

# Sector azulejero y comercio de emisiones: reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, benchmarking europeo

A. MEZQUITA<sup>(1)</sup>, E. MONFORT<sup>(1)</sup>, V. ZAERA<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE), Universitat Jaume I. Castellón. España.

<sup>(2)</sup> Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCEM)

La fabricación de baldosas cerámicas produce la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, fundamentalmente en dos procesos diferentes: en la combustión del combustible utilizado, que en la industria española es mayoritariamente gas natural, y en la descomposición de los carbonatos presentes en la mezcla de materias primas utilizada para fabricar algunos productos. En el presente trabajo, se realiza un repaso a las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en las diferentes etapas del proceso de fabricación, atendiendo a los diferentes productos fabricados. La reducción de emisiones en el sector de fabricación de baldosas pasa por abordar medidas de ahorro energético en los equipos utilizados, pues no se prevén a corto plazo cambios en la tecnología empleada. La legislación relativa al comercio de emisiones ha cambiado recientemente, y las modificaciones realizadas afectan directamente al sector cerámico, pues se prevé que más del 90 % de las empresas fabricantes de baldosas estarán afectadas por el sistema de comercio de emisiones.

*Palabras clave: baldosas cerámicas, emisiones de CO<sub>2</sub>, ahorro energético, benchmarking*

## Ceramic tiles manufacturing and emission trading scheme: reduction of CO<sub>2</sub> emissions, european benchmarking

During the manufacturing of ceramic tiles, carbon dioxide is released into the atmosphere. These CO<sub>2</sub> emissions have two different origins: the combustion of fuel, which is mainly natural gas in the Spanish ceramic industry, and the decomposition of carbonates in the mixture of raw materials used in the manufacture of some products. In this work, a review of the CO<sub>2</sub> emissions produced at the different stages of the manufacturing process is carried out, attending to the different manufactured products. Energy saving measurements would need to be applied to reduce carbon dioxide emissions of the equipment used nowadays, as changes in technology are not expected in the near future. Legislation on emissions trading has recently changed, and these changes directly affect the ceramic sector, giving that over 90% of the tile manufacturing factories could be affected by the emissions trading scheme.

*Keywords: ceramic tiles, CO<sub>2</sub> emissions, energy savings, benchmarking*

## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas consta de diversas etapas. Las etapas del proceso dependen del producto a fabricar, aunque existen una serie de transformaciones que son comunes, como son:

- Preparación de las materias primas. Se realiza una selección de las materias primas a utilizar, las cuales se dosifican de la manera adecuada para obtener las características deseadas en el producto. Para obtener productos moldeados por prensado, la mezcla de materias primas se somete a una molienda, que puede realizarse vía húmeda o vía seca, siendo la preparación vía húmeda la más extendida debido a las propiedades del gránulo final obtenido. En el caso de productos moldeados por extrusión, la preparación de las materias primas consiste en mezclar y amasar las materias primas con agua, para obtener una masa plástica moldeable.
- Conformado de la pieza. Puede realizarse por prensado, colado o extrusión, aunque el proceso más

implantado actualmente es el prensado unidireccional en prensas hidráulicas.

- Secado. Los soportes ya conformados se someten a un ciclo de secado, para eliminar la humedad que contienen. Dependiendo del proceso de conformado, las piezas tienen un mayor o menor contenido en humedad.
- Esmaltado y decoración. Una vez secas, las piezas se esmaltan y decoran. Este proceso está formado por diversas aplicaciones, que dependen del modelo final deseado.
- Cocción. La etapa final siempre es una etapa de cocción en la que el producto crudo se somete a un ciclo térmico en el que se alcanzan temperaturas entre 1100 y 1200 °C, dependiendo del producto fabricado.

Cuando la cocción del soporte y del esmalte se produce simultáneamente, el proceso de fabricación se denomina monococción. Si por el contrario se producen por separado, el proceso se denomina bicocción. En este caso, se cuece primero

el soporte, posteriormente se decora, y finalmente se somete a un segundo ciclo térmico para cocer el esmalte.

La fabricación de piezas especiales sigue el proceso descrito, aunque en algunos casos, una vez cocido el esmalte, se incorporan determinadas aplicaciones para lograr las propiedades estéticas deseadas en las piezas. Estas nuevas aplicaciones decorativas hacen necesaria una tercera cocción de las piezas (estas piezas se denominan habitualmente de tercer fuego).

En la figura 1 se muestra esquemáticamente el proceso de fabricación de baldosas cerámicas más utilizado en la actualidad.

La fabricación de baldosas cerámicas es una de las actividades a las que aplica la legislación europea relativa al comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (ver Anexo I de la Directiva 2003/87/CE) <sup>(1)</sup>.

En la actualidad, la mayoría de empresas cerámicas españolas no superan los umbrales para estar afectadas. De un total de más de 200 instalaciones, únicamente 36 forman parte del sistema de comercio de emisiones, 8 de ellas por superar los umbrales exigidos al proceso de horneado de productos cerámicos, y las restantes por tener instalaciones de combustión de potencia superior a 20 MW.

El documento que definirá el nuevo marco legal en materia de comercio de emisiones de gases de efecto invernadero, a partir del año 2013, es la Directiva 2009/29/CE. En el caso particular de las instalaciones de fabricación de baldosas cerámicas, la nueva legislación contempla un único umbral para todas las instalaciones de fabricación de productos cerámicos por horneado, de forma que todas aquellas instalaciones con una capacidad productiva superior a 75 t/día están afectadas por el sistema del comercio de emisiones <sup>(2)</sup>. En esta nueva situación, se estima que alrededor del 90 %

de las instalaciones existentes en España de fabricación de baldosas cerámicas entrarán a formar parte del sistema de comercio de emisiones.

Las emisiones de dióxido de carbono originadas en una instalación industrial, incluidas en el sistema de comercio de emisiones, se clasifican en emisiones de combustión y emisiones de proceso <sup>(3)</sup>. Las emisiones de combustión son las que se producen durante la reacción exotérmica de un combustible con oxígeno. Las emisiones de proceso son las que se producen como resultado de las reacciones intencionadas y no intencionadas entre sustancias o su transformación.

Durante la fabricación de baldosas cerámicas, se originan emisiones de combustión en todas las etapas en las que se necesita el aporte de energía térmica <sup>(4)</sup>. Las principales son las siguientes:

- Secado por atomización de la suspensión de materias primas.
- Secado de los soportes crudos recién conformados.
- Cocción de las piezas.

El aporte de energía térmica al proceso se realiza mediante la combustión de gas natural, cuyo factor de emisión de dióxido de carbono se cifra en 56,1 g CO<sub>2</sub>/MJ. Las reacciones que tienen lugar durante la combustión del gas natural, considerando que está compuesto principalmente por metano y etano, se muestran en las ecuaciones 1 y 2.

