



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Implicación ambiental de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) aplicadas al sector cerámico en el marco de la IPPC

Autor: María-Dolores Bovea Edo

Institución: Universidad Jaume I
E-mail: bovea@emc.uji.es

Otros autores: Elena Díaz-Albo (Universidad Jaume I); Julio Serrano (Universidad Jaume I); Antonio Gallardo (Universidad Jaume I); Francisco-José Colomer (Universidad Jaume I); Mar Carlos (Universidad Jaume I); Gracia-María Bruscas (Universidad Jaume I)



RESUMEN:

En el marco de la Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación (Directiva 96/61/EC, Directiva IPPC), se definen las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) como mecanismos de referencia que pueden aplicar las empresas para alcanzar los Valores Límites de Emisión (VLE) definidos para cada sector. La industria cerámica, y en concreto la producción de pavimento y revestimiento cerámico, se encuentra en el ámbito de aplicación de esta legislación (apartado 3.5 del Anexo I). Recientemente se ha publicado el documento de referencia (BREF) que describe las MTDs aplicables a este sector. El objeto de esta comunicación es analizar la implicación ambiental que supone la implantación de estas MTDs, que van encaminadas a aumentar la eficiencia energética y a reducir las emisiones de partículas, gases inorgánicos ácidos (HF, SO_x y HCl), NO_x, ruido, etc., en los diferentes procesos unitarios en que puede dividirse el proceso de producción de baldosas cerámicas: recepción de arcilla atomizada, prensado, secado, esmaltado, cocción (presecado), cocción (horno), embalaje y paletizado. Tomando como punto de partida la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y un Inventario del Ciclo de Vida (ICV) propio elaborado a partir de datos procedentes de diferentes empresas del sector cerámico ubicadas en la provincia de Castellón, se obtendrán indicadores ambientales para diferentes categorías de impacto. De esta forma, es posible cuantificar la ventaja ambiental que se obtiene de la implantación de las diferentes MTDs propuestas en el documento BREF, de forma individual y conjunta.



1. INTRODUCCIÓN

La Directiva IPPC (Directiva 96/61/CE y Directive 2008/1/CE) relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación) y su transposición a la legislación española por la Ley 16/2002, son los elementos fundamentales de la legislación medioambiental comunitaria y española reciente. Tiene como objetivo eliminar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones de las actividades industriales potencialmente contaminantes. Para ello, establece un sistema de permisos que invita a realizar un análisis integral y global del potencial de contaminación y del consumo de recursos de dichas instalaciones industriales.

En el marco de la IPPC se definen los Valores Límite de Emisión (VLEs) como la concentración y/o la masa de sustancias contaminantes contenidas en las emisiones procedentes de las instalaciones, que no deben superarse durante un período de tiempo determinado, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente. Estos VLEs se basan en las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), y sin prescribir la utilización específica de alguna de ellas, se establecen tomando en consideración el coste económico, las características de la instalación objeto de estudio, su implantación geográfica y sus condiciones ambientales locales. Las MTDs específicas de cada sector industrial se describen en unos documentos técnicos de referencia denominados BREF.

El sector industrial objeto de estudio en esta comunicación, fabricación de pavimento y revestimiento cerámico, cae dentro del ámbito de aplicación de la Directiva IPPC (sección 3.5 de Anexo I):

Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante horneado, en particular tejas, ladrillos, refractarios, azulejos o productos cerámicos ornamentales o de uso doméstico, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día, y/o una capacidad de horneado de más de 4 m³ y de más de 300 kg/m³ de densidad de carga por horno.

En 2007 se ha publicado el BREF correspondiente a la industria cerámica (BREF 2007), en el que se incluyen diferentes técnicas encaminadas a reducir las emisiones al aire y agua, mejorar la eficiencia energética, optimizar el uso de materias primas y agua, y minimizar, recuperar y reciclar las pérdidas/residuos y aguas residuales.

El objeto de esta comunicación es analizar la implicación ambiental que supone la implantación de estas MTDs en la fabricación de pavimento y revestimiento cerámico.

Tomando como punto de partida la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040/44 (2006) y un Inventario del Ciclo de Vida (ICV) propio elaborado a partir de datos procedentes de diferentes empresas del sector cerámico ubicadas en la provincia de Castellón (Bovea et al. 2007, 2008^{a,b}), se obtendrán indicadores ambientales para diferentes categorías de impacto. De esta forma, es posible cuantificar la ventaja ambiental que se obtiene de la implantación de las diferentes MTDs propuestas en el documento BREF, de forma individual y conjunta.

