibles Derivados de Neumáticos” (TDF), fue publicado en 2008 por la Asociación norteamericana de fabricantes de cemento (PCA), y fue realizado por Air Control Techniques, P.C. Ha sido recogido en la página web de la Agencia Ambiental de EEUU (EPA) como referencia de interés<sup>30</sup>.

#### Resumen del Informe (Abstract):

- Este informe resume datos relativos al impacto de la combustión de neumáticos fuera de uso (TDF) en las emisiones de varios contaminantes de las operaciones de piroprocesamiento en el horno.
- La base de datos incluye información procedente de emisiones de treinta y una de las cuarenta y tres plantas de cemento que actualmente utilizan neumáticos fuera de uso.
- Los resultados de las pruebas de emisión de dioxinas, furanos indicaron que los hornos que empleaban este tipo de combustibles mostraban emisiones hasta un tercio menores de las emisiones de estos contaminantes en los hornos que utilizaban combustibles convencionales como el carbón, coke y gas natural. Esta diferencia resultó estadísticamente significativa.<sup>31</sup>
- Las emisiones de materia particulada de los hornos que empleaban NFU fueron un 35% menor que las de aquellos de hornos con combustibles tradicionales. Sin embargo esta diferencia no resultó estadísticamente significativa debido al bajo valor de las emisiones de PM reportadas para prácticamente todos los hornos.
- Las emisiones de los óxidos de nitrógeno, varios metales, y dióxido de azufre también presentan valores de emisión menores que los combustibles convencionales. Las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos totales fueron ligeramente

<sup>30</sup> <http://www.epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/publications.htm#other>

<sup>31</sup> Probablemente las condiciones más exigentes de control de proceso y control y nivel de emisiones requeridas por la normativa para los hornos que emplean combustibles derivados de residuos tiene su influencia en este hallazgo.

mayores en las instalaciones que utilizan neumáticos respecto de las que no los usan. Sin embargo, ninguna de estas diferencias resultó ser estadísticamente significativa.<sup>32</sup>

- Los estudios previos de emisiones al aire llevados a cabo por agencias gubernamentales y firmas de consultoría indican que el proceso de combustión de neumáticos reduce o no incrementa significativamente las emisiones de varios contaminantes procedentes de los hornos de cemento. Este estudio de las emisiones de los neumáticos utilizados como combustible realizado por la **Portland Cement Association** confirma los resultados de esos estudios.

***En el resumen ejecutivo se amplía esta información:***

La Portland Cement Association ha encomendado la recopilación de datos de mediciones de emisión obtenido en hornos de cemento empleando combustibles derivados de neumáticos, tanto los neumáticos enteros como los troceados. Se recopilaron un total de doscientas cincuenta y ocho análisis de dioxinas-furanos como parte de este proyecto. Los resultados mostraron que las emisiones de dioxinas y furanos en la fabricación de clinker que utilizan neumáticos fuera de uso son un tercio menores que si se utiliza combustibles convencionales. La diferencia de emisiones con o sin la utilización de neumáticos fuera de uso fue estadísticamente significativa en todos los hornos muestreados con un intervalo de confianza del 99%. Es necesario investigar los factores que contribuyen a esta importante diferencia. Las emisiones de partículas fueron un 35% menor que los niveles registrados si se utilizan combustibles convencionales. Debido a las bajas emisiones obtenidas prácticamente en todas las plantas de cemento, esta diferencia en las emisiones no es estadísticamente significativa.

El número de informes de emisiones recopilados en este proyecto relativos a los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, hidrocarburos totales, monóxido de carbono, y metales fueron considerablemente menores que los concernientes a las dioxinas y furanos, y partículas. Los resultados disponibles indican que la combustión de los neumáticos presenta emisiones más bajas de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y muchos metales. Las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos totales son ligeramente superiores respecto de las instalaciones que utilizan neumáticos fuera de uso con referencia a las que no los utilizan.

---

<sup>32</sup> Test Mann Whitney para varios intervalos de confianza

Los resultados en partículas, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dioxinas y furanos, y CO se resumen en la figura 1-1.

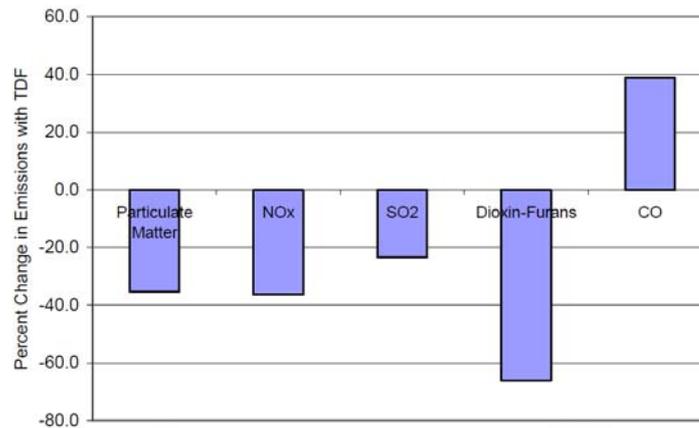


Figure 1-1. Emission changes associated with TDF firing.

#### ***Apartado 2.4: Resumen de la base de datos:***

Los informes de emisiones de los análisis preparados de 71 plantas de cemento fueron recibidos durante este proyecto. Los resultados de los análisis recopilados como parte de este proyecto incluyen los análisis de 75 plantas de cemento. Esto es el 62 % del total de plantas de cemento de los Estados Unidos. Treinta y una de éstas 62 plantas valorizan energéticamente neumáticos. Como indicativo en la tabla 2-1 la emisión de los informes cubre un amplio rango de tipologías de hornos, como combustibles de horno y los sistemas de control del aire.

**Table 2-1. Emission Test Report Applicability**

Category	Characteristic	Percentage
Kiln Type	Wet	18
	Long Dry	18
	Preheater	29
	Preheater-Precalciner	35
Kiln Fuel <sup>5</sup>	Coal	88
	Coke	48
	Natural Gas	45
	Oil	14
	Tire-Derived Fuel <sup>1</sup>	33
	Plastic Derived Fuel	0.3
	Biosolids	1
	Hazardous Waste	7
	Other	1
Air Pollution Control System	Fabric Filter	68
	Electrostatic Precipitator	32
In-Line Raw Mill Status	Mill On	27
	Mill Off	26

<sup>1</sup> Emission test values applicable to TDF firing conditions comprised 33 percent of the total number of test values and were obtained at thirty one separate cement plants.

Muchos de los neumáticos utilizados en los análisis de emisiones se refieren a las dioxinas- furanos, y las partículas filtrables. Los resultados de las emisiones concernientes a estas dos categorías de contaminantes son amplias y pueden ser utilizadas como base de las conclusiones mirando los impactos de la utilización de neumáticos fuera de uso en los hornos de cemento. Los resultados de emisiones disponibles son dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrógeno de cloro, e hidrocarburos totales son relativamente reducidos. Los resultados de los análisis relativos a los metales son también bastante reducidos.

### **Del Apartado 3.1. “aplicabilidad de los combustibles en los hornos de cemento”:**

El consumo de los combustibles de neumáticos en los hornos de cemento continúa suscitando interés, debido las condiciones ideales de combustión en las zonas de alta temperatura de los hornos de cemento. Por estas razones, países como Japón, Alemania, Suiza y Noruega han estado activamente involucrados en la valorización energética de los neumáticos en los hornos de cemento desde hace más de 30 años. El uso de neumáticos como combustibles alternativos empezó a ser **investigado en los Estados Unidos y Canadá en los años 80**. Tres hornos de cemento valorizaron neumáticos en 1991, y se ha

incrementado constantemente la valorización de neumáticos fuera de uso desde los años 1.990.

Los datos de la Portland Cement Association (PCA) sugieren que 43 plantas quemaban neumáticos en 2004. Esto es aproximadamente el 40% de las plantas de cemento de producción de clinker operativas en los Estados Unidos.

El hecho de que se haya extendido la utilización de los neumáticos fuera de uso como combustibles alternativos en más plantas cementeras de los Estados Unidos ha provocado que se hayan desarrollado exigentes regulaciones de emisiones de aire para los hornos de cemento. Estos hornos están sujetos a los estándares de las Tecnologías de Control Máximo Disponibles (MACT). Estos estándares difieren con respecto a los requerimientos aplicables a los hornos de clinker que utilizan combustibles convencionales y a los que incluyen residuos.

De acuerdo con esta normativa todos los hornos de cemento en Estados Unidos han llevado a cabo mediciones de dioxinas y furanos, y muchos han encontrado necesaria la reducción de la temperatura de entrada a los sistemas de control de la contaminación atmosférica con la finalidad de evitar la formación de dioxinas y furanos. Debido a este importante cambio en las condiciones de operación, las dioxinas y furanos emitidas en la industria del cemento de Estados Unidos se han reducido considerablemente. Las emisiones obtenidas antes de 2002 estas (fecha de cumplimiento con la nueva norma) no son necesariamente representativas de las emisiones posteriores, más bajas.