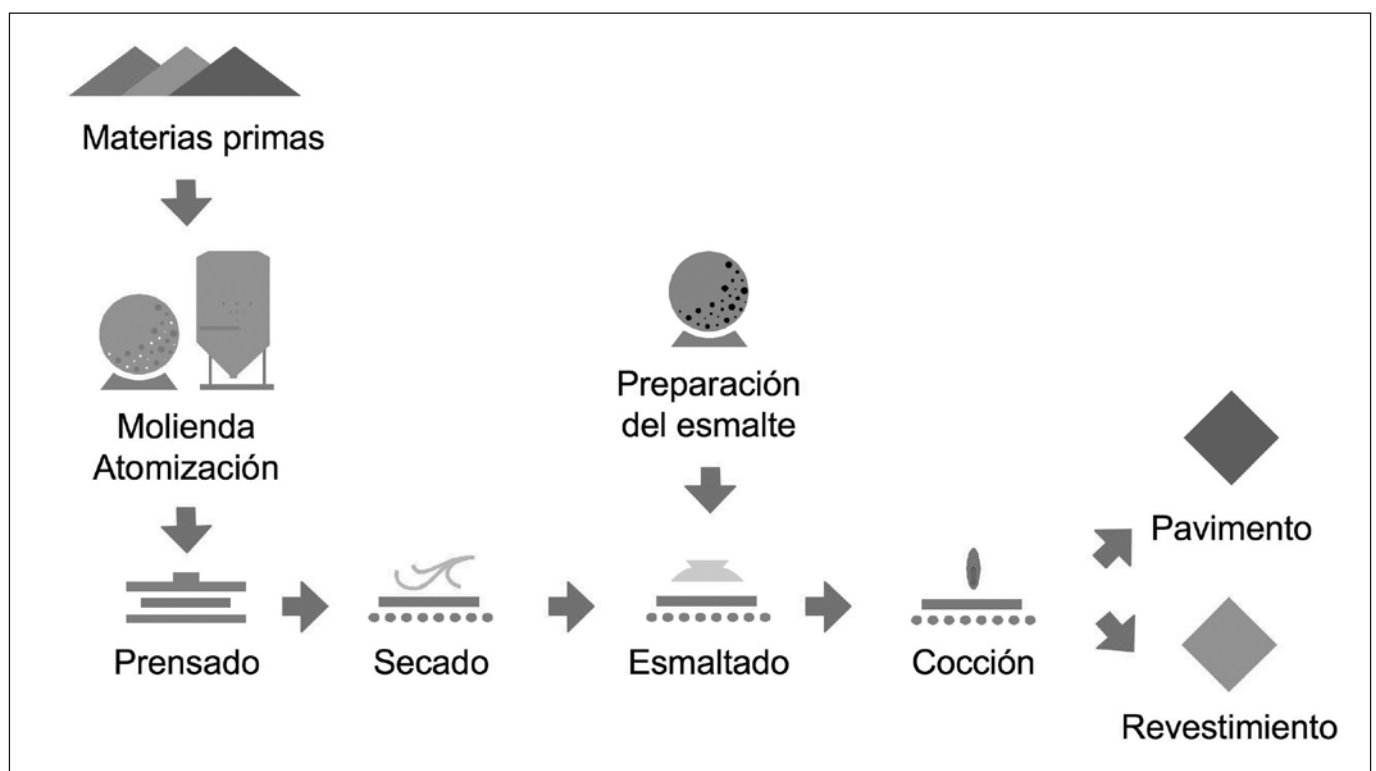
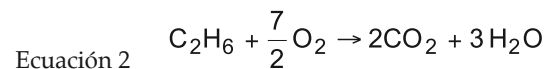
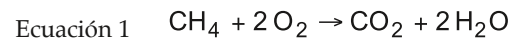
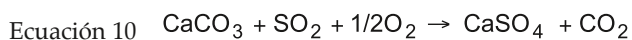
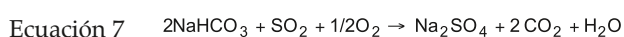


Figura 1. Proceso de fabricación de baldosas cerámicas

Las emisiones de proceso se producen por la descomposición de los carbonatos de calcio y de magnesio presentes en las composiciones de materias primas utilizadas en la fabricación de productos porosos<sup>(5)</sup>. Las reacciones de descomposición se muestran en las ecuaciones 2 y 3.



Asimismo, en caso de emplearse reactantes tipo carbonatos o bicarbonatos para la depuración de flúor, cloro y/o azufre de los gases de combustión, también se produce la emisión de CO<sub>2</sub> como consecuencia de la descomposición de los mismos en el sistema de depuración. A continuación se muestran las reacciones químicas que se producen en la depuración de flúor, cloro y azufre al utilizar como reactivos bicarbonato de sodio y carbonato de calcio<sup>(6)</sup>.



Así pues, en la fabricación de baldosas se producen emisiones de dióxido de carbono en varias etapas del proceso, por combustión y por descomposición de los carbonatos. En la tabla 1 se muestra cuál es el origen de las emisiones en cada etapa del proceso en la que se producen.

TABLA 1. ORIGEN DE LAS EMISIONES EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS.

| Etapa del proceso  | Origen de las emisiones                   |
|--------------------|---|
| Atomización        | Combustión                                |
| Secado de soportes | Combustión                                |
| Cocción            | Combustión, proceso y depuración de gases |

Si se utilizan combustibles y materias primas con bajos contenidos en contaminantes ácidos (sobre todo azufre), la emisión de CO<sub>2</sub> debida a los sistemas de depuración en la fase de cocción suele ser muy baja comparada con los otras fuentes (<0.3%), por lo que en los sucesivos se despreciará. Además, el reactivo más utilizado en estos sistemas suele ser hidróxido cálcico, Ca(OH)<sub>2</sub> que no produce una emisión de CO<sub>2</sub> directa durante el proceso de depuración.

## 2. EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de baldosas se muestran en la tabla 2. Los datos

mostrados corresponden a las emisiones originadas por la combustión de gas natural en cada una de las etapas del proceso, así como a las emisiones de la etapa de cocción, desglosadas por tipo de producto: azulejo (A), gres esmaltado (G) y gres porcelánico (P).

Las emisiones de proceso corresponden sólo a la descomposición de carbonatos durante la cocción.

TABLA 2. EMISIONES ESPECÍFICAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS (KG CO<sub>2</sub>/T COCIDO)

| Etapa del proceso  | Emisiones de combustión | Emisiones de proceso | TOTAL  |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------|
| Atomización        | 93                      | ---                  | 93     |
| Secado de soportes | 23                      | ---                  | 23     |
| Cocción            | A: 155                  | A: 62                | A: 217 |
|                    | G: 132                  | G: 15                | G: 147 |
|                    | P: 147                  | P: <1                | P: 147 |
| TOTAL              | A: 271                  | A: 62                | A: 331 |
|                    | G: 248                  | G: 15                | G: 263 |
|                    | P: 263                  | P: <1                | P: 263 |

Las emisiones de combustión van ligadas al consumo de energía térmica, por lo que son mayores en las etapas con mayor consumo de energía. La etapa donde se originan más emisiones de combustión es la cocción, seguida del secado de las barbotinas por atomización. La etapa con menor consumo energético, el secado de soportes, es donde menor cantidad de emisiones se producen.

Las emisiones de combustión en las etapas de atomización y secado de soportes corresponden al valor medio obtenido en la fabricación de los diferentes productos, pues en estas dos etapas no se encuentran diferencias importantes en el consumo de energía entre un producto u otro. En la etapa de cocción, sí se aprecian diferencias de consumo de energía entre los productos, por lo que se desglosan las emisiones de combustión en función del producto fabricado.