2. CICLO DE VIDA DEL PAVIMENTO/REVESTIMIENTO CERÁMICO

El ciclo de vida genérico del pavimento y revestimiento cerámico se desarrolla en una serie de etapas sucesivas que se muestran en la Figura 1, teniendo como principal entrada de materia prima la arcilla atomizada y el esmalte.

Puesto que el objeto de este trabajo es analizar la implicación ambiental de algunas de las Mejores Técnicas Disponibles propuestas en el marco de la Directiva IPPC, el estudio

va a centrarse en las etapas correspondientes a la producción de la baldosa (ver zona sombreada en la Figura 1):

1. Recepción de arcillas
2. Prensado
3. Secado
4. Esmaltado
5. Cocción
6. Clasificación y embalaje
7. Almacenamiento
8. Operaciones auxiliares

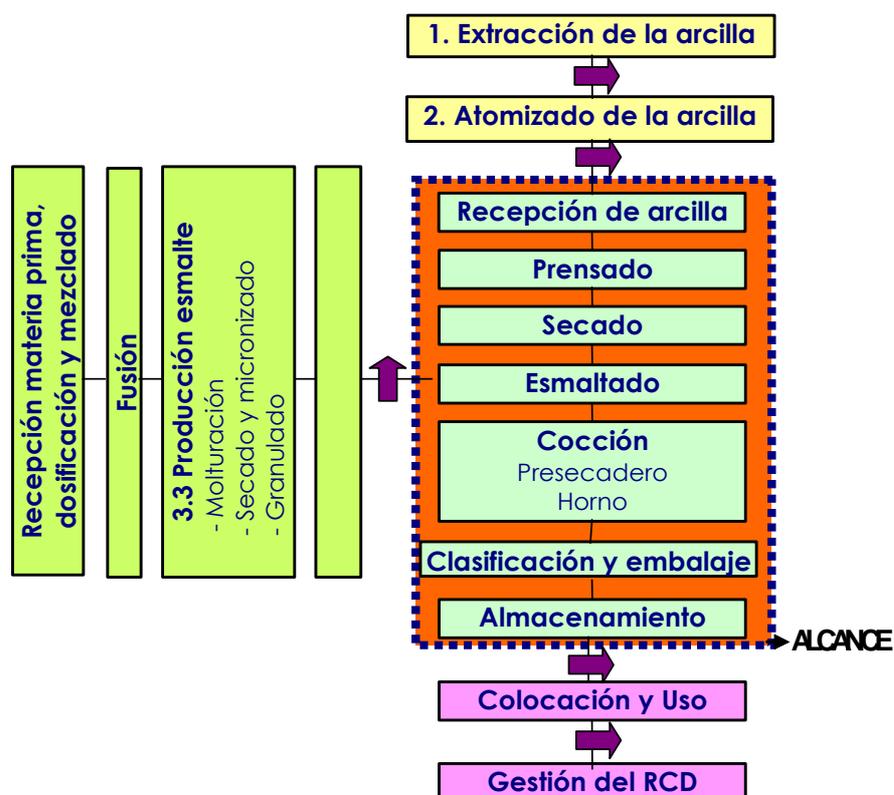


Figura 1. Ciclo de vida del pavimento/revestimiento cerámico. Etapas incluidas en este estudio.

El primer proceso es la **Recepción de arcillas (1)**, donde la arcilla atomizada se carga en silos hasta pasar posteriormente a la etapa de **Prensado (2)**, proceso en el que se conforma la pieza cerámica. Se lleva a cabo mediante prensas hidráulicas que comprimen mecánicamente el atomizado en moldes de geometría regular. Una vez conformada la pieza cerámica (soporte) se somete a una etapa de **Secado (3)** con el fin de reducir el contenido en humedad hasta niveles suficientemente bajos para que las fases de esmaltado y cocción se desarrollen adecuadamente. En la etapa de **Esmaltado (4)** se aplican sobre la pieza seca los esmaltes correspondientes para decorar cada producto. La etapa de **Cocción (5)** engloba dos subprocesos encargados de definir las principales características de la baldosa: El presecado al que se someten las piezas cerámicas para eliminar la humedad adquirida en el proceso de esmaltado y la cocción, donde se somete a la pieza cerámica a un ciclo térmico en unos hornos monoestrato,

donde las piezas entran por encima de rodillos y el calor necesario para su cocción es aportado por quemadores de gas natural-aire.