### **Del Apartado 3.2. Revisiones de datos previos por Agencias**

*“La utilización de neumáticos fuera de uso en las plantas de cemento ha sido aprobada y fomentada por los servicios de salud públicos durante más de quince años en Canadá y en Estados Unidos”*

*“Como parte del proceso de evaluación de los permisos y del desarrollo de programas generales de salud pública, las agencias reguladoras han revisado los datos disponibles y han alcanzado sus propias conclusiones con respecto al impacto de la quema de los combustibles derivados de neumático en los hornos de cemento sobre las emisiones atmosféricas y la calidad del aire”.*

Se recogen en el ANEXO II de este documento los extractos de varios de estos estudios y sus conclusiones.

*“Se puede apreciar de los extractos aportados anteriormente que la cuestión del cambio en las emisiones como resultado de la combustión de NFU ha sido abordada por las Agencias*

reguladoras a lo largo de los Estados Unidos y Canadá durante más de quince años. Al alcanzar estas conclusiones, las Agencias reguladoras tomaron como base principalmente los datos compilados y publicados desde 1989 hasta 1997“ El interés de este estudio de la PCA se centra en los datos de emisiones obtenidos desde 1999 hasta 2006.

#### Del Apartado 4.2. Datos específicos a lo largo de la industria

El posible impacto de la combustión de TDF sobre cada contaminante (analito) se detalla en el apartado 4.2, con las siguientes conclusiones:

- **D/F.** “Los datos de emisión compilados en este proyecto indican que las emisiones de dioxinas –furanos de los hornos de vía húmeda, vía seca largos, y hornos con precalentador-precalcinador que queman NFU (TDF) están en los mismos niveles o niveles menores que los hornos que no queman NFU. Estos niveles fueron estadísticamente significativos en el caso de los hornos de vía seca con precalentador-precalcinador. Se necesitaría investigación para identificar las posibles razones para estas emisiones significativamente menores...”.

**Table 4-6. Dioxin-Furan Emission Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	97	161
Average Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.021	0.062
Median Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.004	0.013
Standard Deviation, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.054	0.119
Minimum Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.000	0.000
Maximum Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.380	0.644

**Table 4-9. Dioxin-Furan Emission Data Summary, Preheater and Preheater-Precalciner Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	76	90
Average Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.018	0.068
Median Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.002	0.012
Standard Deviation, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.054	0.125
Minimum Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.000	0.000
Maximum Concentration, ng TEQ/NM <sup>3</sup> @ 7% O <sub>2</sub>	0.380	0.616

- **Partículas.** “En general, el impacto de la combustión de NFU en las emisiones de partículas sólidas filtrables es aparentemente despreciable. No hay indicios de que la combustión de NFU tenga como resultado un aumento de las emisiones de materia particulada filtrable.

**Table 4-11. Particulate Matter Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	59	100
Average Concentration, Lbs. per ton of dry kiln feed	0.064	0.099
Median Concentration, Lbs. per ton of dry kiln feed	0.047	0.065
Standard Deviation, Lbs. per ton of dry kiln feed	0.059	0.113
Minimum Concentration, Lbs. per ton of dry kiln feed	0.002	0.000
Maximum Concentration, Lbs. per ton of dry kiln feed	0.262	0.658

- **Óxidos de Nitrógeno.** “Los datos de emisiones disponibles sugieren que la combustión de NFU reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, las emisiones de óxidos de nitrógeno son muy variables en periodos de tiempo cortos y de un horno a otro debido a factores no relacionados con la combustión de NFU u otras condiciones de combustión. Los datos disponibles presentados no son suficientes para confirmar las conclusiones alcanzadas por otros de que las emisiones de NOx se reducen mediante el uso de NFU.”

**Table 4-12. Nitrogen Oxides Emissions Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	20	10
Average Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	443	696
Median Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	409	707
Standard Deviation, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	189	408
Minimum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	252	240
Maximum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	1,055	1,563

- **Dióxido de azufre.** “Los datos publicados de emisiones atmosféricas de SO<sub>2</sub> indican que la combustión de NFU tiene frecuentemente un ligero beneficio ambiental. Los datos compilados durante este estudio en general apoyan dicha conclusión. Sin embargo, la variabilidad de las emisiones de dióxido de azufre es demasiado grande para demostrar de manera concluyente los beneficios de la combustión de NFU en las emisiones”.<sup>33</sup>

En el análisis de los datos se menciona que “la variabilidad de las emisiones de dióxido de azufre de horno a horno debido a factores no relacionados con las condiciones de combustión es demasiado grande para permitir comparaciones esclarecedoras de emisiones con y sin combustión de NFU

<sup>33</sup> Nota. Este análisis tiene mayor relevancia en sectores de fabricación como el americano, con gran porcentaje de fabricación en hornos de vía húmeda y semihúmeda que permiten una menor fijación del azufre de los combustibles. En los hornos de vía seca con intercambiador el menor azufre contenido en los combustibles no afectará a las emisiones, pues los óxidos de azufre generados durante la combustión quedarán fijados por el material entrante en la torre. En todo caso, para hornos que por su relación Cl-S presenten problemas de pegaduras en la torre con su combustible fósil, esta incidencia podría verse mejorada por la menor entrada de azufre al proceso.

**Table 4-13. Sulfur Dioxide Emissions Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	19	10
Average Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	153	200
Median Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	165	89
Standard Deviation, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	127	239
Minimum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	1.5	0.0
Maximum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	397	587

- Monóxido de Carbono.** “Los resultados de medición de emisiones atmosféricas de CO son mixtos<sup>34</sup>. El conjunto general de datos indica que no hay diferencia significativa en las emisiones de monóxido de carbono de hornos con o sin combustión de NFU”.  
 En el análisis de los datos se menciona que “la variabilidad de las emisiones de dióxido de carbono de horno a horno debido se muestra demasiado grande como para permitir la identificación de un impacto en las emisiones debido a los NFU”

**Table 4-15. Carbon Monoxide Emissions Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	20	11
Average Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	604	435
Median Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	409	182
Standard Deviation, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	565	494
Minimum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	0.0	5.1
Maximum Concentration, ppmvd @ 7% O <sub>2</sub>	1,525	1,234

- Hidrocarburos totales.** “Los datos compilados durante este proyecto y los datos de emisión publicados indican que la combustión de NFU no afecta significativamente las emisiones de hidrocarburos totales. Cualquiera de las diferencias reportadas son probablemente debidas a la precisión de los métodos de medición de emisiones y a la variabilidad habitual del contenido de orgánicos en las materias primas del horno”.

**Table 4-16. Total Hydrocarbons Emissions Data Summary for Kilns With and Without TDF**

Parameter	With TDF	Without TDF
Number of Emission Test Values	22	7
Average Concentration, ppmvd as propane @ 7% O <sub>2</sub>	48	37
Median Concentration, ppmvd as propane @ 7% O <sub>2</sub>	38	17
Standard Deviation, ppmvd as propane @ 7% O <sub>2</sub>	74	50
Minimum Concentration, ppmvd as propane @ 7% O <sub>2</sub>	0.4	1.1
Maximum Concentration, ppmvd as propane @ 7% O <sub>2</sub>	355	127

- Metales.** Se analizaron los datos de emisiones de metales siguientes, elegidos por representar una variedad de diferentes metales potencialmente presentes en el carbón

<sup>34</sup> En la revisión de la bibliografía para este contaminante se mencionan estudios en los que se observa un ligero incremento en la emisión de CO (Clark, 1991), mientras que otros muestran que la emisión de CO no se veía afectada por la tasa de alimentación de NFU (Giugliano, 1999).

y en los NFU, y también por tener diferentes grados de volatilidad: As, Cr total, Ni, Hg, Zn. De la revisión bibliográfica de distintas fuentes como la EPA o la Junta de gestión de residuos de California se desprende que prácticamente todos los hornos que empleaban NFU no experimentaron un aumento en las emisiones de zinc y otros metales. En esta revisión se mencionan dos referencias, con datos concretos, con sustituciones energéticas de 36% y 14% de neumáticos, incluyendo neumáticos enteros. Cabe destacar que dadas las pequeñas concentraciones emitidas, las variabilidades temporales de un mismo horno y las diferencias de horno a horno pueden darse variaciones del 50% en la emisión que no son significativas (en este caso concreto resultaron ser menores emisiones de Zn durante las pruebas con NFU). De los nuevos datos recopilados en el proyecto, sólo unos pocos de los informes analizados contenían datos de metales. Por todo ello la conclusión de este estudio sobre el impacto en las emisiones de metales es que no hay suficiente información para evaluar el impacto de la combustión de NFU en las emisiones de estos metales.