Las emisiones de proceso específicas son mayores en la fabricación de azulejo que en la fabricación de baldosas de gres, especialmente si son de gres porcelánico. Esto es debido a que las composiciones de azulejo poseen un elevado contenido en carbonatos (entre el 10 y el 13 %), frente a las de gres (3-4 % de carbonatos) y a las de gres porcelánico (contenido en carbonatos < 0,5 %).

En total, las emisiones de dióxido de carbono originadas en el proceso de fabricación de baldosas se sitúan entre 263 y 331 kg CO<sub>2</sub>/t cocido, dependiendo del producto fabricado, siendo mayores cuando se fabrican productos porosos.

Si estas emisiones se expresan por unidad de superficie cocida (m<sup>2</sup>), se obtiene que las emisiones originadas en la fabricación de gres porcelánico son similares a las producidas en la fabricación de azulejo poroso. Esto es debido al menor peso específico de las baldosas de azulejo, frente al de las baldosas gresificadas. En las figuras 2 y 3 se muestran las emisiones específicas por tipo de producto referidas a la masa y a la superficie de producto cocido.

Las emisiones específicas de dióxido de carbono en el sector de fabricación de baldosas han disminuido un 54 % en los últimos 23 años, tal y como se muestra en la figura 4.

Esta reducción ha sido posible debido a que, desde principios de la década de los 90, se han producido una serie de cambios tecnológicos orientados a realizar un uso más eficiente de la energía <sup>(7)</sup>. Las modificaciones más importantes han sido las siguientes:

- Cambio de combustible (de fuelóleo a gas natural)
- Utilización de hornos de rodillos monoestrato, en lugar de hornos túnel con material apilado.
- Empleo creciente de sistemas de cogeneración (producción conjunta de energía eléctrica y térmica). Localmente estos sistemas implican un incremento del consumo de combustible, pero tienen un rendimiento energético mayor que las centrales convencionales de producción de energía eléctrica por el aprovechamiento de la energía térmica contenida en los gases de escape en el proceso productivo. En la actualidad el uso de sistemas de cogeneración es generalizado, y alcanza prácticamente la máxima capacidad productiva.

En cuanto a las tendencias futuras, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- En lo relativo al tipo de baldosas fabricadas, éstas dependen de factores estéticos, modas y uso del producto, en los últimos años se ha observado por una parte una tendencia a producir formatos cada vez mayores lo que normalmente ocasiona un aumento del espesor y de la masa específica, y simultáneamente, para compensar este efecto, se han abordado numerosos proyectos para optimizar el espesor de piezas (con tendencia a su reducción), con lo que el peso específico medio (kg/m<sup>2</sup>) se ha mantenido relativamente constante. Es importante destacar en este sentido, una tendencia detectada últimamente a producir baldosas gresificadas de bajo espesor, con una implantación de momento reducida, pero con un incremento progresivo destacable, si esta

tendencia se mantiene puede producir una ligera reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los próximos años, por lo que desde este punto de vista sería una acción positiva.

- En cuanto al proceso de fabricación, la tendencia a medio plazo, es la optimización de los consumos con mejoras en equipos, control y medidas de ahorro energético, aunque las acciones en este sentido están bastante limitadas, dado que se ya se han realizado esfuerzos en esta línea en los últimos años <sup>(8) (9)</sup>. Una reducción drástica de emisiones sólo sería posible con cambios tecnológicos importantes en los equipos de secado, cocción y/o con la sustitución de las fuentes de energía. El gran reto de la industria cerámica es reducir los consumos energéticos y lograr implementar en el proceso fuentes de energía renovables <sup>(10)</sup>.

En términos absolutos, se estima que en el año 2007, las emisiones absolutas de dióxido de carbono en el sector de fabricación de baldosas ascendieron a 4,090 millones de tCO<sub>2</sub>.

La distribución por origen de las emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas se muestra en la figura 5. La gran mayoría de las emisiones (más de un 92 %) se producen como consecuencia de la combustión de gas natural; un 26 % se originan en los sistemas de cogeneración (motores y turbinas de gas), y el 66 % restante en los equipos del proceso (hornos, secaderos y atomizadores). Las emisiones originadas por la descomposición de los carbonatos suponen el 8 % del total.

### 3. REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas implica la disminución del consumo de energía térmica y el aumento de la eficiencia energética de las instalaciones. En la etapa de cocción, existe también la posibilidad de modificar la composición de las materias primas para reducir el contenido en carbonatos y por tanto las emisiones.

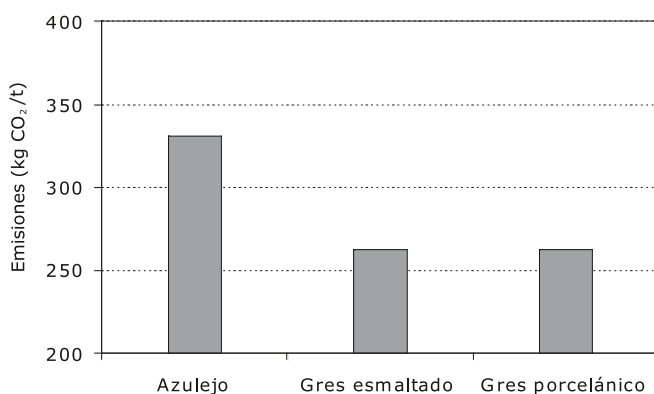


Figura 2. Emisiones específicas por unidad de masa y por producto.

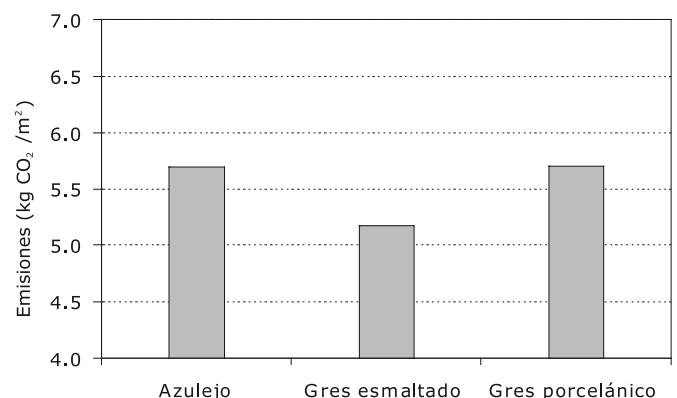


Figura 3. Emisiones específicas por unidad de superficie y por producto.

A continuación se describen brevemente algunas de las acciones de reducción de emisiones que pueden abordarse en el proceso actual de obtención de baldosas, desglosadas por etapa del proceso <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup>.

### 3.1 Secaderos por atomización

La reducción de emisiones en el secado de suspensiones cerámicas por atomización implica la reducción del consumo de energía térmica.

Los atomizadores son instalaciones que requieren un gran aporte de energía en forma de gases calientes a una temperatura situada entre 500 y 600 °C. En estos equipos, la suspensión a secar se pulveriza en forma de pequeñas gotas que, al entrar en contacto con los gases calientes, se secan rápidamente. El material seco cae por gravedad hacia la parte inferior del atomizador, donde se recoge por medio de unas cintas transportadoras y es conducido a los silos de almacenamiento. Los gases de secado, cargados de humedad y a baja temperatura, se extraen por aspiración del atomizador y, tras ser depurados, se expulsan a la atmósfera.

Las principales acciones de ahorro energético que pueden implantarse en estas instalaciones son:

- Incremento del contenido en sólidos de la suspensión a secar.
- Aumento de la temperatura de los gases de secado.
- Aumento de la temperatura de la barbotina.
- Sustituir la molienda vía húmeda por la molienda vía seca.