La siguiente etapa es la **Clasificación y embalaje (6)** de la baldosa, en donde se lleva a cabo la clasificación mediante un primer control visual y un segundo automático dividiendo las piezas por categorías (calidades) listas para encajar; el encajado, que consiste en ir agrupando las baldosas y, mediante un proceso automático, se van encerrando en cajas de cartón; el paletizado, que mediante cintas transportadoras llevan las cajas del seleccionador al robot paletizador, que se encarga de ubicarlas en diferentes palets de acuerdo a su clasificación; y el enfardado, que asegura las cargas sobre el palet mediante la utilización de film plástico. La siguiente etapa es su **Almacenamiento (7)** que no es más que un depósito temporal del producto acabado, previo a su venta y finalmente la distribución del producto al cliente. Finalmente, hay que añadirles unos **Procesos auxiliares (8)** que engloban las actividades de laboratorio, taller y oficinas. A partir de aquí, el producto está listo para su distribución, etapa que queda fuera del alcance de este estudio.

3. EVALUACIÓN AMBIENTAL INICIAL DEL PROCESO

El objeto de este estudio es realizar la evaluación ambiental inicial del proceso de producción de pavimento y revestimiento cerámico, con el fin de identificar los procesos que contribuyen mayoritariamente a su impacto ambiental y poder definir las Mejores Técnicas Disponibles aplicables para mejorarlo.

A partir del inventario del ciclo de vida realizado sobre las materias primas y procesos característicos del sector cerámico (Bovea et al.2007, 2008^{a,b}), se ha realizado su evaluación ambiental siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN ISO 14040-44 (2006), y obteniéndose indicadores ambientales para las categorías de impacto que se detallan en la Tabla 1. Las primeras seis categorías de impacto corresponden a las propuestas por el método CML (Guinee et al. 2006). Se han considerado tres nuevas categorías de impacto (partículas, fluoruros (HF) y ruido), que permiten cuantificar los aspectos característicos de la problemática ambiental del sector azulejero.

Tabla 1. Categorías de impacto y unidades consideradas. Indicador global.

Categoría de impacto	Unidad	Total
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq	4.47E-02
Efecto invernadero	kg CO2 eq	8.46E+00
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	2.49E-07
Smog fotoquímico	kg C2H2	3.75E-03
Acidificación	kg SO2 eq	5.32E-02
Eutrofización	kg PO4 eq	2.28E-03
Partículas	kg PM	4.85E-03
Ruido	dBA	89.8
HF	kg HF	8.08E-04

La Tabla 1 muestra los indicadores absolutos para cada una de las categorías de impacto. Gráficamente, la Figura 2 muestra la contribución de cada proceso unitario en que se ha dividido el proceso de fabricación de la baldosa, a cada categoría de impacto.