**Table 4-17. Metals Emissions at Barletta, Italy Cement Plant [14]**

Analyte	Baseline Test, Emissions in $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 11%O <sub>2</sub>	TDF Test, (36% Btu replacement) Emissions in $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 11%O <sub>2</sub>
Arsenic	<0.2	<0.2
Chromium (Total)	0.2	0.7
Nickel	0.4	0.4
Mercury	4	4
Zinc	10	10

Table 4-18. Metals Data Summary for Kilns With and Without TDF

Metal	Parameter	With TDF	Without TDF
Arsenic	Number of Emission Test Reports	15.0	2.0
	Average Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	1.8	1.8
	Median Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	1.3	1.8
	Standard Deviation, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	2.2	1.3
	Minimum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	0.0	0.9
	Maximum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	7.6	2.7
Chromium	Number of Emission Test Reports	11	2
	Average Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	4.3	17.9
	Median Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	3.1	17.9
	Standard Deviation, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	3.8	18.0
	Minimum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	0.0	5.2
	Maximum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	12.3	30.6
Nickel	Number of Emission Test Reports	18.0	1.0
	Average Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	5.9	5.1
	Median Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	1.9	5.1
	Standard Deviation, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	10.6	
	Minimum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	0.0	5.1
	Maximum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	41.4	5.1
Mercury	Number of Emission Test Reports	11.0	2.0
	Average Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	18.0	5.5
	Median Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	10.1	5.5
	Standard Deviation, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	18.7	1.3
	Minimum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	0.4	4.5
	Maximum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	53.2	6.4
Zinc	Number of Emission Test Reports	8.0	2.0
	Average Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	10.8	42.9
	Median Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	7.8	42.9
	Standard Deviation, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	9.8	47.1
	Minimum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	0.1	9.6
	Maximum Concentration, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 7% O <sub>2</sub>	23.2	76.2

### 3.4 Perfil de emisiones de fábricas españolas que valorizan NFU (2008-2011)

La valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) en España comenzó en el año 1996 en la Fábrica de Cementos Lemona, con lo que la experiencia de la industria cementera española en este ámbito es de 17 años.

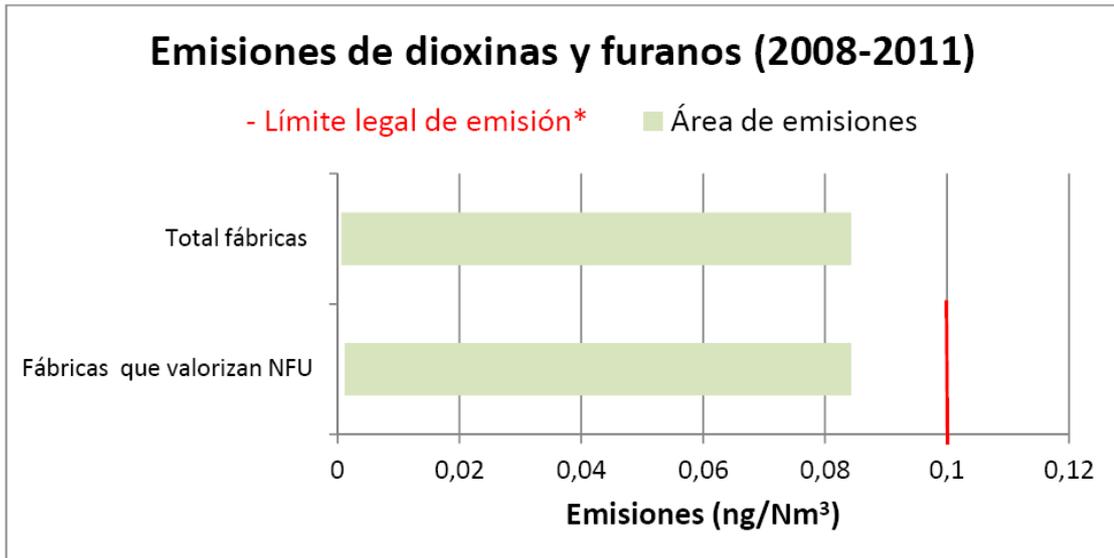
Desde 1996 hasta la actualidad un total de 18 fábricas han utilizado NFU como combustible alternativo:

- **Cementos Alfa, S.A.**
  - Fábrica de Mataporquera (Santander)
- **Cementos Cosmos**
  - Fábrica de Oural (Lugo)
- **Cementos Lemona, S.A.**
  - Fábrica de Lemona (Vizcaya)
- **Cementos Portland Valderrivas, S.A.**
  - Fábrica de Hontoria-Venta de Baños (Palencia)
- **Cementos Tudela Veguín (Masaveu Industria)**
  - Fábrica de Aboño-Carreño (Oviedo)
  - Fábrica de La Robla (León)
- **Cemex España Operaciones, S.L.U.**
  - Fábrica de Castillejo (Toledo)
  - Fábrica de San Vicente del Raspeig (Alicante)
- **Financiera y Minera, S.A.**
  - Fábrica de Añorga (Guipúzcoa)
  - Fábrica de Málaga (Málaga)
- **Holcim España S.A.**
  - Fábrica de Carboneras (Almería)
  - Fábrica de Gádor (Almería)
  - Fábrica de Jerez (Cádiz)
  - Fábrica de Lorca (Murcia)
  - Fábrica de Torredonjimeno (Jaén)
  - Fábrica de Yeles (Toledo)
- **Lafarge Cementos S.A.U**
  - Fábrica de Sagunto (Valencia)
  - Fábrica de Villaluenga (Toledo)

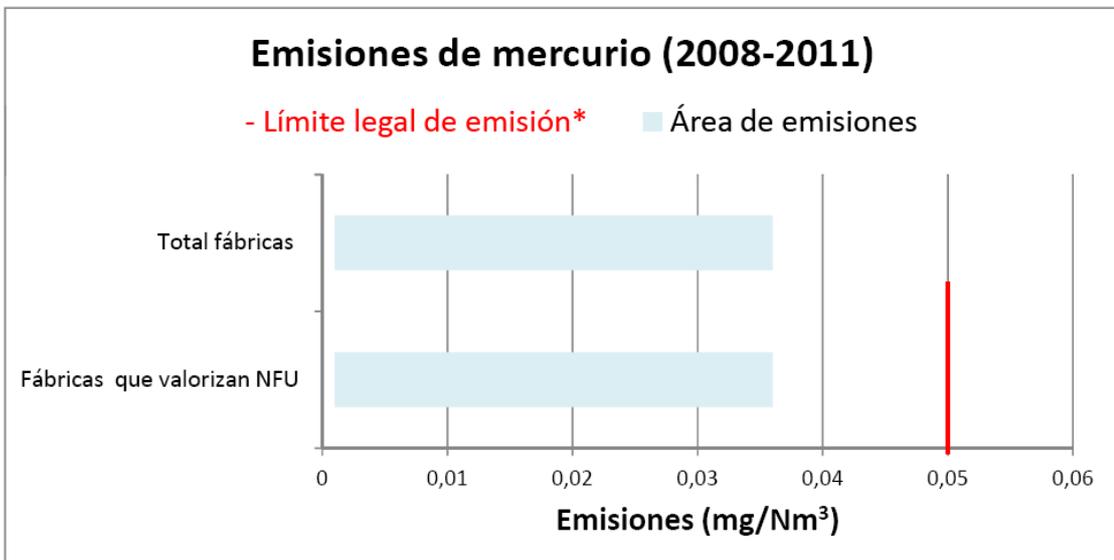
Adicionalmente a los informes independientes que se incluyen en los anexos III y IV del presente informe y que ponen de manifiesto que el uso de neumáticos como combustible alternativo no incrementa las emisiones de las fábricas, ni genera riesgos añadidos para la seguridad y salud de las personas, es importante resaltar que durante todos estos años las emisiones de estas fábricas han sido controladas periódicamente por las mediciones efectuadas por Organismos de Control Autorizados cuyos informes obran en poder de las Administraciones ambientales competentes.

A continuación se incluyen una serie de gráficos comparativos en los que se representan los perfiles de emisión de las fábricas que han utilizado NFU, desde 2008 (plazo legal para disponer de Autorización Ambiental Integrada) hasta 2011, frente a los perfiles de emisión de todas las fábricas de cemento de España, tanto las que utilizan combustibles alternativos como las que utilizan combustibles tradicionales, durante el mismo periodo de tiempo. Se han elegido de aquellos contaminantes más relevantes desde el punto de vista de su potencial impacto en la salud.

En ellos se pone de manifiesto el cumplimiento riguroso de los límites de emisión fijados en el anexo II del RD 653/2003<sup>35</sup>, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos.

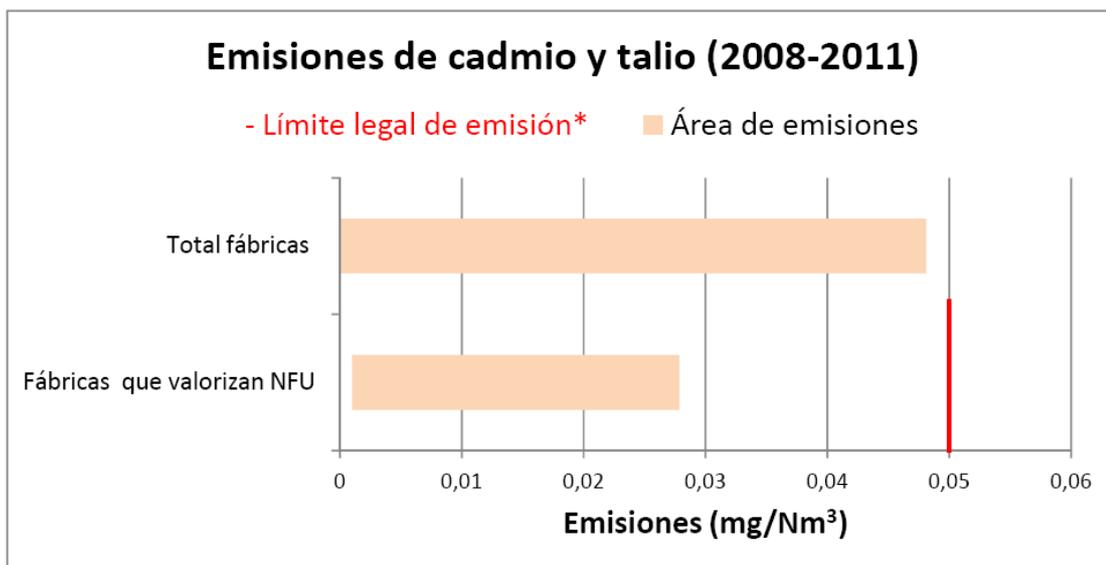


\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.