#### 3.1.1 INCREMENTO DEL CONTENIDO EN SÓLIDOS DE LA SUSPENSIÓN

Al aumentar el contenido en sólidos de la suspensión se reduce la cantidad de agua a evaporar, disminuyendo en consecuencia las necesidades de energía en el proceso.

El aumento de la densidad de la suspensión se logra optimizando su estado de desfloculación. El ahorro económico dependerá tanto del aumento del contenido en sólidos, como del aumento de consumo de desfloculante y del incremento de producción.

En un atomizador de tamaño medio, un aumento del contenido en sólidos del 4 % conlleva un ahorro energético del 23 %, y un aumento del 10 % de la producción.

#### 3.1.2 OPTIMIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE SECADO

Al aumentar la temperatura de los gases de secado, es posible reducir el aporte de energía al atomizador, pues aumenta la eficiencia del proceso de secado. Esta reducción del consumo energético se debe a que al disminuir el caudal de gases, se reducen las pérdidas de energía a través de la chimenea, si se mantiene la temperatura de los gases de salida.

En la práctica industrial, normalmente esta acción se aprovecha para aumentar la eficiencia del proceso, de modo que al aumentar la producción de la instalación, se obtiene una reducción del consumo específico de energía.



Figura 4. Evolución de las emisiones específicas de dióxido de carbono

### 3.1.3 AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA BARBOTINA

Cuanto más caliente entre la suspensión al atomizador, menor será el aporte de energía requerido para secarla.

A igualdad del resto de parámetros, un aumento de 5 °C supone un ahorro de energía del 0,8 %.

Dado que aumentar la temperatura de la suspensión es difícil, dada su densidad y comportamiento reológico, se propone mantener la temperatura que tiene en la salida de los molinos durante su procesamiento.

Medidas industriales realizadas en instalaciones de obtención de granulo atomizado para composiciones de gres porcelánico, han puesto de manifiesto que la temperatura de la suspensión disminuye bastante desde que sale de los molinos continuos hasta que se introduce en el atomizador. Las medidas experimentales realizadas indican que las mayores pérdidas energéticas se producen durante el transporte de la suspensión desde los molinos hasta las balsas de almacenamiento, situadas por debajo del nivel del suelo, y no durante el tiempo que ésta permanece en las balsas.

### 3.1.4 CAMBIAR LA MOLIENDA VÍA HÚMEDA POR LA MOLIENDA VÍA SECA

El cambio de un proceso de molturación vía húmeda a vía seca supone una disminución del consumo de energía térmica, y por tanto de las emisiones de dióxido de carbono, pues evita el secado por atomización.

Desde el punto de vista del proceso, hay que resaltar que las granulometrías que se obtienen por el proceso vía seca dificultan la obtención de algunos productos, que requieren granulometrías finas para poder fabricar piezas de grandes dimensiones. Sin embargo, actualmente se están desarrollando nuevas técnicas de molturación vía seca que proporcionan granulometrías más adecuadas a las necesidades de las empresas.

Además, el proceso de molienda vía húmeda presenta la ventaja de que permite reciclar los fangos ocasionados en el proceso de fabricación de las baldosas, minimizando el impacto ambiental del mismo, recuperación que no sería posible realizar si la molienda se realizara vía seca.

## 3.2 Secaderos de soportes

Al igual que en el caso anterior, la reducción de emisiones en el secado de soportes implica la reducción del consumo de energía térmica.

Los secaderos de baldosas cerámicas se emplean para eliminar el agua contenida en los soportes crudos conformados por prensado. El objetivo de la operación es doble: eliminar el agua del material, y calentar las piezas hasta la temperatura adecuada para que el posterior proceso de esmaltado y decoración se realice adecuadamente.

Habitualmente, el secado de los soportes se realiza en secaderos continuos verticales, en los que el aporte de calor se realiza mediante la combustión de gas natural en quemadores vena de aire. Los gases calientes, tras entrar en contacto con las piezas, se extraen del secadero: una parte se recircula, y el resto se expulsa a la atmósfera a través de la chimenea.

Las principales acciones de ahorro energético que pueden implantarse en estas instalaciones son:

- Optimización del caudal de chimenea
- Optimización del caudal de gases recirculados.
- Recuperación de calor procedente de otros equipos.

### 3.2.1 OPTIMIZACIÓN DEL CAUDAL DE CHIMENEA

La realización de balances energéticos en secaderos de soportes muestra que las mayores pérdidas de energía en los secaderos se producen a través de la chimenea. La reducción de las pérdidas de energía conlleva una disminución del consumo energético, por lo que una de las medidas de ahorro en los secaderos consiste en reducir el caudal de gases que se extraen del secadero <sup>(13)</sup>.

Los trabajos realizados en algunos secaderos verticales muestran que una reducción en el caudal de gases de chimenea del 40 % conduce a un ahorro de energía del 13 %, aunque esta acción hay que realizarla con cuidado pues se modifican ligeramente las condiciones de salida de las piezas (aumenta su humedad y se reduce su temperatura). Es importante, por tanto, alcanzar una situación de equilibrio entre todos los factores implicados.

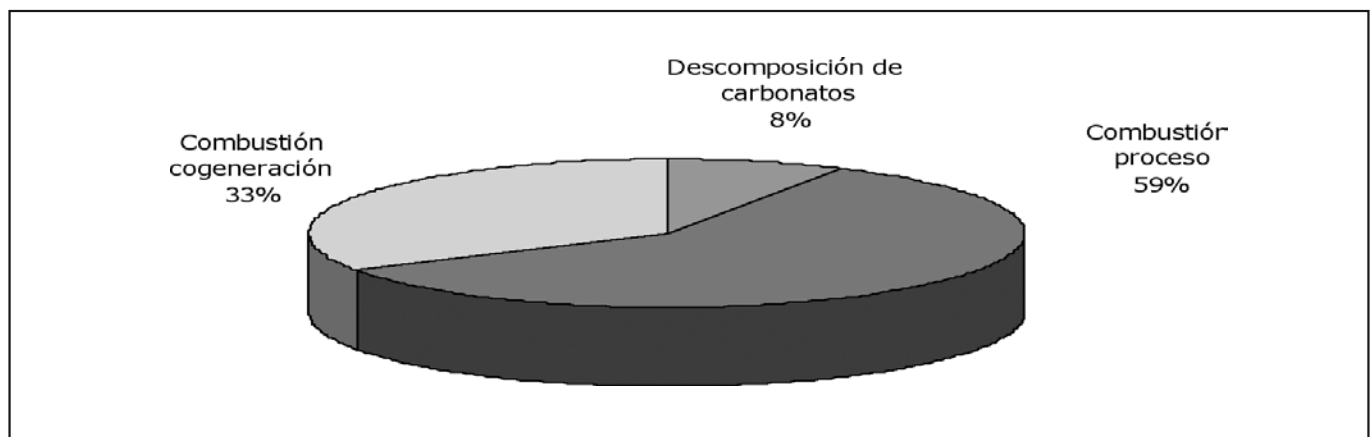


Figura 5. Origen de las emisiones de dióxido de carbono en el sector cerámico de baldosas.