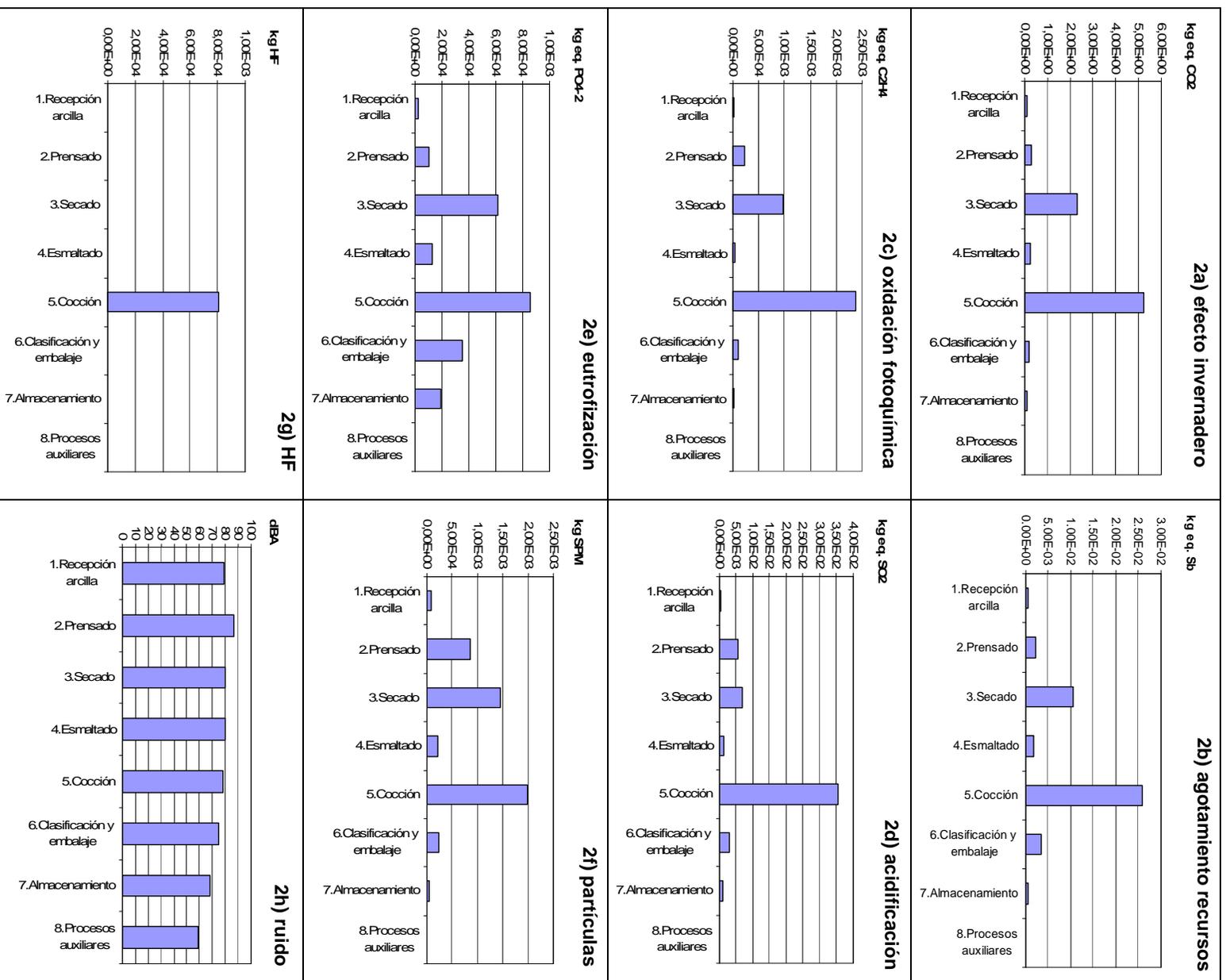


Figura 2. Contribución de cada proceso unitario a cada categoría de impacto.



Las gráficas de la Figura 2 muestran que el proceso unitario que contribuye mayoritariamente a todas las categorías de impacto es el proceso 5 que corresponde a la línea de cocción (a excepción de la categoría de ruido). Si se observan los valores del inventario, se puede comprobar que el proceso 5 es el que representa un mayor consumo de combustible por metro cuadrado de baldosa clasificada y vendida. Este hecho explica sus impactos asociados: en el caso de recursos porque implica un gasto de combustible fósil no renovable (el gas natural) y en el resto de categorías de impacto, debido a las emisiones producidas en su combustión. En cuanto a la categoría del ruido, el proceso 2 de prensado es el proceso que contribuye mayoritariamente a dicha categoría de impacto.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

El término Mejores Técnicas Disponibles (MTDs – *Best Available Techniques BATs*) se define, en el marco de la IPPC, como *la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir la base de los Valores Límite de Emisión (VLEs).*

Los Documentos Técnicos de Referencia (BREF, *BAT Referente Document*) tienen como objetivo dar a conocer las MTDs, que sirven de referencia para el cálculo de los VLEs permitidos en los distintos tipos de instalaciones industriales.

En el año 2007 se publicó el borrador del BREF para el sector de la fabricación cerámica, y en él se recopilan unas 50 técnicas para la prevención y el control integrados de la contaminación en el sector cerámico.

A la vista de los resultados del apartado anterior, en esta comunicación van a analizarse, desde el punto de vista ambiental, algunas de las MTDs propuestas, aplicables a los procesos que se han identificado como crítico para las diferentes categorías de impacto.

– **MTD-1. Reducción de emisiones de polvo (partículas).**

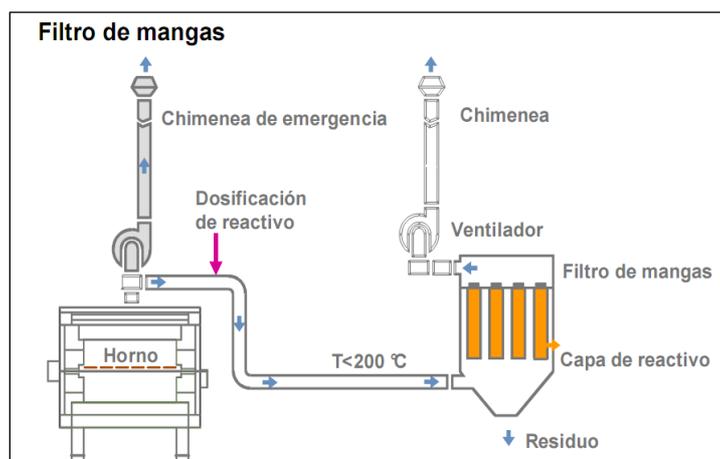
Con el fin de evitar las emisiones difusas de polvo procedentes de las zonas de cargas y almacenamiento de arcillas, es posible aplicar medidas de tipo cerramiento, aspiración y filtrado, que reducen las emisiones de partículas en las operaciones de movimiento de material que generan polvo y en las zonas de almacenamiento a granel del mismo.