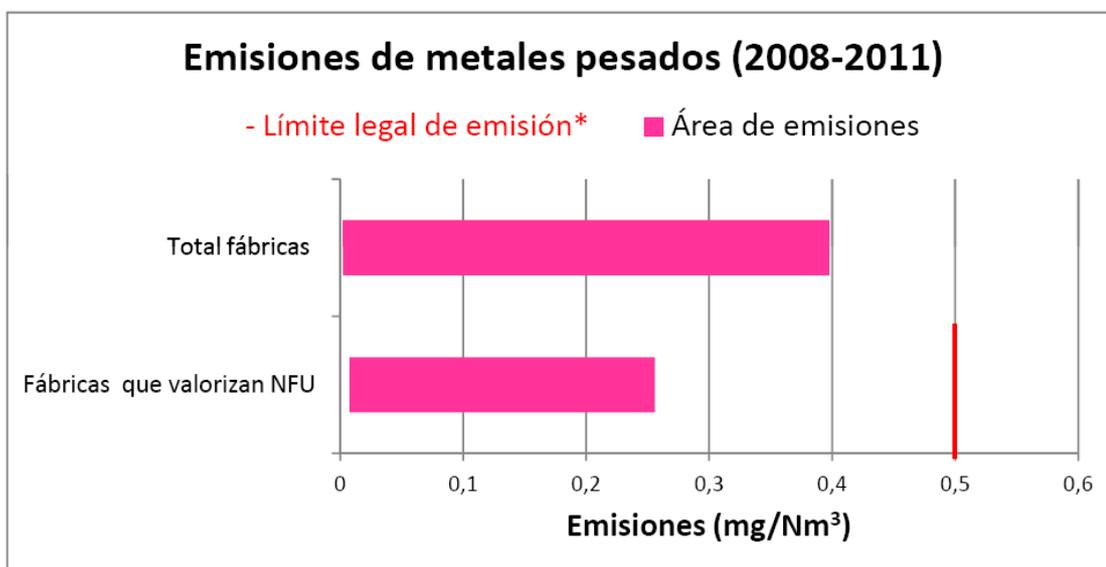


\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.

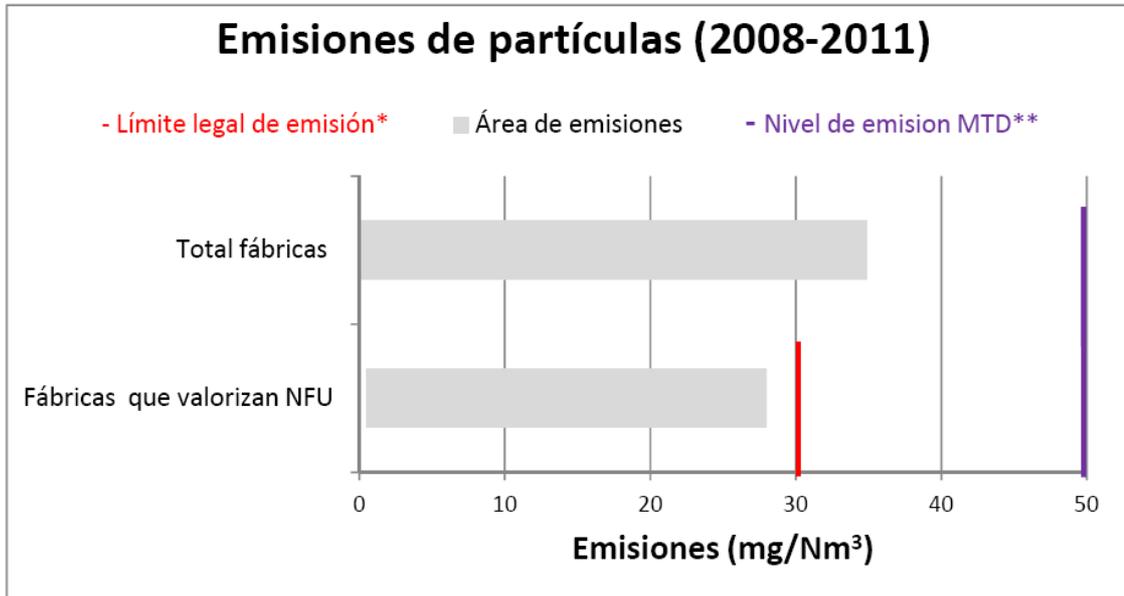
<sup>35</sup> Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.



\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.

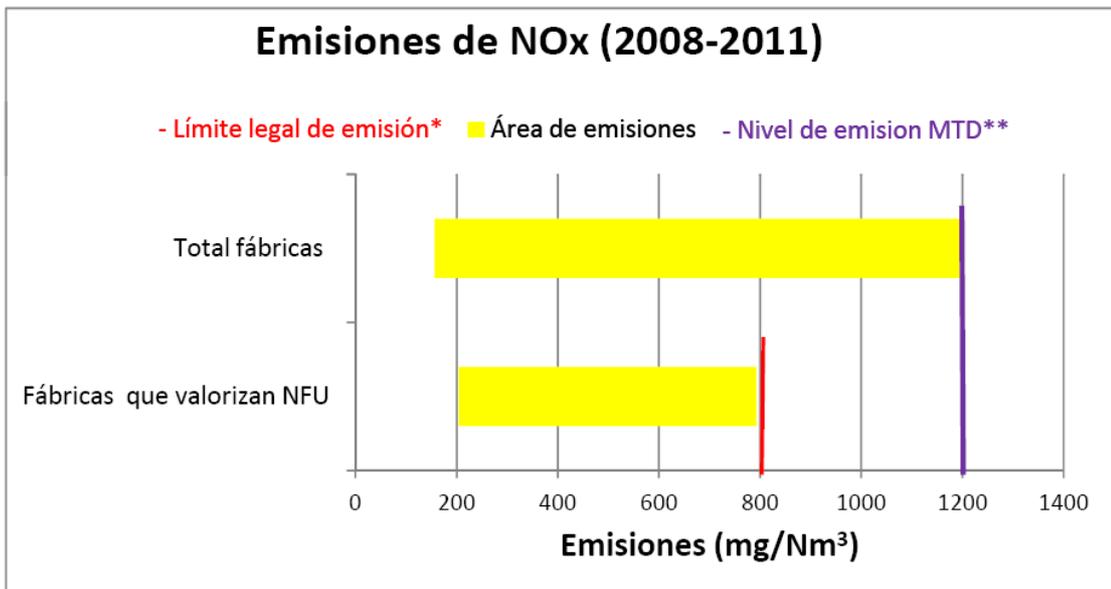


\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.



\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.

\*\*Nivel de emisión asociado a la mejores técnicas disponibles (MTD) para fábricas de cemento recogida en la Guía de MTD en España de fabricación de cemento



\* **Aplicable únicamente a fábricas que valoricen energéticamente residuos.** De acuerdo al anexo II del RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. Derogado por el RD 815/2013, de 18 de octubre, de emisiones industriales.

\*\*Nivel de emisión asociado a la mejores técnicas disponibles (MTD) para fábricas de cemento recogida en la Guía de MTD en España de fabricación de cemento

## 4. INSTALACIONES TIPO

### 4.1 Características y propiedades de los NFU

Las fábricas cementeras tienen la capacidad de valorizar energéticamente los neumáticos fuera de uso tanto de turismos como de camiones y autobuses.

Generalmente, los neumáticos están compuestos por aproximadamente un 50% en peso de caucho (natural y sintético), un 25% en materiales de relleno y el resto por aceites, agregados y materiales como el acero.

Tabla 1. Composición material de los neumáticos

MATERIAL	TURISMOS	CAMIONES/AUTOBUSES
<b>Caucho natural</b>	21%	31%
<b>Caucho sintético</b>	24%	14%
<b>Aditivos de relleno</b>	28%	21%
<b>Acero</b>	12%	24%
<b>Textil</b>	4%	-
<b>Aceite, otros</b>	11%	9%

Fuente: hc medio ambiente "Valorización de neumáticos en la fábrica de Alicante de Cemex España S.A."

La composición química de los NFU resulta muy ventajosa, tanto para la propia industria cementera como para el medio ambiente, ya que:

- La aportación férrica de los neumáticos satisface una parte de la demanda de hierro en el crudo.
- El contenido en azufre es bajo, lo que supone una reducción de las emisiones de SOx respecto a los combustibles convencionales.
- El contenido en óxido de zinc, aun siendo relativamente alto, no disminuye la calidad del producto.
- Entre el 22% y el 34% del contenido en carbono procede del caucho natural del neumático, considerándose carbono biogénico y reduciendo de este modo las emisiones de CO2 computables.

Así mismo, los neumáticos presentan una baja humedad respecto a otro tipo de combustibles, por lo que no es necesario un sistema de secado previo a la entrada del horno, y posee un poder calorífico alto.