### 3.2.2. OPTIMIZACIÓN DEL CAUDAL DE GASES RECIRCULADOS

Los gases que se recirculan en los secaderos se utilizan como comburente en los quemadores. Al reducir su caudal (por ejemplo mediante un variador de frecuencia), disminuye el consumo de gas natural <sup>(13)</sup>.

En un secadero vertical, se ha obtenido que una reducción en el caudal de recirculación del 20 %, conduce a un ahorro de combustible del 19,2 %, sin modificar ningún parámetro de funcionamiento adicional en los quemadores. En estas condiciones de trabajo, la humedad residual de las piezas aumenta y se reduce su temperatura. Si se desea mantener la temperatura de las piezas constante, el ahorro logrado es del 11 %, pues para ello es necesario incrementar la temperatura de trabajo de los quemadores.

### 3.2.3 RECUPERACIÓN DE CALOR PROCEDENTE DE OTROS EQUIPOS

Los gases residuales procedentes de otros equipos pueden emplearse como comburente en los quemadores del secadero. El caso más habitual consiste en utilizar los gases de escape de un sistema de cogeneración como gases de secado.

Un ejemplo de esta acción de ahorro energético se ha llevado a cabo en una empresa del sector, en la que se han recuperado gases procedentes de un sistema de cogeneración en una instalación de secado de baldosas formada por varios secaderos verticales, en los que el combustible utilizado es gas natural. El ahorro energético alcanzado en la instalación ha sido superior al 60 %.

## 3.3 Hornos de cocción

En el caso de los hornos de cocción de baldosas, existen dos vías para la reducción de emisiones: la reducción del consumo energético y la modificación de la composición de materias primas, para eliminar la presencia de carbonatos.

Los hornos de baldosas cerámicas son hornos monoestrato de rodillos, en los que el aporte de calor se realiza a través de la combustión de gas natural en los quemadores. Éstos se encuentran distribuidos a lo largo de las paredes del horno, por encima y por debajo del plano delimitado por los rodillos. Los gases de combustión salen del horno por la chimenea de humos, situada en la entrada del horno, mientras que los de enfriamiento salen por otra chimenea, ubicada en la zona de enfriamiento del horno.

Por ser las instalaciones con mayor consumo de energía térmica, es en ellas donde tiene más interés la aplicación de medidas de ahorro energético.

### 3.3.1 REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

#### 3.3.1.1 Optimización de las variables del proceso

En la etapa de cocción hay diversos parámetros que tienen influencia en el consumo de energía, y están relacionados entre sí <sup>(14)</sup>.

Uno de ellos es la presión estática en la cámara de combustión, y más concretamente la posición del punto de máxima presión, pues determina el sentido de circulación

de los gases. Es importante evitar que los gases calientes, procedentes de la zona de cocción pasen a enfriamiento. La mejor situación es aquella en la que el punto de presión máxima está en la zona de enfriamiento, con lo que no hay pérdida de gases calientes y se aprovechan los gases de enfriamiento en el horno.

La combustión del gas natural en los quemadores se realiza con exceso de aire, es decir, se introduce más aire del que sería necesario para quemar el gas natural aportado. Esto es así para asegurar la combustión completa del gas natural y permitir que la atmósfera del horno sea oxidante. De este modo se consigue que se completen las reacciones de oxidación de la materia orgánica presente en las piezas y en las aplicaciones decorativas.

El perfil de presiones estáticas tiene influencia en el contenido en oxígeno en el interior del horno, pues si parte de los gases de enfriamiento se aprovechan en las zonas de cocción y enfriamiento, estarán a su vez aportando oxígeno a la cámara de combustión.

Por tanto, si se observa un contenido en oxígeno elevado, y se constata el paso de aire de enfriamiento a cocción, se plantea la opción de reducir el caudal de aire comburente en los quemadores para reducir el exceso de aire, y por tanto el consumo de gas natural.

El ahorro alcanzado depende de la situación inicial, y de la disminución del caudal de aire realizada, pero algunos trabajos llevados a cabo en hornos del sector muestran que mediante el ajuste de estos parámetros se pueden alcanzar ahorros en torno al 5 %.

#### 3.3.1.2 Acciones de mejora de la instalación

Los hornos de fabricación de baldosas pierden entre un 10 y un 20 % de la energía aportada a través de las superficies del horno. Cualquier acción de mejora del aislamiento del horno que reduzca las fugas de calor redundará en una disminución del aporte de energía al horno.

Otra opción de ahorro energético en los hornos consiste en precalentar el aire de combustión. Esto se realiza habitualmente realizando un intercambio calor en la zona de enfriamiento del horno, o bien utilizando como aire comburente parte de los gases de enfriamiento que se extraen por la chimenea.

Esta posibilidad ya la incorporan actualmente los hornos nuevos, y muchos hornos ya existentes han incorporado los elementos necesarios para poder utilizar aire caliente. La temperatura del aire de combustión se sitúa habitualmente entre 120 y 200 °C.

Considerando un aporte de aire de combustión de 17,5 Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup> de gas natural, se estima un ahorro energético en el horno del 6 % al calentar 100 °C el aire comburente.

### 3.3.2 MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono del proceso implica la modificación de la mezcla de materias primas de las composiciones que tienen carbonatos.

Para eliminarlos, una posibilidad es sustituirlos por wollastonita, un silicato de calcio que aporta el óxido de calcio al soporte que aportan los carbonatos.

Las ventajas de sustituir los carbonatos por wollastonita, son que se eliminan las emisiones de dióxido de carbono, se reduce la entalpía de reacción de la composición y se reduce el

ciclo de cocción, con lo que aumenta la producción del horno, reduciéndose de este modo el consumo específico de energía. En la tabla 3 se muestra comparativamente el calor de reacción de una composición de azulejo de soporte de color blanco, formulada con carbonato de calcio y con wollastonita <sup>(15)</sup>.

TABLA 3. CALOR DE REACCIÓN DE UNA COMPOSICIÓN DE AZULEJO, CON CARBONATOS Y CON WOLLASTONITA.

| Composición             | Calor de reacción (kJ/kg) |
|-------------------------|---------------------------|
| Con carbonato de calcio | 445                       |
| Con wollastonita        | 305                       |

El principal inconveniente es el coste de esta materia prima, y el hecho de que, como todas las modificaciones de la composición, exige una revisión de su procesado a lo largo de todas las etapas del proceso.

## 4. BENCHMARKING EUROPEO

### 4.1 Ámbito de aplicación actual

En la actualidad para que una empresa de baldosas esté incluida en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión, debe cumplir tres condiciones que son las que se incluyen en el epígrafe 8 de la Ley 1/2005 que transpone la Directiva europea <sup>(1)</sup>.

Estas condiciones son:

- Tener una capacidad de producción superior a 75 t/día, es decir, que con los hornos que tenga instalados puedan fabricar más de 75 toneladas de producto acabado, independientemente de que los produzcan o no. Esto supone tener una capacidad de producción de 3500 - 4500 m<sup>2</sup>/día dependiendo del peso medio del producto fabricado.
- Tener una capacidad de horneado superior a 4 m<sup>3</sup> de horno, esta condición la cumplen prácticamente todos los hornos industriales.
- Tener una densidad de carga por horno superior a 300 kg/m<sup>3</sup>, esta condición sólo la pueden alcanzar los hornos túnel que son los menos extendidos en el sector, ya que la tecnología mayoritariamente utilizada son los hornos de rodillos que no alcanzan el umbral, de hecho están muy por debajo.

Por otro lado, las empresas del sector que tienen atomizadores y cogeneraciones, ya sean independientes o de ciclo completo, también pueden estar afectadas si superan 20 MW de potencia térmica nominal instalada, independientemente de que la utilicen o no.

Por tanto, las empresas del sector con ciclo completo, deben analizar las dos situaciones, si cumplen los 3 umbrales propios de la fabricación de baldosas, o si sus equipos de combustión superan los 20 MW de potencia.

### 4.2 Ámbito de aplicación a partir de 2013

La nueva Directiva <sup>(2)</sup> modifica el epígrafe correspondiente al sector cerámico dejándolo como sigue:

*“Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día.”*

Se eliminan las dos últimas condiciones, quedando sólo la de capacidad de producción, siendo este un umbral de corte muy bajo, y por tanto la mayoría de las instalaciones del sector quedarán afectadas por la nueva Directiva a partir de 2013. Para resumir, todas las instalaciones afectadas por la Directiva IPPC, que quizás sea más conocida, lo estarán por comercio de emisiones.

Por otro lado, se mantiene el epígrafe de instalaciones de combustión con potencia superior a 20 MW, pero en este caso en uno de los puntos del Anexo I de la Directiva se especifica que *“si una unidad se destina a una actividad para la cual el umbral no se expresa en potencia térmica nominal total, el umbral de esa actividad será prioritario a efectos de la decisión sobre la integración en el régimen comunitario.”*

Con esta nueva redacción el sector europeo de fabricantes de baldosas interpreta que una empresa que tenga ciclo completo, pero que su actividad principal sea la fabricación de baldosas, únicamente deberá comprobar si cumple con el umbral de capacidad de producción superior a 75 toneladas por día, y en caso de que no lo cumpla no ha de verificar si sus atomizadores y cogeneraciones tienen una potencia instalada superior a 20 MW.

Por otra parte, para los atomizadores y las cogeneraciones independientes, hay que tener en cuenta que para comprobar si superan los 20 MW, no han de contabilizar los equipos de menos de 3 MW, pero en caso de que sin contar estos equipos superen los 20 MW, todos las unidades quedarán afectadas por el comercio de emisiones, incluidas las de menos de 3 MW.

### 4.3 Afección en el sector cerámico

Los cambios que conlleva la aplicación de la nueva Directiva respecto a la actual, en términos de instalaciones afectadas, se recogen en la tabla 4.

TABLA 4. INSTALACIONES DEL SECTOR CERÁMICO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS AFECTADAS POR EL COMERCIO DE EMISIONES, ACTUALMENTE Y PREVISIÓN A PARTIR DE 2013.

| Tipo de instalación | PNA 2008-2012 | Post Kioto |
|---------------------|---------------|------------|
| Horneado            | 8             | 150        |
| Combustión          | 28            | 20         |
| Total               | 36            | 170        |

Nota: El número de instalaciones afectadas a partir de 2013 es una estimación

En el Plan Nacional de Asignación (PNA) actual, hay un total de 36 instalaciones afectadas. En la

tabla 4 se diferencia entre tipo de instalación, lo cual indica el epígrafe por el cual está afectada, las de horneado son las que cumplen los 3 umbrales del epígrafe 8, y las de combustión son las que tienen una potencia superior a 20 MW



contando atomizadores y cogeneraciones. Pero a pesar de que las instalaciones están afectadas por epígrafes distintos, toda la asignación de derechos está incluida dentro del epígrafe 8 "azulejos y baldosas".

Los datos recogidos en la tabla 4 para el periodo post Kioto, es decir, para el periodo 2013-2020, son estimaciones que se han realizado en base a información disponible en la asociación de las empresas fabricantes, y de las resoluciones de las autorizaciones ambientales integradas, que son información pública.

El hecho de que en el apartado de combustión se pase de 28 a 20 instalaciones afectadas, no quiere decir que haya instalaciones afectadas hoy que no lo estarán a partir de 2013, sino que lo que ocurre es que de las 28 instalaciones afectadas por combustión 8 de ellas son de ciclo completo, y por tanto pasarán a quedar afectadas por horneado, porque su actividad principal es la fabricación de baldosas.

Como se puede observar la modificación de la definición tiene un gran impacto en el número de instalaciones que quedarán afectadas.

Por otro lado, también es interesante conocer el porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> que están afectadas hoy y las que estarán a partir de 2013. Se pasará de controlar el 40% de las emisiones sectoriales con 36 instalaciones, a controlar alrededor del 95% de las emisiones sectoriales.

#### 4.3 Exclusión voluntaria para pequeñas instalaciones:

La nueva Directiva también contempla la posible exclusión de pequeñas instalaciones, esta exclusión debe ser solicitada por la instalaciones a nivel individual, es decir, es una opción y no una obligación.

Para poder acogerse a esta exclusión se han de cumplir los siguientes requisitos:

- Que la instalación haya notificado emisiones inferiores a 25000 t/año en los años 2007, 2008 y 2009.
- Que tenga una potencia térmica nominal inferior a 35MW.
- Que esté sometida a medidas que supongan una contribución equivalente a la reducción de emisiones impuesta por el régimen comunitario.

El primer punto a resaltar de estas tres condiciones, es que todas las instalaciones que entren nuevas a partir de 2013, deberán notificar a la autoridad competente, que en el caso de la Comunidad Valenciana es la Dirección General para Cambio Climático, de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, sus emisiones de CO<sub>2</sub> para estos 3 años indicados.

Según las estimaciones de ASCER se cree que alrededor de 130 instalaciones podrán acogerse a estas medidas equivalentes si lo desean. El parámetro sobre el que se dispone de menos información es el de la potencia térmica instalada, pero por los datos que se conocen para empresas medianas sin atomizador lo normal es que no se superen los 35 MW.

Para tener una idea del orden de magnitud de lo que suponen 25000 t de CO<sub>2</sub>, una empresa que consuma unos 120 GWh de gas al año, considerando que las emisiones de proceso representan el 15% de las de combustión, estaría en el límite de las 25000 t de CO<sub>2</sub> al año.

Por otro lado, respecto a las medidas equivalentes, hay que tener en cuenta que todavía están por definir, y por tanto no se puede valorar si será mejor o peor, desde un punto de vista económico, quedar dentro o quedar fuera del régimen comunitario de derechos de emisión. Todo dependerá del precio en el que se establezca la tonelada de CO<sub>2</sub> en los mercados europeos.

Parece que la Comisión Europea se inclina por considerar que las medidas equivalentes sean impuestos sobre el combustible, de hecho hay una propuesta de Directiva que todavía no es oficial, que plantea un impuesto de 10 €/t CO<sub>2</sub> para todas aquellas instalaciones no afectadas o excluidas por este artículo.

También para tener una idea del coste de este tipo de impuesto, para una empresa que consume alrededor de 100 GWh/año, y que por tanto emitiría menos de 25000 tn de CO<sub>2</sub>/año pagaría alrededor de 230000 €/año por este impuesto.

Por parte de los sectores industriales europeos, parece que se propone algún tipo de acuerdo voluntario con los gobiernos de cada estado miembro. Desde la Federación Europea de asociaciones de fabricantes de baldosas cerámicas (CET), se apoya la idea de acuerdos voluntarios que tengan en cuenta la capacidad de mejora en eficiencia energética de los sectores, ya que no debería ser tratado igual un sector que ha hecho los deberes y ha implantado las mejores tecnologías disponibles (MTDs), y se ha preocupado por mejorar energéticamente, que un sector que, por los motivos que sea, no ha realizado inversiones para mejorar su eficiencia energética y por tanto tiene posibilidades de mejorar en los próximos años, ya que existe tecnología conocida que les permite mejorar. En cambio para el sector que ya está en las MTDs la única posibilidad para emitir menos es reducir su producción.

#### 4.5 Métodos de asignación de derechos de CO<sub>2</sub>

A continuación se muestra una comparativa entre los métodos de asignación de derechos de emisión de los dos primeros periodos y el post Kioto.

Los dos primeros planes de asignación de derechos, fueron planes nacionales que debían ser aprobados por la Comisión y por tanto debían cumplir unos requisitos mínimos europeos, pero la definición de la metodología de asignación era de cada estado, que podía decidir dar los derechos de forma gratuita, subastarlos, formalizar con la industria acuerdos voluntarios, etc.

En España, en ambos periodos la asignación fue gratuita para todos los sectores industriales, excepto para el sector de generación de energía que a partir de 2006 tuvo que empezar a pagar por los derechos que se le habían asignado gratuitamente.

La metodología de asignación elegida en España fue una metodología basada en datos de emisiones y producciones históricas, lo que a nivel europeo se conoce como grandfathering. Este tipo de metodología de asignación fue positiva para aquellas instalaciones que mantuvieran o redujeran sus niveles de actividad respecto a los años de referencia, pero para las instalaciones que se hubieran puesto en funcionamiento durante los años de referencia pudo ser perjudicial. De cualquier modo a nivel general el balance al menos del sector de fabricación de baldosas cerámicas sobre el primer periodo es positivo, ya que la asignación en términos generales fue suficiente, a pesar de que hay 7 instalaciones que tuvieron que comprar derechos en el mercado.

Para el tercer periodo del régimen de comercio de derechos de emisión (post Kioto), las cosas cambian de forma sustancial respecto a los métodos de asignación.

En primer lugar la asignación se realizará por sectores pero a nivel comunitario, habiendo una cantidad máxima de derechos a repartir entre los sectores afectados.

La Directiva plantea como método general de reparto de derechos la subasta, contemplando un periodo de transición para los sectores industriales, de modo que en el año 2013 reciban el 80% de asignación de derechos de forma gratuita y en 2020 el 30% de la asignación será gratuita, y el resto será por subasta.

También es interesante destacar que las cogeneraciones industriales no recibirán en ningún caso asignación gratuita de derechos para la parte correspondiente a la generación de electricidad, y para la parte correspondiente a la generación de calor podrán recibir derechos gratuitos solo en el caso en que los equipos a los que les ceden el calor puedan recibir asignación gratuita. Por poner un ejemplo del sector cerámico, si un atomizador que no dispone de sistema de cogeneración recibe asignación gratuita, una cogeneración que cede calor a un atomizador también podrá recibir asignación gratuita.

Por otro lado, la Directiva también contempla la posibilidad de que los sectores que compiten en un mercado global, y que por tanto pueden estar en riesgo de trasladarse a otros países sin compromisos de CO<sub>2</sub>, puedan recibir toda su asignación correspondiente de forma gratuita. A estos sectores se les denomina sectores en riesgo de fuga de carbono.

La Comisión Europea ha publicado en Julio 2009, un informe preliminar con el listado de sectores considerados en riesgo de deslocalización. Según este informe, el sector cerámico queda calificado como sector expuesto a deslocalización.

La parte de asignación que sea gratuita, será distribuida en función de unos valores de referencia en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de producto acabado, es lo que se conoce como los "benchmarks".

Es decir, la idea es definir un valor medio de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de baldosa, y cada empresa recibirá esa cantidad por tonelada producida. Por tanto, si una empresa es más eficiente que ese valor de referencia recibirá una asignación suficiente, y por el contrario si emite más CO<sub>2</sub> por tonelada de producto acabado recibirá una asignación insuficiente y tendrá que comparar derechos en el mercado.

Ante esta comparación parece claro que la situación se ha hecho mucho más exigente con la nueva Directiva.

#### 4.6 Desarrollo de benchmarkings europeos

La Directiva establece que los benchmarks para los distintos productos deberán estar definidos antes de 31 diciembre de 2010, y lo cierto es que la Comisión Europea junto con los estados miembros ya está trabajando en el tema.

Se ha contratado un consorcio de tres consultoras para que les asesoren en el desarrollo de la metodología para la definición de benchmarks, o alternativas para aquellos casos en los que no sea posible definir estos valores de referencia de emisión específica de CO<sub>2</sub>.

En el último informe elaborado por este consorcio se definían los principios en los que se debían basar el desarrollo de los benchmarks, que son:

- Estar basados en productos y no en materias primas o entradas, es decir, para el caso del sector cerámico de baldosas el valor de referencia será x toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de baldosa. Para el caso de las cogeneraciones independientes esto no es posible, ya que su producto es calor, por tanto para estas instalaciones habrá que buscar una alternativa para la asignación.
- En la definición de los valores de referencia no se tendrán correcciones por antigüedad de la planta, materias primas, tamaño o tecnología utilizada. Por tanto en nuestro sector no parece viable que permitan definir benchmarks distintos para baldosas fabricadas por bicocción o monococción, o por hornos de rodillo u hornos túnel.
- Los benchmark deben ser definidos antes de que comience el periodo en cuestión, como hemos dicho antes de finales de 2010, y se reconoce la posibilidad de que no sea posible definir un benchmark para determinados productos.
- Los valores de referencia están basados en el 10% de las instalaciones más eficientes que fabriquen un determinado producto. El procedimiento es el siguiente: si hay 100 empresas fabricando baldosas se toman los datos de las 10 que menos emisiones de CO<sub>2</sub> (tanto de combustión como de proceso) por tonelada de baldosa fabricada tengan, y se hace la media de esos datos. Esto es complicado porque supone que se han de tener datos de emisiones y producción de todas las instalaciones afectadas a partir de 2013, y esta información no está disponible.

Para determinar este 10% más eficiente, se han de tener en cuenta las instalaciones que puedan acogerse a la exclusión por pequeña instalación.

La ecuación que este consorcio plantea para realizar la asignación una vez estén definidos los benchmarks es la siguiente:

Ecuación 11

**Asignación = benchmark x Producción x Factor Deslocalización x Factor Corrección**

Siendo:

- *Asignación*: cantidad de derechos de CO<sub>2</sub> que cada instalación recibirá para el periodo 2013-2020.
- *Producción*: se tomará la producción de cada instalación de los años de referencia que se consideren. Los consultores recomiendan que sea la producción del período 2005-2007, pudiendo ser la media de este periodo, el máximo o el mínimo.

- *Factor deslocalización*: dependiendo de si la instalación corresponde a un sector con riesgo de deslocalización este valor será 1 (100%) o 0,8-0,3 (80-30%)
- *Factor de corrección*: aparece porque hay una cantidad máxima de derechos que pueden ser asignados, bien sea por subasta o por benchmarks, y por tanto la suma de las partes no puede ser mayor al total, por este motivo hay que aplicar un factor de ajuste. Esto significa que la definición de los benchmarks del resto de sectores afecta al sector de fabricación de baldosas cerámicas.

Las alternativas que el consorcio de consultores europeo plantea para aquellos productos para los que se no sea posible definir un benchmark son:

- Grandfathering + factor de mejora de eficiencia
- Benchmark para emisiones de combustión + grandfathering para emisiones de proceso.
- En ambos casos para la parte de emisiones de proceso proponen grandfathering.

Sobre estas alternativas hay todavía muchas dudas presentes, ya que no tienen claro si hacerlo por sectores o no, si modificar a la baja estos valores a lo largo del periodo, etc.

#### 4.7 Benchmarking cerámico

A nivel europeo la Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCE) está trabajando con el resto de asociaciones nacionales que integran CET, la Federación Europea de Fabricantes de Baldosas, para tratar de definir en primer lugar el número de productos que es necesario distinguir, y por tanto número de benchmarkings que se necesitan para este sector.

Tras analizar la información que las distintas asociaciones nacionales disponían sobre consumos específicos de gas natural y emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de producto, se llegó a la conclusión de que era necesario distinguir varios tipos de baldosas y considerar el polvo atomizado, como producto intermedio. Aunque inicialmente, se pensó que sería necesario distinguir dentro de las baldosas para suelo las de baja porosidad (gres) y las de muy baja porosidad (gres porcelánico) al analizar los datos se observó que a pesar de que el porcelánico tiene un mayor consumo de energía específico por combustión no tiene emisiones de proceso, por tanto ambos efectos se compensan y ambos productos se pueden agrupar en un único benchmarking.

La realidad es que el consorcio de consultores que está trabajando para la Comisión Europea ha elaborado un primer informe de benchmarking para el sector cerámico de baldosas, y la propuesta que realizan que es definir un benchmark para baldosas de pared, otro para baldosas de suelo, y otro para polvo atomizado, plantea que se le aplique una alternativa, que sería grandfathering o benchmark para emisiones de combustión.

De cualquier modo, esto es una primera propuesta y se intentará que al menos haya tres benchmarkings (pared, suelo y atomizado).

Todavía no se dispone de datos por instalación a nivel europeo, por lo que no se pueden mostrar las curvas de benchmarking por productos. Las asociaciones nacionales de fabricantes de baldosas se están encontrando con grandes

dificultades para recabar la información, y están analizando los datos publicados en la bibliografía existente, principalmente en BREF cerámico <sup>(16)</sup> y estudios realizados por Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) y el Centro Cerámico de Bolonia (CCB), por si se pudieran definir los benchmarks en base a este tipo de información

## 5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del trabajo realizado son las siguientes:

- Las emisiones de dióxido de carbono más importantes originadas en la fabricación de baldosas cerámicas son las procedentes de la combustión del gas natural. Las emisiones medias de combustión originadas en la fabricación de baldosas cerámicas se sitúan entre 248 y 271 kg CO<sub>2</sub>/t de producto cocido.
- Las emisiones de proceso (debidas a la descomposición de los carbonatos) dependen de la composición de materias primas, siendo de 62 kg CO<sub>2</sub>/t en las composiciones de azulejos, de 15 kg CO<sub>2</sub>/t en las de gres esmaltado, e inferiores a 1 kg CO<sub>2</sub>/t en las de gres porcelánico.
- Las emisiones específicas totales, referidas a la masa de producto cocido, son mayores si el producto fabricado es azulejo, y menores si es gres porcelánico. Sin embargo, por unidad de superficie cocida, el proceso de fabricación de baldosas de gres porcelánico emite una cantidad similar de dióxido de carbono a la que emite la fabricación de azulejos, 5,7 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Esto es debido al mayor peso específico de las baldosas de gres porcelánico, en comparación el de los azulejos.
- Las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> en el proceso de fabricación están estabilizadas desde mediados de la década de los 90, pues desde entonces el sector está utilizando las mejores tecnologías disponibles. Por tanto, con la tecnología existente, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas está bastante limitada e implica necesariamente la aplicación de medidas de ahorro energético.
- La nueva Directiva de Comercio de Derechos de Emisión tendrá un gran impacto en la industria española de baldosas cerámicas, la cual pasará de controlar, dentro del régimen comunitario de comercio de emisiones, del 40% al 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las industrias del sector.

La nueva normativa supone un gran reto para el sector que actualmente no está controlando directamente de manera exhaustiva las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sí viene trabajando desde hace más de dos décadas en la mejora de la eficiencia energética del proceso productivo. Aún así las grandes incertidumbres asociadas a la nueva Directiva, generan gran inquietud dentro del sector que sigue trabajando en el desarrollo de las curvas de benchmarking para poder definir un valor de referencia de emisiones específicas adecuado para cada tipo de producto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.
2. Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero
3. Decisión de la Comisión 2004/156/CE, de 29 de enero de 2004, por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
4. Nassetti, G. et al. *Piastrelle ceramiche & energia: banca dati dei consumi energetici nell'industria della piastrelle di ceramica*. Bologna: Assopiastrelle, 1998.
5. Sánchez, E.; García, J.; Regueiro, M. Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 45(1), 1-12, 2006.
6. Mallol, G. et al. *Depuración de los gases de combustión en la Industria Cerámica : guía técnica*. 2ª ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2001.
7. Escardino, A. El esfuerzo en innovación de la industria cerámica de la Comunidad Valenciana para reducir las emisiones de dióxido de carbono. EN: *Simposio internacional sobre el cambio climático, desde la ciencia a la sociedad*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2005. pp. 121-133.
8. Criado, E. Reflexiones sobre el futuro de la Industria Europea de Cerámica. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 46(1), 39-43, 2007.
9. Albors, J.; Hervás, J.L. La industria cerámica europea en el siglo XXI: Retos tecnológicos y desafíos de la próxima década. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 45 (1), 13-21, 2006.
10. Cañadas, I. et al. Characterization results of a new volumetric receiver for high-temperature industrial process heat in a solar furnace. 1<sup>st</sup> International Congress on Heating, Cooling and Buildings. Lisboa (Portugal), 7-10 Octubre 2008.
11. Azara García del Busto, M. (Coord.). *Ahorro energético en el sector azulejero* [2ª ed.]. Valencia: Conselleria de Industria, Comercio y Turismo, 1990.
12. Enrique, J.E. et al. Racionalización de energía en hornos de cocción de baldosas cerámicas. *Cerám. crist.*, 124, 21-32, 1998.
13. Mallol, G. et al. Estudio de la operación de secado de los soportes de las baldosas cerámicas en secaderos verticales. *Téc. Cerám.*, 304, 805-817, 2002.
14. Mallol, G.; Monfort, E.; Jarque, J.C. Optimización de las condiciones de operación de un horno monoestrato. *Cerám. Inf.*, 202, 6-13, 1994.
15. Hatakeyama, T.; Zhenhai L. (Eds.). *Handbook of thermal analysis*. Chichester: John Wiley & sons, 2000
16. *Reference Document on Best Available Techniques in the ceramic manufacturing industry*. Sevilla: European comission. European IPPC Bureau, 2007 [http://ftp.jrc.es/eippcb/doc/cer\\_bref\\_0807.pdf](http://ftp.jrc.es/eippcb/doc/cer_bref_0807.pdf) [Consulta: 2009-06-25]

Recibido: 3-8-09  
 Aceptado: 1-9-09