Soluciones relacionadas con el encerramiento de los procesos, además de reducir las emisiones de partículas difusas. Esta medida, combinada con sistemas de aspiración y filtros de mangas llegan a alcanzar rendimiento cercanos al 99%, según se detalla en la Tabla 1.

– **MTD-2. Reducción de compuestos gaseosos.**

Con el fin de evitar las emisiones de contaminantes atmosféricos gaseosos (en particular: SO_x, NO_x, HF, HCl y VOC), pueden aplicarse técnicas relacionadas con la reducción de la entrada de precursores de contaminantes, la adición de aditivos ricos en calcio, optimización de los procesos, plantas de adsorción y absorción y postcombustión.

En este trabajo, nos vamos a centrar en los filtros de manga con absorbedor, que permiten reducir, además de las partículas, las emisiones de fluoruros, cloruros y sulfuros durante el proceso de cocción. Esta medida supone la adición de aditivos ricos en calcio, que sirven para “fijar” las emisiones de HF, HCl y SO_x.



Así pues, el sistema consiste en inyectar un aditivo sólido, para la retención de los contaminantes de los gases de escape del horno, en el conducto que lleva desde la chimenea de aspiración hasta el filtro de mangas (según muestra la Figura 2). Este reactivo se pulveriza en la propia conducción mediante un sistema neumático. Es importante que se introduzca antes del filtro de mangas, asegurando el tiempo de contacto necesario entre la fase gaseosa y la fase sólida. Los aditivos que pueden utilizarse son CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 o sosa cáustica, con diferente eficacia a la hora de reducir las emisiones (ver Tabla 1).

Figura 2. Esquema de filtro de mangas con absorbedor (BREF 2007).

– **MTD-3. Reducción del consumo de energía.**

Se trata de una mejora de la eficiencia energética, que consiste en la recuperación y aprovechamiento del excedente de calor de los hornos. En concreto, se realiza un aprovechamiento para la etapa del presecadero, incluida en el proceso unitario 5 de cocción. Las implicaciones ambientales de esta mejora están relacionadas con la reducción del consumo de energía y con la reducción de las emisiones de efecto invernadero.

– **MTD-4. Reducción del nivel de ruido.**

Existen posibilidades de reducción del ruido producido durante las diferentes etapas del proceso de fabricación de productos cerámicos. De forma genérica, la alternativa más viable es el encerramiento de los procesos/máquinas que presentan niveles de presión acústica más elevados. En nuestro caso concreto, el proceso de prensado es que el contribuye mayoritariamente al impacto, por lo que se realizará un encerramiento parcial de las prensas mediante paneles modulares fonoaislantes.

La Tabla 1 muestra de forma esquemática la descripción y los rangos de eficacia (rendimiento) de las MTDs que pueden ser de aplicación a los procesos identificados diferentes procesos unitarios de la fabricación de pavimento y revestimiento cerámico.

Tabla 1. Descripción de las MTDs aplicadas y su rendimiento.

Proceso unitario	Código	Descripción	Rendimiento
RECEPCIÓN ARCILLAS	MTD1	<ul style="list-style-type: none"> - Cerramiento completo - Aspiración - Filtro de mangas 	Partículas difusas: 99%
COCCIÓN	MTD2.1	- Depuración vía seca (Filtros adsorción: CaCO_3)	HF: >90% SO ₂ : 8-20% Partículas: 100%
	MTD2.2	- Depuración vía seca (Filtro adsorción: CaCO_3 <i>modificada</i> *)	HF: >99% SO ₂ : 43-85% Partículas: 100%
	MTD2.3	- Depuración vía seca (Filtro de mangas con adsorción: $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	HF: 80-96% SO ₂ : 7-80% Partículas: 90-99%
	MTD2.4	- Depuración vía seca (Filtro de mangas con adsorción: NaHCO_3)	HF: >95% SO ₂ : 98-99% Partículas: 99%
	MTD2.5	- Depuración vía húmeda con adsorción (agua/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ó CaCO_3)	HF: 92-99% SO ₂ : 20-98%
	MTD2.6	- Depuración vía húmeda con adsorción (soda/sosa cáustica NaOH)	HF: 98% SO ₂ : 90-98% Partículas: 100%
	MTD3	- Aprovechamiento de los gases de escape de los hornos para el subproceso de presecadero	Consumo energético < 8%
PRENSAD O	MTD4	- Encerramiento parcial de las prensas mediante paneles modulares fonoaislantes	Ruido > 50%

CaCO_3 *modificada**: Compuesto de CaCO_3 / $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Incrementa la porosidad y aumenta el contenido de hidróxido de calcio, por lo que aumenta la afinidad con los gases ácidos (Mayor adsorción de los HF).