Tabla 2. Análisis inmediato

<b>ANÁLISIS INMEDIATO</b>	
<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso</b>
<b>Humedad</b>	0 %
<b>Materia Volátil</b>	60-65%
<b>Cenizas</b>	5-10%
<b>Carbono fijo</b>	30-35%

Fuente: Informe de resultados del proyecto Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso. Oficemen.

Tabla 3. Análisis elemental

<b>ANÁLISIS ELEMENTAL</b>	
<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso</b>
<b>Carbono</b>	80-85 %
<b>Nitrógeno</b>	0,2-0,4 %
<b>Azufre</b>	1-1,4%
<b>Hidrógeno</b>	6-7%
<b>Metales</b>	11-12%
<b>Inertes</b>	2-3%

Fuente: Informe de resultados del proyecto Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso. Oficemen.

Tabla 4. Análisis de las cenizas

<b>ANÁLISIS DE LAS CENIZAS</b>	
<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	2-5%
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,12-1%
<b>CaO</b>	0,35-0,5%
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,15-0,2%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,35%
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,08-0,14%
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,05-0,1%
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,1-0,15%
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,8-1%
<b>Cr</b>	535 ppm
<b>W</b>	853 ppm

<b>Zn</b>	11.630 ppm
-----------	------------

*Fuente: Informe de resultados del proyecto Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso. Oficemen.*

El contenido energético de la goma de neumático sin alambre de acero está comprendido entre 7.750 y 8.350 kcal/kg, convirtiéndolo en un buen combustible:

*Tabla 5. Comparativa entre PCI de diferentes combustibles*

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>PCI (Kcal/kg)</b>
<b>Goma de neumático</b>	7.750 - 8.350
<b>Aglomerados de carbón</b>	7.481
<b>Carbón de madera</b>	7.505
<b>Coque</b>	7.003
<b>Coque de petróleo</b>	8.150

*Fuente: <http://es.scribd.com>*

## 4.2 Instalación para la valoración energética de NFUs en cementera

En la mayoría de los casos, los neumáticos usados requieren de un proceso de pre-tratamiento basado en la trituración del material, antes de ser utilizados como combustible alternativo en las fábricas de cemento. La granulometría necesaria dependerá de la tecnología aplicada en cada instalación.

### Proceso previo: trituración

La instalación de triturado puede constar de varias etapas de trituración, dependiendo del tamaño necesario, con cribas y separadores del metal férreo. No obstante, se debe tomar en consideración que cuanto menor sea la granulometría requerida, mayores serán los costes de inversión en equipos de trituración, el consumo energético y el gasto del mantenimiento de la instalación.

La primera etapa es la trituración primaria, donde el neumático entero se reduce a dimensiones de entre 50-300 mm. Este proceso suele constar de una trituradora de doble rotor de discos cortantes, a baja velocidad con discos sustituibles, operada hidráulicamente y con control de par.

La trituración secundaria consigue un tamaño de entre 20-50 mm mediante trituradoras de discos o bien devolviendo el material a la trituradora primaria. A posteriori, mediante una criba de discos o malla se determina si la granulometría es óptima para los requerimientos del proceso o si es necesario retornar los chips a la trituradora secundaria. Al finalizar este proceso, la granulometría del material no supera los 20-30 mm.

En caso de ser necesario, es posible reducir el neumático hasta los 7-20 mm, mediante una granuladora, que suele ser una trituradora de cuchillas de un solo rotor con una malla de salida que determina la fracción a conseguir. Con este tamaño, se puede proceder a una separación magnética del hierro del neumático y del textil.

**Proceso en cementera**

A partir de la recepción de los neumáticos se efectúa un control del proceso mediante sistemas automatizados que regulan en tiempo real, entre otros parámetros, los sistemas gravimétricos de alimentación del combustible, corrigiendo si fuera el caso, las posibles desviaciones del sistema que se puedan presentar durante su funcionamiento de manera automática, así como las emisiones del proceso, las temperaturas, caudal, etc., estando siempre el sistema supervisado por un operario de planta.

Fases del proceso con utilización de los neumáticos fuera de uso:

- **Instalación de recepción y almacenamiento**

La descarga de los camiones se realiza en una tolva o fosa de recepción (instalación techada o cerrada), provista de sistemas de prevención de dispersión de partículas.



Figura 1: Instalación de recepción y almacenamiento



Figura 2: Camión descargando

- **Instalación de dosificación**

Existen varias alternativas para la dosificación de los neumáticos fuera de uso:

- a) Desde el almacenamiento se dosifica de forma independiente mediante un pulpo o cuchara que mediante puente grúa descarga el material en una tolva de dosificación, con su propio sistema de pesaje, o carga en una báscula dosificadora.



Figura 4. Pulpo automático

Figura 3: Alimentación de la instalación

- b) El material se extrae de la nave donde está almacenado, mediante un rascador y posteriormente se envía al dosificador.



Figura 5: Rascador



Figura 6: Dosificador

- c) Los neumáticos se descargan en una tolva de recepción, desde donde mediante cintas transportadoras o cintas con paletas elevadoras se transportan a un silo.

De la báscula dosificadora, el material se descarga en una cinta transportadora, o bien neumáticamente, según el punto de alimentación del neumático, como se verá en detalle más adelante.



Figura 7: Cinta transportadora cubierta

- **Instalación de alimentación.** Ésta es la que puede variar más en función de la instalación.

En la actualidad, la mayoría de fábricas de cemento en Europa operan por vía seca. En el caso de Cataluña, se trata de instalaciones de vía seca con intercambiador de ciclones. Aun así, la tecnología aplicada en cada instalación puede variar el punto de dosificación de los neumáticos usados dentro del sistema.

## HORNO DE CLINKER

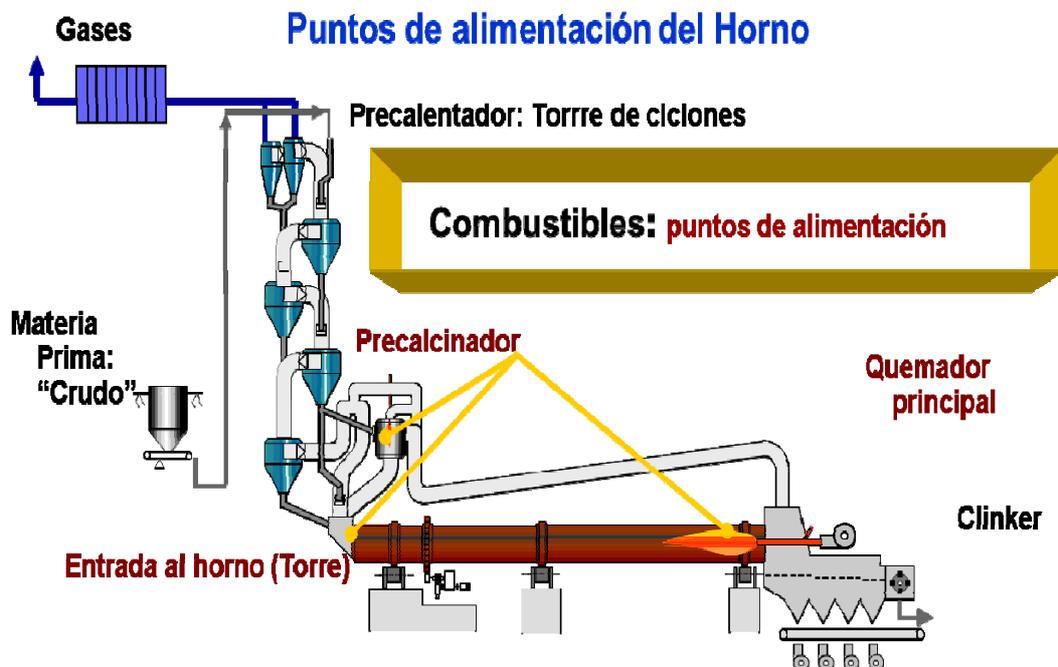


Figura 8: Puntos de alimentación del horno

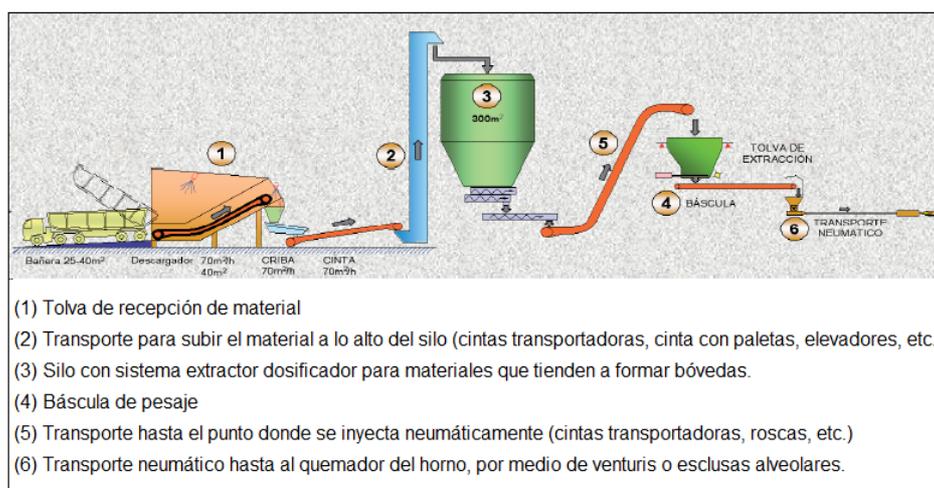
A continuación, se describen las posibilidades existentes de alimentación según la tecnología aplicada en las fábricas cementeras de Cataluña:

○ **Quemador principal**

La inyección del neumático en quemador principal precisa una granulometría no superior a los 20-30 mm, dadas las características en éste punto.