5. RESULTADOS

MTD-1

La MTD-1 se aplica únicamente al proceso de recepción de tierras, realizándose un encerramiento de las operaciones de carga de la arcilla. Esta MTD tiene influencia únicamente en la categoría de impacto de partículas. La Figura 3 muestra, en valores absolutos, la contribución a la categoría de impacto Partículas del proceso de recepción de arcillas, con y sin MTD-1. La Tabla 2 muestra la mejora ambiental que esta MTD provoca sobre dicha categoría de impacto en la etapa 1 de recepción de arcilla y sobre el total.

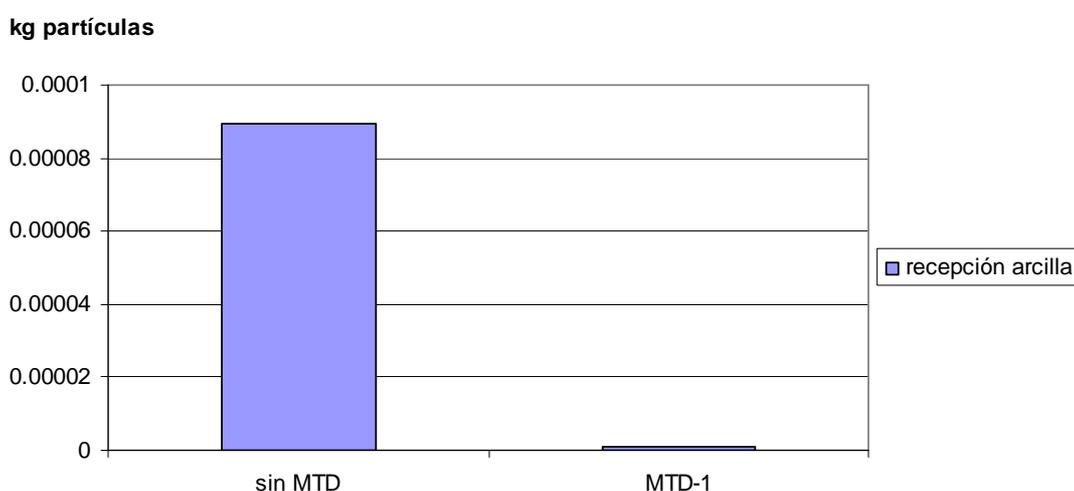


Figura 3. Comparativa del efecto ambiental que provoca la implantación de la MTD-1 sobre la categoría de impacto “Partículas”, para el proceso de recepción de arcillas.

Tabla 2. Porcentaje de mejora de la MTD-1 para la categoría de impacto: Partículas.

	Etapa 1 Recepción arcilla	Total
MTD-1	99.0	1.8

MTD-2

La MTD-2 tiene influencia en la etapa de cocción, reduciendo emisiones de partículas gracias al filtro de mangas, y de HF y SO_x gracias al absorbedor que se le añade. Esto provoca una reducción del indicador ambiental, principalmente, en la categoría de impacto de partículas, acidificación y fluoruros, respectivamente, según muestran las Figuras 4, 5 y 6, respectivamente. La Tabla 3 muestra los porcentajes de mejora que supone la incorporación de las MTDs-2 para el proceso de cocción y para el total, para las categorías de impacto que sufren una mayor reducción.

kg partículas

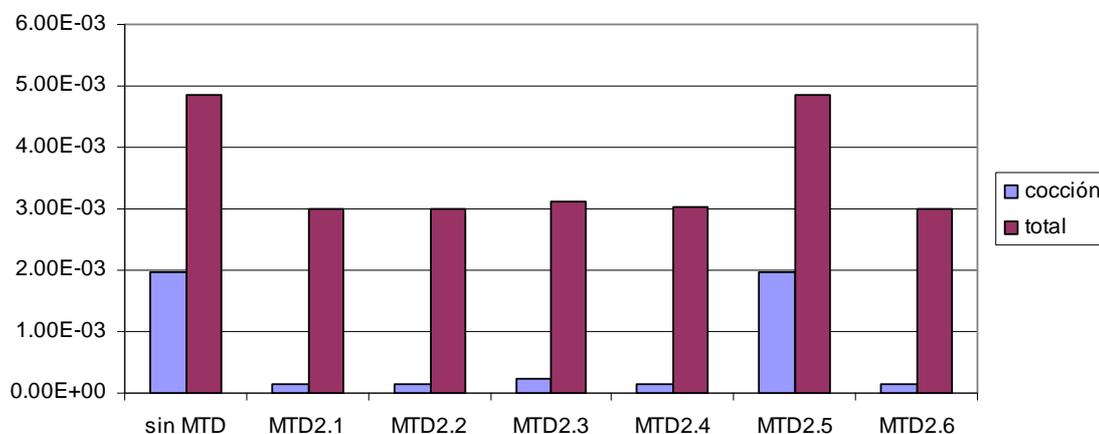


Figura 4. Comparativa del efecto ambiental que provoca la implantación de las MTDs-2 sobre la categoría de impacto “Partículas”, para el proceso de cocción y para el total.