Cuando el material se encuentra en el dosificador, éste es alimentado al quemador del horno mediante transporte neumático.

Se presenta el esquema de una instalación existente en España:



Fuente: Revista cemento hormigón "Valorización de neumáticos en la fábrica de Alicante de Cemex España S.A.". Proceso de alimentación por quemador principal

Una vez inyectado, el neumático pasa a través de las zonas de alta temperatura del horno, pues la llama alcanza una temperatura cercana 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 en atmósfera oxidante. La alta disponibilidad de oxígeno permite reacciones de oxidación más rápidas, alto nivel de turbulencia y de descomposición.

○ **Torre de intercambio de calor**

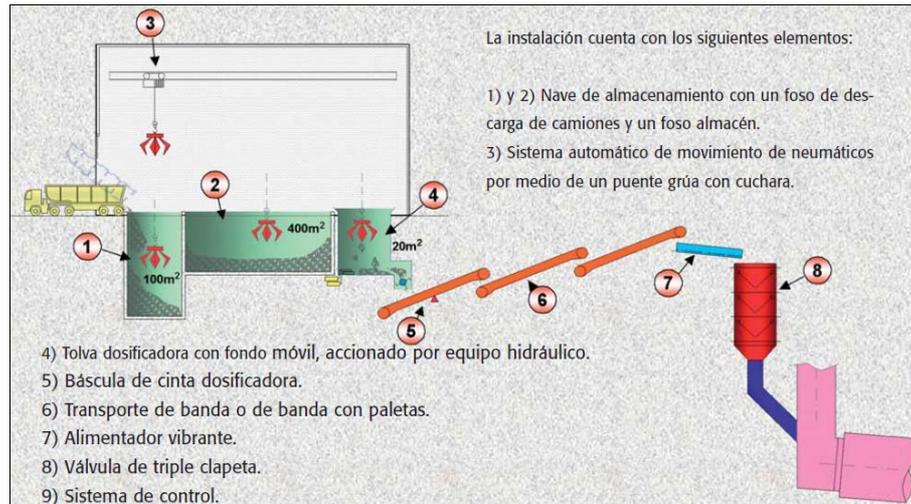
La inyección del combustible por la torre es la tecnología más extendida, ya que el sistema permite una granulometría relativamente grande, de entre 100-150 mm, abaratando así los costes.

La alimentación en esta zona puede darse en dos formas distintas, según la instalación existente en la zona de calcinación del horno:

- En las cámaras de combustión situadas en la parte baja de la torre de ciclones de hornos con precalcinador, donde la combustión se realiza con aporte de aire caliente proveniente del enfriador de clinker.
- En hornos que no disponen de precalcinador, la alimentación se realiza en la entrada del horno. En este caso, para que la operación del horno sea

estable, la sustitución que se consigue se encuentra en torno a un 15-20%, debido a que el exceso de aire necesario para la combustión repercute en el enfriamiento de la zona de clinkerización.

El material, en ambos casos, suele almacenarse en una nave cerrada con tres zonas diferenciadas: la zona de recepción, la zona de almacenamiento y la zona de dosificación. Los neumáticos se desplazan de una zona a la siguiente mediante un pulpo automático.



Fuente: Revista cemento hormigón "Valorización de neumáticos en la fábrica de Alicante de Cemex España S.A.". Proceso de alimentación por quemador principal

Seguidamente se describe un ejemplo de este tipo de instalación existente en España:

El pulpo deposita el material en una tolva de dosificación, desde donde mediante una cinta transportadora se alimenta el neumático a la torre a través de una válvula de triple clapeta. Este tipo de alimentación tiene el objetivo de aislar las cintas de la boca de entrada al horno para evitar posibles incendios.

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



Figura 8: Válvula de triple clapeta.



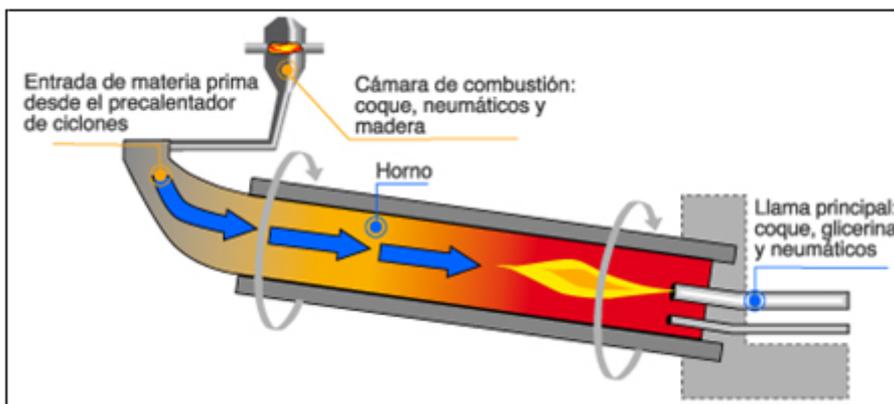
Figura 9: Cinta de alimentación al horno.



Figura 10: Conducto de entrada de neumáticos al horno.

Mediante la alimentación por la torre, el neumático se encuentra en una zona donde se alcanzan temperaturas cercanas a los 1.200°C, y se mantiene una temperatura superior a 850°C durante unos 3 segundos. Con estas características se garantizan que todos los componentes volátiles del combustible se quemen completamente y no se dirija el gas del horno hacia las zonas más frías del intercambiador de calor, donde sería imposible acabar la combustión.

Los anteriores sistemas de alimentación también pueden darse de manera combinada en una sola instalación, como ejemplo se muestra un esquema de una instalación en Alicante:



Fuente: Revista cemento hormigón "Valorización de neumáticos en la fábrica de Alicante de Cemex España S.A."

### **Estimación preliminar del coste y dimensionado de una instalación tipo**

Para una fábrica con una capacidad anual de fabricación de clinker tipo, y las características del mix de combustibles empleados en Cataluña, se pueden aportar los siguientes rangos a modo orientativo:

- Fábrica de 0,5 Mt/año de capacidad de fabricación de clinker: instalación tipo de NFU de 10.000-15.000 t de capacidad.
- Fábrica de 1 Mt/año de capacidad de fabricación de clinker: instalación tipo de NFU de 15.000-20.000 t de capacidad.
- Coste aproximado de las instalaciones, en orden de magnitud: 2 M€

## Anexo I: Destino de NFU por países

	<b>Total NFU</b> (todas las cantidades en t)	<b>Recuperación material-total</b> (incluye aplicaciones del material y civiles)	<b>Recuperación material-obra civil</b>	<b>Recuperación energética</b> (principalmente en cementera)
Austria (est. 2010)	60.000	24.000	0	36.000
Belgium	66.000	54.000	0	12.000
Bulgaria (est.)	22.000	10.000	0	4.000
Cyprus (est.)	5.000	0	0	0
Czech Rep. (est.)	54.000	15.000	0	27.000
Denmark	36.000	36.000	0	0
Estonia (est.)	11.000	10.000	0	0
Finland	46.000	43.000	31.000	3.000
France <sup>(1)</sup>	323.000	148.000	50.000	175.000
Germany	424.000	190.000	0	234.000
Greece	36.000	13.000	0	21.000
Hungary	36.000	26.000	0	10.000
Ireland	24.000	11.000	0	10.000
Italy <sup>(2)</sup>	330.000	119.000	1.000	191.000
Latvia (est.)	11.000	5.000	0	5.000
Lithuania (est.)	13.000	6.000	0	4.000
Malta (est.)	0	0	0	0
Netherlands <sup>(3)</sup>	62.000	51.000	1.000	11.000
Norway	31.000	29.000	20.000	2.000
Poland	185.000	85.000	0	100.000
Portugal	64.000	40.000	1.000	24.000
Romania	46.000	20.000	0	26.000
Slovak Rep. (est.)	23.000	17.000	0	6.000
Slovenia (est.)	10.000	5.000	0	5.000
Spain	219.000	103.000	14.000	116.000
Sweden	76.000	28.000	11.000	48.000
Switzerland (est. 2010)	45.000	13.000	0	32.000
UK	282.000	143.000	28.000	127.000
Turkey <sup>(4)</sup>	225.000	97.000	0	33.000
Total	2.765.000	1.341.000	157.000	1.262.000

Fuente: ETRMA ([www.etrma.org](http://www.etrma.org))

## Anexo II. Revisión de datos de emisión por parte de agencias ambientales de EEUU y Canadá

Algunas de las declaraciones publicadas por las agencias regulatorias relativas a la evaluación de las emisiones y la calidad del aire se describen a continuación:

- “Basado en **15 años de experiencia** con más de **80** instalaciones individuales; EPA (U.S. EPA) reconoce que el uso de neumáticos fuera de uso como combustibles es una alternativa viable respecto del uso de combustibles fósiles...La Agencia apoya el uso responsable de neumáticos en la industria del cemento y en otras instalaciones en la medida que las instalaciones dispongan de:

- (1) Un plan de almacenamiento y manipulación de neumáticos;
- (2) Un permiso de acuerdo a los programas aplicables tanto a nivel federal como estatal, y
- (3) Cumplimiento con todos los requisitos de la autorización”.