kg eq. SOx

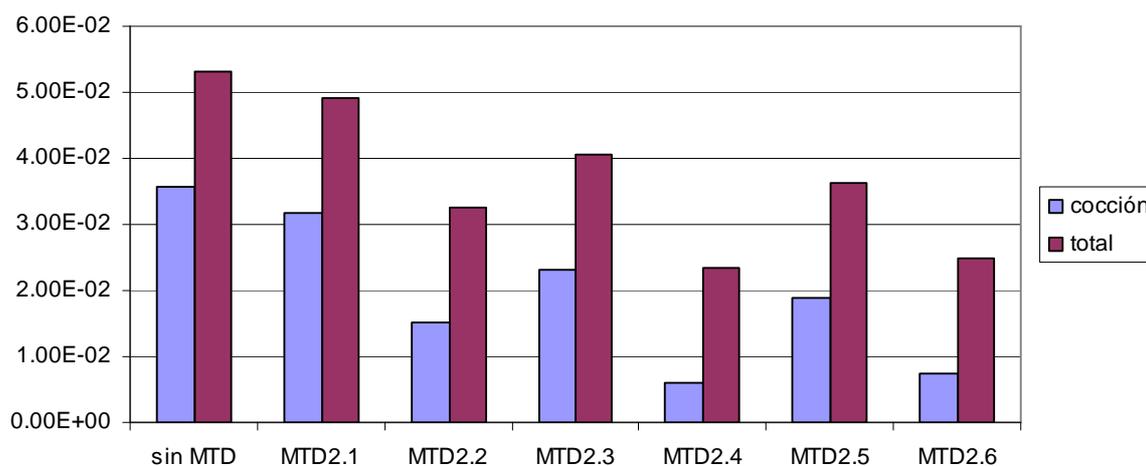


Figura 5. Comparativa del efecto ambiental que provoca la implantación de las MTDs-2 sobre la categoría de impacto “Acidificación”, para el proceso de cocción y para el total.

kg HF

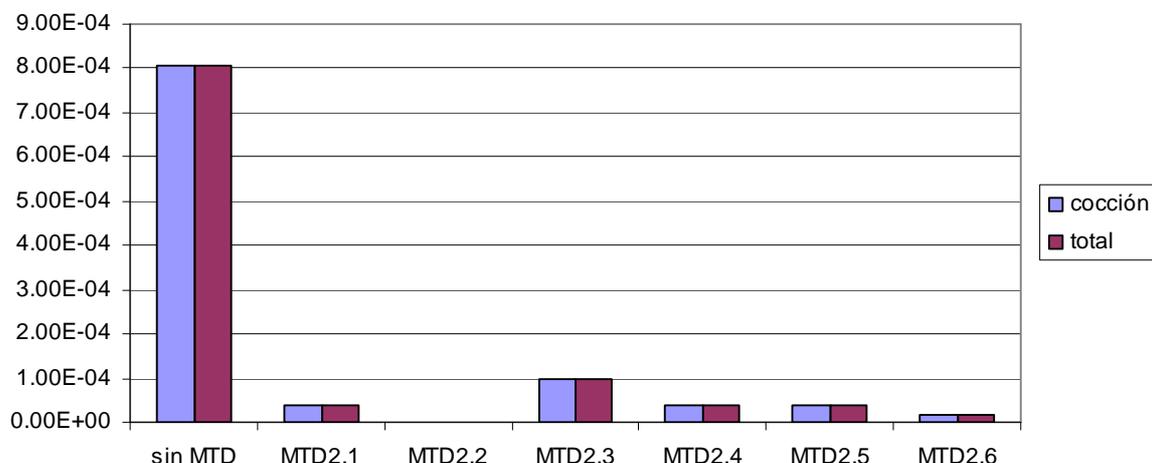


Figura 6. Comparativa del efecto ambiental que provoca la implantación de las MTDs-2 sobre la categoría de impacto “HF”, para el proceso de cocción y para el total.

Tabla 3. Porcentaje de mejora de las MTD-2 para la categoría de impacto: Acidificación.