### **U.S.Environmental Protection Agency, 2005 (3).**

- “El largo tiempo de residencia y las elevadas temperaturas de operación de los hornos de cemento favorecen un ambiente ideal para la combustión de los neumáticos como combustible adicional. Los resultados de diversos análisis en los hornos de cemento indican que mientras se están quemando neumáticos, las emisiones no se encuentran afectadas, incluso en muchos casos se mejora cuando se queman los neumáticos.”

### **U.S. Environmental Protection Agency, 1991 (5), page 4-36.**

- *“Cuando los neumáticos se queman al aire libre, como el incendio de neumáticos de Hagersville, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada para completar la incineración y los componentes tóxicos son depositados en el aire y los suelos. Por otro lado, la completa combustión de los gases inorgánicos y las cenizas puede conseguirse a través de incineración a elevadas temperaturas, como se está practicando en los hornos de cemento y en las centrales termoeléctricas de carbón. Se menciona muy poco que son muchos los esfuerzos en investigación que muestran que los neumáticos pueden ser incinerados de manera segura en altas temperaturas y aprovechar la energía liberada para aplicaciones industriales; consecuentemente, los ciudadanos y los grupos medioambientales tienden a oponerse a la incineración de los neumáticos con motivo de que ello puede plantear un peligro para la salud”.* **Murray.**

### **W. Science and Technology Division, Government of Canada (6).**

Una variedad de Agencias estatales y otras organizaciones en los Estados Unidos han alcanzado similares conclusiones mirando los neumáticos fuera de uso, basado en los resultados de los análisis de las emisiones.

- “El panel ha concluido que bajo las condiciones correctas los neumáticos pueden ser quemados seguramente como un combustible adicional. La utilización de combustibles en los hornos de cemento sustituye al carbón. Los análisis de emisiones en dos fábricas de cemento que queman residuos de neumáticos con combustibles de carbón no mostraron diferencias apreciables con respecto a las emisiones de contaminantes tóxicos al aire cuando se comparan con el combustible de carbón solamente. El uso de neumáticos en los hornos de cemento es un método con tecnología existente que puede ser rápidamente implantada...El panel recomienda que se apoye a las fábricas de cemento para la utilización de los neumáticos como el fuel”. **California Integrated Waste Mangement Board (7), Páginas 59 y 60, 1992.**
- “Hasta el momento, el TNRCC (el Texas Council of Environmental Quality (TCEQ)) ha permitido la combustión de los neumáticos en diecisiete instalaciones, la mayoría hornos de cemento, en Texas. Aunque se ha manifestado preocupación pública acerca del uso de neumáticos en estas instalaciones, el TNRCC cree que las evidencias científicas han demostrado que los neumáticos pueden ser quemados de manera segura como combustibles, siempre que se empleen sistemas de control de emisiones adecuados. La Agencia de protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos y otros programas estatales han revisado los análisis disponibles, y han llegado a la misma conclusión.” **Texas Natural Resources Conservation Commission March 2001 (9).**
- “Examinando todos los análisis, en conjunto, se muestra la imagen general de que en la combustión de neumáticos no se aprecia tendencia de impactos adicionales. Las buenas prácticas de combustión y buena operación de los sistemas de control de las contaminación atmosférica efectivos parecen mantener las emisiones dentro de la normal “banda de error” del proceso y de la variación de la metodología de medida”. **California Integrated Waste Management Board, June 1997 (Draft)(10).**
- “Aunque había cierta inicial preocupación sobre la quema de los neumáticos, estudios han mostrado que los riesgos para la salud de la quema de una mezcla de neumáticos y carbón son, en realidad más bajos que los riesgos de la salud quemando carbón solamente”. **Pensylvania Department of Environmental Protection, Undated (11).**
- “Basado en la evaluación de riesgos empleada y los riesgos teóricos para la salud proyectados en la instalación de quema de neumáticos, Salud Alberta respalda la postura de que una planta de cemento convenientemente operada no debería plantear exposiciones significativas a largo plazo y riesgos de salud cuando una porción de su combustible gas natural es reemplazado por fragmentos de neumáticos”. **Alberta Health and the Edmonton Board of Health. 1994 (12).**

### Anexo III: Análisis específico: influencia del uso de NFU en las emisiones de Zn

El Zn no se encuentra entre los metales que se han considerado necesario controlar en la Directiva 2010/75/UE de Emisiones Industriales como parámetro de emisiones atmosféricas en las plantas de cemento que coincieran residuos (ni previamente en la Directiva 2000/76/CE de incineración de residuos). Esta directiva contiene las disposiciones relativas a los límites de emisión “a fin de asegurar un alto nivel de protección del medio ambiente y la salud humana” en estas instalaciones (de acuerdo con su considerando nº 34). Sí se ha considerado para emisiones a las aguas de otro tipo de instalaciones. Tampoco la Agencia Ambiental de Inglaterra y Gales lo ha considerado como parámetro a controlar en sus “especificaciones estándar recomendadas para combustible derivado de residuos en fábricas de cemento”.

Por otra parte el documento BREF de Mejores Técnicas Disponibles para la fabricación de cemento describe rangos de emisión y contenidos de Zn en algunas materias primas y combustibles, pero no establece valores asociados de emisión por no considerarse este parámetro relevante en términos de alcanzar un elevado grado de protección del medio ambiente en su conjunto. Este documento menciona al Zn entre los metales del apartado de Emisiones a la atmósfera (1.3.4.7.) de la sección “niveles actuales de consumos y emisiones”.

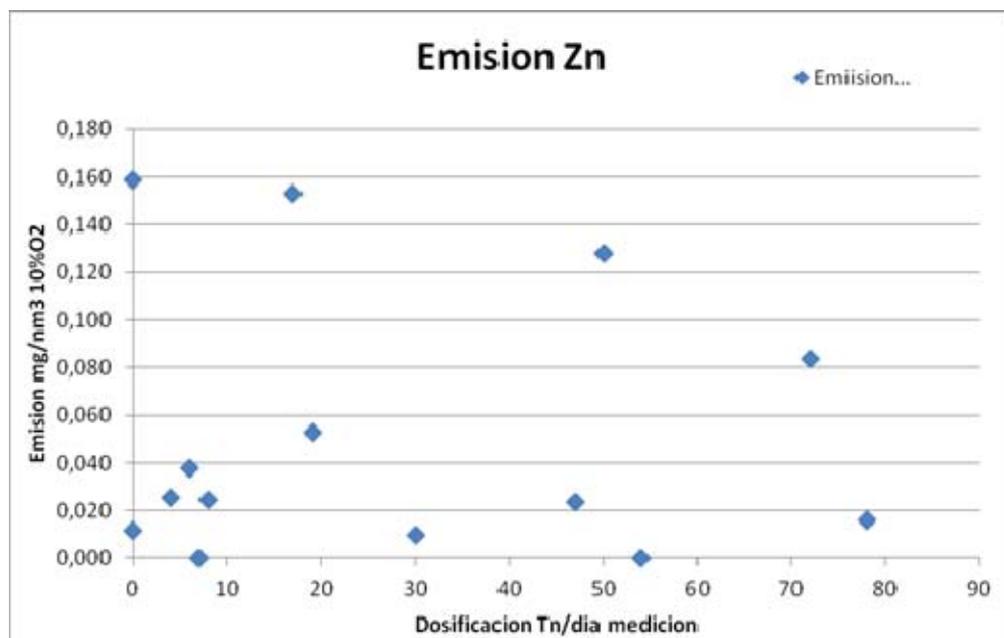
*“Metales que son o tienen compuestos semivolátiles: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K y Na: estos metales condensan como sulfatos o cloruros a temperaturas entre 700 y 900°C, y tiene lugar una recirculación interna en el sistema de horno. En este sentido, los elementos semivolátiles que se acumulan en el sistema de horno precipitan de nuevo en el intercambiador de ciclones quedando retenidos en un alto grado, casi por completo en el clinker.”*

*“El comportamiento y el nivel de emisión de los metales individuales en el proceso de producción de cemento dependen de la volatilidad, del escenario de entradas al horno, la concentración de los elementos en las materias primas y combustibles, especialmente cuando se emplean residuos o residuos peligrosos como combustibles, el tipo de proceso, y, el más importante, la eficiencia de la precipitación en los sistemas de retención de partículas de la chimenea principal”.*

*...”Los metales de los combustibles inicialmente pasan a los gases de combustión, sin embargo son emitidos en un grado extremadamente pequeño debido a la capacidad de retención del horno y el precalentador. Puesto que el ratio materia prima-combustible en la producción de clinker es aproximadamente de 10:1, las entradas de metales relacionadas con la materia prima son decisivas para la emisión*

Como ejemplo de las afirmaciones generales anteriores, la empresa Cemex ha recopilado las mediciones de emisión de Zn en su fábrica de Castillejo, que emplea NFU como combustible, durante los años 2009-2012, realizadas por OCA y los ha evaluado en función de la cantidad alimentada de estos combustibles, presentando la información en un amplio informe de emisiones para su Administración competente (Castilla la Mancha).

En el siguiente gráfico se puede comprobar que no se ha podido establecer una correlación entre la concentración de Zn emitida en los gases de salida del horno y la cantidad de NFU alimentada al proceso en toneladas/día.



En la literatura científica disponible acerca de emisiones de Zn en hornos que emplean NFU como combustible, se han dado casos de ensayos de emisiones en los que éstas eran mayores en los muestreos realizados durante la combustión de NFU, así como casos en los que las emisiones de Zn se mostraban menores. (Cantox, 2006, 3.3. Metals<sup>36</sup>) Sin embargo cabe destacar que de los dos estudios que mencionan un aumento, uno era realizado sin mediciones concretas, a partir de factores de emisión (Cook and Kemm2002, 2004), y otro reportaba unas emisiones de partículas de más de 100 mg/m<sup>3</sup>, lo cual da idea del mejorable nivel de emisión de partículas de la instalación, que puede ser el origen de la alta emisión medida de Zn, más que el uso de un combustible en esa prueba (Carrasco et al. 98, 2002). Por otra parte los datos son media de varias mediciones en

<sup>36</sup> Por ejemplo, la referencia de Giugliano et al, mencionada en el punto 3.3.5: USA: "Air Emissions Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations firing Tire-Derived Fuels", hallaba emisiones de Zn del mismo nivel durante las pruebas con 36% de sustitución de NFU que durante el uso de combustibles convencionales.

cuatro hornos y habría que evaluar más en detalle la situación de cada uno de ellos. La conclusión del informe de Cantox, así como el de la Universidad de Dalhousie (ya referidos en el presente informe) es que estas emisiones vendrán controladas principalmente por los dispositivos de limpieza de gases (filtros de partículas). En concreto, el informe de la Universidad de Dalhousie no menciona el Zn como uno de los parámetros relevantes en el neumático a la hora de afectar a las emisiones de metales (pág 22).

Por otro la liberación del zinc retenido en el producto ha sido objeto de varios estudios entre los que cabe destacar el llevado a cabo por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, del CSIC, en 2003: "Empleo de combustibles alternativos en la fabricación del cemento. Efecto en las características y propiedades de los clinker y cementos". Puertas et. al, Revista de Materiales de Construcción. 54, 2004.

Se analizaron clinker y cementos de 3 fábricas que emplearon para los ensayos combustibles tradicionales, y una mezcla de combustibles tradicionales (ensayos "SIN) y alternativos ("ensayos CON"). Los alternativos eran:

- Fábrica A: harinas animales.
- Fábrica B: NFU.
- Fábrica C: NFU, y harinas cárnicas.

En este estudio se hallaron concentraciones de Zinc ligeramente mayores en los clinker de las fábricas que empleaban NFU como parte de su combustible:

Tabla 2: Contenido en metales pesados en los clínkeres.

mg/Kg	A (SIN)	A (CON)	B (SIN)	B (CON)	C (SIN)	C (CON)
<b>Cd</b>	2,8	<0,4	<0,4	2,8	<0,4	<0,4
<b>Tl</b>	<4	<4	<4	<4	<4	<4
<b>Hg</b>	0,14	0,14	0,22	0,14	<0,02	<0,02
<b>As</b>	35	21	17	17	11	15
<b>Sb</b>	3,6	3,2	0,75	0,55	0,38	0,40
<b>Pb</b>	92	58	16	<4	<4	<4
<b>Cr</b>	36	27	59	37	30	38
<b>Co</b>	6,8	4,8	5,0	4,0	4,0	4,8
<b>Cu</b>	120	94	53	47	8	24
<b>Mn</b>	240	180	210	300	180	200
<b>Ni</b>	11	17	31	30	28	23
<b>V</b>	140	180	300	280	250	180
<b>Zn</b>	240	220	59	140	26	200
<b>Ba</b>	168	410	240	108	330	410

(SIN): Combustible convencional; (CON): combustible alternativo

Aun así, el estudio concluye que “los clínkeres fabricados con combustibles alternativos no presentan diferencias significativas en la composición mineralógica respecto a los obtenidos con combustibles tradicionales”. Todos los cementos estudiados cumplían las normas vigentes en cuanto a características físicas y químicas, no viéndose afectado su comportamiento mecánico y geológico.

En cuanto al comportamiento de este metal una vez que el cemento es empleado como producto de construcción, fue evaluado por ese mismo Instituto en el mismo proyecto mencionado anteriormente, con las tres fábricas objeto del estudio, dando como resultado el informe: “Lixiviación de metales y otros compuestos en productos fabricados con cemento”<sup>37</sup>. Entre los resultados se menciona que:

Ensayos de neutralización ácida: “En general se observa que no hay diferencias significativas entre la concentración de los elementos lixiviados por neutralización ácida de

<sup>37</sup> A. Hidalgo et al, Revista Cemento Hormigón, número extraordinario 2004.

los cementos fabricados con combustibles alternativos, respecto a los correspondientes a los combustibles tradicionales. ... Elementos como Cd, Tl, Hg, Pb, Co, Cu, Ni, Se y Zn se encuentran por debajo de los límites de detección en los lixiviados, indicando que están fijados a la matriz del sólido degradado”.

*...“Como conclusión más relevante del trabajo realizado se destaca que el empleo de combustibles alternativos reemplazando parcialmente y en diferentes porcentajes a los combustibles tradicionales, en el proceso de fabricación de cemento, no afecta a la lixiviación de los materiales fabricados con ellos”.*

Adicionalmente se concluye que *“la concentración medida para los elementos lixiviados en el ensayo de lixiviación en tanque es siempre inferior a los valores límite establecidos por el Real Decreto 140/2003 que establece la calidad del agua para consumo humano.”* (aunque éste no establecía límites para contenido de Zn).

- Por otra parte, el documento BREF también concluye que el uso de residuos como combustibles alternativos en la industria cementera europea no ha impedido mantener las condiciones de seguridad ambiental del producto (Dadas las cantidades de NFU empleadas en Europa esta afirmación es significativa desde el punto de vista de la evaluación de la hipotética afección a la calidad del producto que el uso de neumáticos pudiera tener en una cementera concreta.

## Anexo IV: Análisis específico: influencia del uso de NFU en las emisiones de compuestos orgánicos

Aunque no tan abundantes como los estudios acerca de la emisión de dioxinas, existen varios documentos de referencia internacional que abordan la emisión de contaminantes orgánicos persistentes en general en hornos de cemento. Éstos inciden en que las condiciones de minimización de la emisión de COPs en procesos de combustión son muy similares a las de minimización de emisión de dioxinas. Como ejemplo:

- **Informe de la Convención de Basilea de Naciones Unidas sobre destrucción de residuos peligrosos en hornos de cemento:** El Informe *“Importancia medioambiental del uso de residuos peligrosos en hornos de cemento”* del *“Convenio de Naciones Unidas de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de Residuos Peligrosos y su Eliminación”*, enero 2001 cita que:
    - Desde el punto de vista ecológico en general, el uso de residuos en plantas de cemento es en algunos aspectos muy favorable frente a otros métodos de utilización o incluso de eliminación.
    - Los hornos de cemento poseen ciertas características que los hacen una tecnología eficiente para destruir residuos altamente tóxicos y estables:
      - Temperatura de gases de combustión y tiempos de residencia mayores que los de las incineradoras de residuos peligrosos.
      - Su gran tamaño y la cantidad de material calentado presente, dan como resultado una gran estabilidad térmica, incluso ante paradas de emergencia, todos los residuos peligrosos previamente alimentados serían destruidos por completo.
    - Las emisiones de PCB, o PAH, son muy bajas debido a las mismas condiciones que mantienen bajas las emisiones de dioxinas.
    - Experiencias de uso de aceites usados, disolventes, neumáticos, gomas, suelos contaminados, han demostrado que los hornos de cemento pueden ser usados de manera segura, y beneficiosa desde el punto de vista ecológico, y económico.
- Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. “Environmental Relevance of the use of Hazardous Wastes in Cement Kilns-Experiences from Germany”.*

- 
- **Informe de la Universidad de Dalhousie de Canada, sobre la “Evaluación del uso de neumáticos usados como combustible alternativo” en su apartado 4.4.2 en referencia a los COPs** cita “La combinación de altas temperaturas, largo tiempo de residencia y un flujo de aire turbulento en los hornos de cemento provoca la combustión completa de los compuestos orgánicos (VOCs), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) y dioxinas y furanos. La bibliografía muestra una pequeña variación de las emisiones de los compuestos orgánicos cuando utilizando residuos en un horno y emisiones siempre cumplen con los estándares de calidad del aire.
  
  - **El Instituto Noruego de Investigación SINTEF** ha llevado a cabo una recopilación y análisis de estudios de emisiones de hornos de cemento que abarcan más de 2.000 medidas de compuestos orgánicos persistentes en hornos de cementeras de los cinco continentes. Se muestra que la combustión en hornos de cemento no tiene un efecto significativo en la formación y emisión de dioxinas y furanos y otros orgánicos persistentes (COP)<sup>38</sup>
  
  -

---

<sup>38</sup> “Formation and release of COPs in the cement industry” SINTEF, Enero 2006. Karstensen, K.. “Formation, release and control of dioxins in cement kilns”. Chemosphere 2007.



[www.fundacioncema.org](http://www.fundacioncema.org)