	Acidificación		Partículas		HF
	Etapa 5 Cocción	Total	Etapa 5 Cocción	Total	Etapa 5: Cocción y total
MTD-2.1	11.18	7.50	92.95	37.91	95.00
MTD-2.2	57.43	38.50	92.95	37.91	99.95
MTD-2.3	35.40	23.74	88.30	36.01	88.00
MTD-2.4	83.34	55.88	92.02	37.53	95.00
MTD-2.5	46.96	31.49	-	-	95.00
MTD-2.6	79.13	53.05	92.95	37.91	98.00

MTD-3

Según se ha descrito anteriormente, la MTD-3 está encaminada a reducir el consumo de combustible y con ello, las emisiones que produce. Esta mejora tiene como objetivo recuperar el calor procedente de los gases de combustión que generan los hornos y reaprovecharlo para la alimentación de uno de los dos presecaderos que posee la instalación. La Tabla 4 muestra los porcentajes de mejora que supone esta MTD para cada categoría de impacto, para el proceso de cocción y para el total de etapas consideradas en este estudio.

Tabla 4. Porcentaje de mejora de las MTD-3 para todas las categorías de impacto.

Categoría de impacto	Etapa 5: cocción	Total
Agotamiento de recursos naturales	9.16	5.28
Acidificación	0.83	0.56
Eutrofización	3.91	1.48
Efecto invernadero	5.14	3.17
Destrucción de la capa de ozono	5.83	0.92
Smog fotoquímico	0.60	0.38
Partículas	0.68	0.28

MTD-4

La MTD-4 está encaminada a mejorar el indicador ambiental relacionado con el ruido. El nivel de exposición diario equivalente se encuentra cercano a los 90 dBA. Según muestra la Figura 2h, el proceso de prensado (4) es el proceso más crítico para esta categoría de impacto, cuyo nivel se encuentra cercano al límite marcado por la legislación española en materia de protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (Real Decreto 286 2006).

La solución adoptada para reducir el nivel de ruido de la línea de prensado es el encerramiento de las prensas con material de absorción, mediante paneles modulares fonoaislantes. Esta MTD permite reducir el nivel en el proceso de prensado, lo que provoca la reducción del nivel de exposición diario equivalente a 86.7 dBA, por lo que queda por debajo del límite de exposición exigido por la legislación española vigente.

6. CONCLUSIONES

Las MTDs estudiadas en el presente artículo fomentan una reducción del consumo energético, emisiones al aire y ruido.

La MTD-1 implica una mejora sustancial en cuanto a emisiones de partículas en la etapa de recepción de arcillas, aunque a nivel global el porcentaje de mejora es relativamente bajo, cercano al 2%. Por tanto, para reducir a nivel global la categoría de partículas, habría que combinar la MTD-1 con alguna de las mejoras propuestas en las MTDs-2.

La aplicación de las MTDs-2 implican una reducción del nivel de las emisiones de polvo (partículas) y emisiones de contaminantes atmosféricos gaseosos (en particular, SO_x, NO_x, CO_x, HF, HCl y VOC). Los resultados obtenidos dependen del tipo de filtro escogido y por tanto del tipo de vía de depuración.

La MTD-3 ha reducido considerablemente los valores de las categorías de impacto estudiadas, aumentando así el tanto por ciento de mejora en el proceso de cocción. Estos resultados dependen de la fuente de energía utilizada, la técnica de cocción y el método de recuperación del calor, con lo que se determina el comportamiento ambiental y la eficiencia energética del proceso.

Finalmente el ruido se ha reducido gracias a la MTD-4, siendo la etapa de prensado la que más crítica para esta categoría de impacto. Para su implantación se han utilizando paneles de aislamiento acústico en dicho proceso.



Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Generalitat Valenciana (proyecto GV/2007/094) y al Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto DPI2008-04926/DPI) la financiación aportada para la realización de este trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bovea MD, Saura U, Ferrero JL, Giner J (2007) Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. *Int J LCA* 12 (6):439-447

Bovea MD, Díaz-Albo E, Gallardo A, Colomer FJ, Carlos M (2008a) Cradle-to-gate study of ceramic tiles. Part I: Life cycle inventory. *Int J LCA* (submitted)

Bovea MD, Díaz-Albo E, Serrano J, Bruscas GM (2008b) Cradle-to-gate study of ceramic tiles. Part II: Life cycle impact assessment. *Int J LCA* (submitted)

Bref (2006) Reference document on best available techniques in the ceramic manufacturing industry. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, Spain

Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control

Directive 2008/1/EC of the European Parliament and the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control

ISO 14040 (2006) Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines

ISO 14044 (2006) Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework

Guinee J (2001) Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. Part 2b: Operational Annex (Final report)

Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido