

## PLACAS CERÁMICAS DE BAJO ESPESOR: TECNOLOGÍAS, APLICACIONES Y PROBLEMAS



*Dr. Michele Dondi, CNR-IRTEC, Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto di Ricerche Tecnologiche per la Ceramica de Faenza e Investigador del ISTEC - Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici de Bologna.*

*Conferencia presentada el 12 de Marzo de 2010 en el 'Forum Tecnargilla Brasil', en la feria REVESTIR de San Pablo, Brasil.*

**La reciente tendencia de la industria cerámica a producir placas de bajo espesor, y frecuentemente de gran tamaño, he originado varias preguntas - tanto de tecnólogos como de quienes las utilizan - a las cuales esta ponencia quiere dar respuestas.**

### ¿Por qué bajo espesor?

Hay ventajas esperadas, como la reducción del consumo de materias primas y del tiempo de cocción (con aumento de productividad); el ahorro de energía y menor emisión de CO<sub>2</sub>; el menor espacio de almacenaje y menor costo de transporte; nuevas posibilidades de utilización, con mayor facilidad de manipulación, incluidos nuevos sectores de aplicación. Sin embargo, estos resultados pueden ser alcanzados en el caso de una limitada reducción del espesor, es decir no menos de 6 mm, y por lo tanto las ventajas serán proporcionales al menor volumen de la pieza.

### ¿Cuales son las aplicaciones del bajo espesor?

Hay que discriminar claramente:

La baldosa de **espesor reducido**, que se realiza con la tecnología convencional, pero re proyectando el espesor hasta un valor mínimo (no menor de 5 a 6 mm) que asegure que todas las especificaciones técnicas cumplen con la norma. Desde el punto de vista de la aplicación es prácticamente una baldosa convencional, aunque más liviana. La placa de **bajo espesor**, que se fabrica con nuevas tecnologías o modificaciones del proceso convencional, que permiten alcanzar espesores de 2 a 5 mm y confieren características especiales, como

una cierta flexibilidad a las placas de gran tamaño. Estas peculiaridades abren nuevos sectores de aplicación: reestructuraciones, decoración, revestimientos de superficies curvas (p. ej. túneles), aplicaciones tecnológicas (v.gr. placas fotovoltaicas).

### ¿Cómo se fabrica una placa de bajo espesor?



Las nuevas tecnologías constituyen lo que se llama un producto-proceso, es decir un proceso específico para un tipo de producto. Un ejemplo es la tecnología Lamina (System) que utiliza un innovador sistema de prensado sin alvéolo (puede llegar al tamaño de 360x120 cm y espesor de 3 mm) así como de

secado y cocción en ciclo único y realización de compósitos reforzados con una red de fibra de vidrio. Otro ejemplo es la tecnología Grestream (Barbieri & Tarozzi) que emplea un innovador sistema de extrusión, seguido por laminación y prensado, que permite alcanzar espesores de 5 a 6 mm del producto acabado.

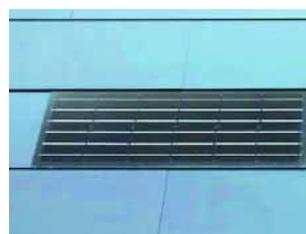
Importantes modificaciones del proceso convencional son necesarias para alcanzar espesores de 4 a 5 mm, tanto en la pasta (uso de aditivos plastificantes) como en el prensado (uso de innovadores moldes isostáticos). Un ejemplo es la adaptación de la tecnología Continua (SACMI), con espesores de 2 a 3 mm realizados por bicocción.

### ¿Hay problemas en la producción de bajo espesor?

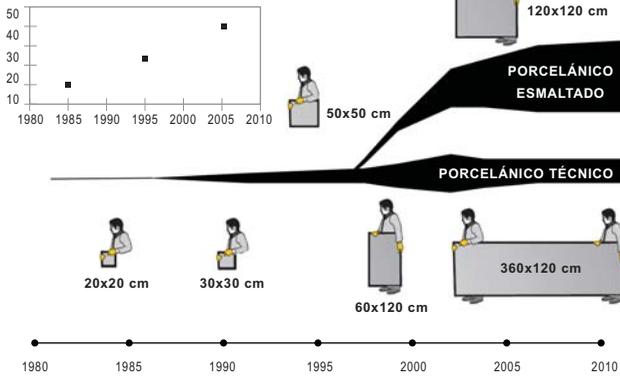
Las modificaciones del proceso convencional han sido desarrolladas expresamente para resolver problemas como: la carga del molde y la extracción de la placa verde; el esmaltado y decoración en húmedo; emisiones de VOC (componentes orgánicos volátiles) durante la cocción y formación de corazón negro y deformación pirolástica. Los problemas de prensado han sido resueltos con el uso de moldes isostáticos y un mayor control del proceso, incluyendo la carga del atomizado y la expansión post-prensado.

Para evitar la formación de mordientes, es fundamental el papel de los aditivos plastificantes - que pueden ser inorgánicos, orgánicos o híbridos - aunque se deban controlar los efectos sobre propiedades reológicas de la barbotina, grado de compactación y comportamiento en el secado.

Las técnicas convencionales de esmaltado y decoración en húmedo no se pueden utilizar directamente (la cantidad usual de agua deformaría intolerablemente el soporte); cualquier operación requiere un nuevo proyecto a la luz de la diferente relación esmalte/soporte. Por estas razones, al principio se han producido sólo piezas sin esmalte y con decoración por chorro de tinta o por vía seca. Recientemente se ha logrado aplicar pequeñas cantidades de esmalte sobre el soporte verde o, con la bicocción, cantidades importantes



**EVOLUCIÓN DEL TAMAÑO DEL GRÉS PORCELÁNICO**



sobre el soporte cocido. Asimismo la decoración es más elaborada y no limitada solamente a técnicas digitales. Durante la cocción, los problemas de la emisión de VOC y de corazón negro son consecuencia de la presencia de aditivos orgánicos que pueden ser eliminados minimizando el tenor del aditivo.

Las deformaciones de las piezas son más difíciles de controlar porque son originadas tanto por el diferente comportamiento en sinterización (causado por ejemplo por la presencia de aditivos inorgánicos) como por tensiones termomecánicas, originadas durante el proceso de prensado o la menor proporción entre esmalte y soporte.

En el caso del producto-proceso no hay problemas tecnológicos parecidos a los de la tecnología convencional modificada; el sistema Lamina, por ejemplo, parece muy versátil y no requiere uso de aditivos en la pasta. El mayor desafío está en la difusión de un producto realizable sólo adquiriendo una nueva planta de producción.

**¿La calidad del producto acabado es la misma?**

En el caso de productos de espesor reducido, la calidad es comparable a la de productos de espesor convencional, aunque propiedades ligadas al espesor puedan ser afectadas de alguna manera (por ejemplo la carga de ruptura) estando de todos modos dentro de los requisitos de la norma.

Las placas de gran tamaño tienen características intrínsecas al bajo espesor - como una cierta flexibilidad y menor carga de ruptura o resistencia al impacto - que no afectan el desempeño de los productos en aplicaciones como reestructuraciones o revestimientos. De todas maneras, los productos de bajo espesor requieren mayor atención en el asentamiento, con nuevos materiales y técnicas específicas para evitar rupturas.

**¿Existen obstáculos a la difusión del bajo espesor?**

Existe un obstáculo de carácter normativo y un riesgo de comercialización incauta. Las placas de bajo espesor no pueden ser sometidas a los ensayos de planaridad o de resistencia a la flexión de la norma ISO 10545 por vía de la flexibilidad que rinde resultados no confiables. Necesitan tanto nuevos procedimientos de ensayo, como nuevos límites de aceptación, específicos para productos de bajo espesor para determinadas aplicaciones. A pesar de que algunas normas nacionales ya hayan sido editadas, el camino hasta una norma internacional parece todavía largo.

Existe también el riesgo de un contradictorio efecto negativo del mercado, como consecuencia de políticas comerciales agresivas, que podrían permitir que placas de bajo espesor sean aplicadas con asentamiento errado o colocadas en lugares inadecuados, con posibles daños de la imagen del producto. Es claro que la comercialización de las placas de bajo espesor debe ser acompañada con un esfuerzo para informar correctamente quién proyecta, coloca y utiliza este tipo de cerámica.



**S.R.L.**  
**MATRICERÍA Y DISPOSITIVOS**

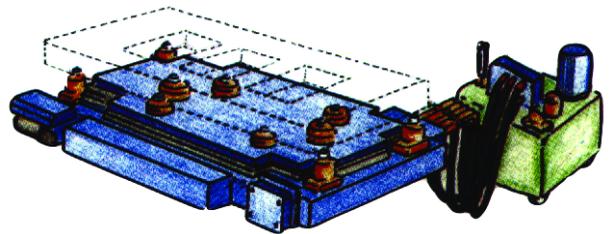


Ventura Coll 483 y Ruta 8 (1665) JOSE C. PAZ  
Tel.: (02320) 431411, Fax: (02320) 430388

**CONSTRUCCION DE MOLDES NUEVOS  
CON FIJACION MAGNETICA  
EN PUNZONES INFERIORES.  
RECUPERACION DE MOLDES  
PARA CERAMICA Y VULCANIZADO**

**Molde cerámico:**

**Dispositivo de varias funciones alternativas:  
extracción de la baldosa, carga de polvo y  
regulación del llenado en sustitución del  
extractor oleodinámico tradicional.**



**Prensas y equipos  
hidráulicos**

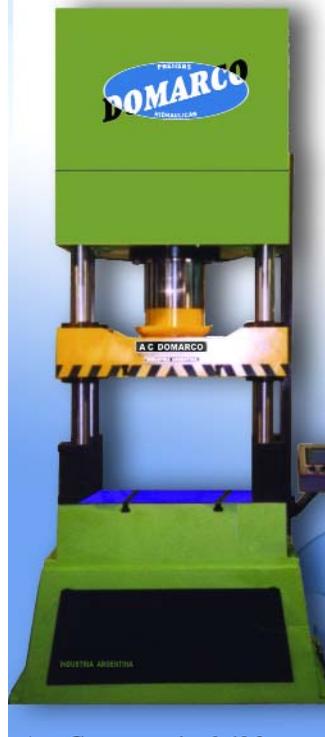
**Reparaciones**

**Automatizaciones**

**Reformas**

**Servicio Mecánico**

**Repuestos**



**Av. Centenario 3629  
(1878) QUILMES Pcia. de Bs. As. - Rep. Argentina  
Tel./Fax: (54-11) 4278-2388 - Celular: 15-4447-8031  
e-mail: domarco@tutopia.com**

## ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL SECTOR CERÁMICO

Santiago Amposta. Beralmar Tecnologic S.A. R+D, Industrial Engineer  
 Conferencia brindada en Ceramitec 2009

En el presente artículo se describe la situación actual en la que se encuentra el sector de la fabricación de cerámica estructural en cuanto al uso de recursos energéticos, presentando soluciones alternativas que ayudan a reducir el impacto económico y medioambiental provocado por el uso de combustibles tradicionales.

### Introducción

La industria de la cerámica estructural, debido a las particularidades de su proceso productivo requiere de una aportación intensa de energía térmica y por tanto es un fuerte consumidor de combustibles tradicionales derivados del petróleo como el gas natural o el fuelóleo, sobretodo durante el proceso de secado y cocción de los productos a fabricar.

Dentro del contexto económico mundial actual, donde la reducción de costes y la eficiencia tienen un papel fundamental para la supervivencia dentro del sector, el incremento del coste del petróleo y por tanto de sus derivados además de su gran variabilidad tienen una incidencia directa en los costes de producción, pudiendo el combustible alcanzar el 40% de éstos (Fig.1).

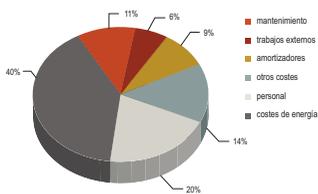
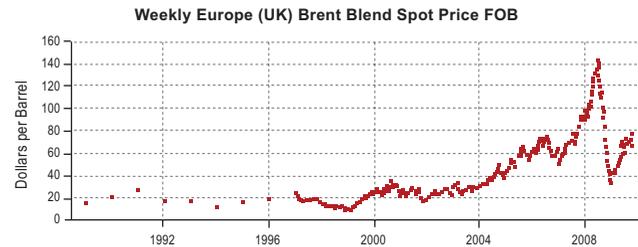


Figura 1. Costes productivos típicos aproximados de una planta cerámica.



Source: U.S Energy Information Administration

Figura 2. Coste del barril de crudo Brent entre 1988 y 2009 (\$/barril). Fuente: U.S. Energy Information Administration.

Por otra parte, el uso de los derivados del petróleo presenta problemas de tipo medioambiental, principalmente por la gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se genera en la reacción de combustión de dichos combustibles, el cual es uno de los mayores representantes de los conocidos como gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global del planeta.

Por todo ello, para aumentar la competitividad dentro del sector se hace necesaria la incorporación de energías renovables no dependientes del petróleo que consigan rebajar significativamente los costes de producción a la vez que promover el uso de combustibles ecológicos.

### Energías renovables

En este momento, los combustibles más habituales en el sector de la cerámica estructural son los hidrocarburos y los combustibles líquidos derivados del petróleo como el fueloil o el gasoil. Hasta ahora, la única opción para reducir los costes de la energía primaria en las plantas cerámicas se basaba en el uso de combustibles sólidos como el coque de petróleo o el carbón. Es cierto que existen numerosas soluciones para mejorar el rendimiento energético de una planta cerámica, como la instalación de prehornos, recirculación de gases, construcción de hornos herméticos, pero también es cierto que en el mejor de los casos la reducción del consumo de

combustible nunca excede el 10%. Sin embargo, la sustitución de los combustibles habituales por combustibles sólidos como el coque o el carbón reducen drásticamente hasta en un 50% los costes energéticos, pudiendo ser utilizados ya que es una tecnología probada (Beralmar Promatic y Micromatic) en más de 150 instalaciones en todo el mundo, siendo una solución fácil y barata con retornos de inversión menores a 1 año. El problema principal es que en la reacción de combustión de los hidrocarburos como de los combustibles sólidos, se producen elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> planteándose el ya mencionado problema medioambiental; es por esta razón que en este momento se empieza a plantear el uso de energías renovables en el sector. En nuestro caso, consideraremos como energías renovables cualquier tipo de energía que no proviene de combustibles fósiles, y que por tanto no genera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante el proceso de combustión, si bien es importante matizar esta última afirmación.

Ello no quiere decir que la combustión de dichos combustibles no genere emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera sino que, debido a su origen vegetal se consideran neutros en emisiones de carbono, con lo cual no computan a efectos del cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto es debido a que se considera que al producirse la combustión de la materia vegetal simplemente se está liberando el CO<sub>2</sub> que la planta ha absorbido en el transcurso de su vida, sin generar emisiones adicionales que se producirían en el caso de utilizar un combustible derivado del petróleo, por tanto se dice que el sistema es sostenible y que ayuda a combatir el calentamiento global del planeta.

Otra ventaja muy importante a tener en cuenta reside en el mercado de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que al no computar las emisiones producidas por el uso de energías renovables reducimos considerablemente las emisiones totales de la planta pudiendo obtener beneficios del excedente que se producirá en el cupo que se asigna a cada una de ellas. Actualmente, el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> se encuentra alrededor de los 14 € (Fig.3).

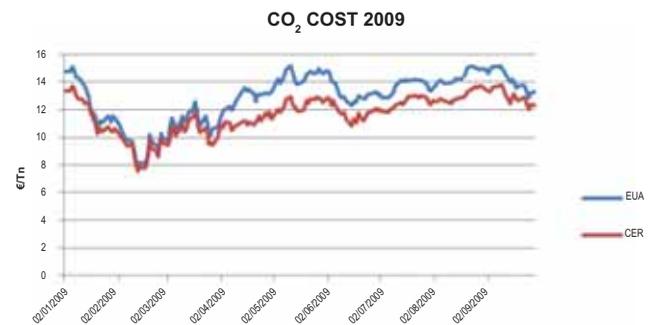


Figura 3. Mercado emisiones CO<sub>2</sub>. - Fuente: www.sendeco2.com

Combustibles como la biomasa, o el syngas (gas sintético o sinte-gas), se consideran energías renovables (más adelante se explicará su origen y obtención) de posible utilidad en el sector de la cerámica estructural.

**Biomasa**

Definida como la materia orgánica originada en un proceso biológico utilizable como fuente de energía, principalmente se puede dividir en dos grandes grupos: la biomasa forestal y la biomasa agrícola.

**- Biomasa forestal:**

- Residuos de explotaciones forestales (limpieza de montes, talado de árboles, etc.).
- Residuos de industrias (aserraderos, fábricas de muebles, etc.).
- Cultivos energéticos (álamos, paulownia, etc.).

**-Biomasa agrícola:**

- Residuos de cultivos agrícolas (paja de cereales, sarmientos, etc.).
- Residuos de industrias (harineras, frutos secos, etc.).
- Cultivos energéticos (maíz, sorgo, etc.).

El uso de la biomasa en la industria aumenta día a día, debido en parte a la concienciación de la sociedad con el medio ambiente y a que su uso está promovido prácticamente en todos los países por la administración pública.

El problema principal que plantea el uso de la biomasa como combustible directo reside en que es necesaria una adecuada preparación para poder usarla en los hornos de cocción, con unas condiciones de humedad y de tamaño de partícula máxima determinadas que aseguren una combustión lo más eficiente posible, de otro modo conseguir unos resultados aceptables en el material cocido será difícil. Esto significa que el uso de este combustible en la cerámica para combustión directa se restringe a biomasa de alta calidad, con un coste relativamente elevado, lo cual plantea dudas acerca de la conveniencia de su uso, más si tenemos en cuenta que no hay una tecnología que se pueda considerar validada para este tipo de instalaciones de combustión. Por tanto es necesario desarrollar la tecnología adecuada para proporcionar al sector soluciones alternativas que compaginen el uso de energías renovables con la mejora de los costes energéticos, como en la utilización de biogás o sintegás.

**Biogás**

Entendemos por biogás al gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos metanogénicos de forma anaeróbica, es decir, en ausencia de aire. El producto resultante está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) que es el que le proporciona la práctica totalidad del poder calorífico, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) en menor medida. El biogás se puede clasificar en dos grandes grupos:

- **Landfill gas** o gas de vertedero, cuando es producido espontáneamente en vertederos de basura. Como se ha comentado con anterioridad, los componentes principales son metano (CH<sub>4</sub>), y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y en este caso lixiviados, que deben ser almacenados y tratados en plantas específicas. Por razones de seguridad y medioambientales en el vertedero el gas es retenido por una cubierta, en ausencia de agua y oxígeno y es extraído por bombas (Fig.4). La primera parte del proceso, el sellado, consiste en la aplicación al terreno de una serie de capas superpuestas formadas por diferentes materiales, con el objeto de asegurar el confinamiento de los residuos y especialmente del gas producido, evitando su difusión a la atmósfera. Esto proporciona la infraestructura necesaria para los demás elementos que permitirán el siguiente proceso de desgasificación, tratamiento y transporte del gas. Esta segunda parte del proceso, debe controlar la composición de biogás (CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S), los caudales, la presión de extracción e impulsión y el sistema de tratamiento y almacenamiento. El contenido de metano de este gas se sitúa aproximadamente entre 45-55% dependiendo del tipo de residuo, con lo cual se obtiene un poder calorífico inferior a 3.870 - 4.730 kcal/Nm<sup>3</sup> (4,5 - 5,5 kWh/Nm<sup>3</sup>) (Tabla 1).

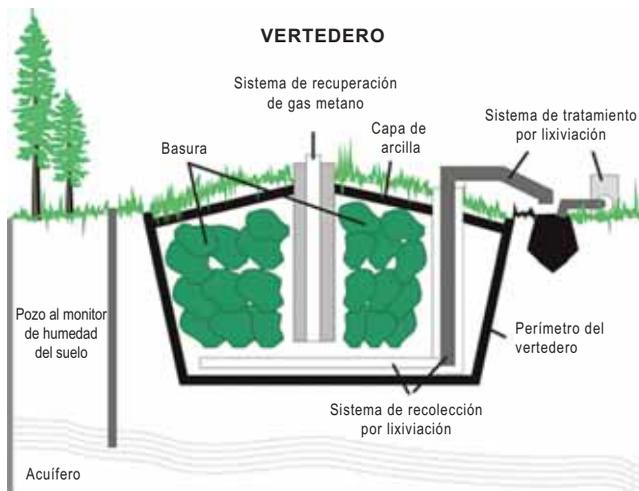


Figura 4. Esquema vertedero de generación de landfill gas. Fuente: www.prometheus-energy.com

- Biogás producido en digestores, unas instalaciones que tienen como finalidad principal la de provocar la reacción de biometanización mediante la cual se produce el biogás (Fig.5). El proceso es similar al de obtención de gas de vertedero, si bien en este caso se sustituye el vertedero por el digestor. Dependiendo del tipo de residuo utilizado y de la eficiencia del digestor la cantidad de metano en el biogás puede variar entre 50-80%, obteniendo un poder calorífico inferior que oscila entre 4.300 y 6.850 kcal/Nm<sup>3</sup> (5 - 7,95 kWh/Nm<sup>3</sup>) (Tabla 1).

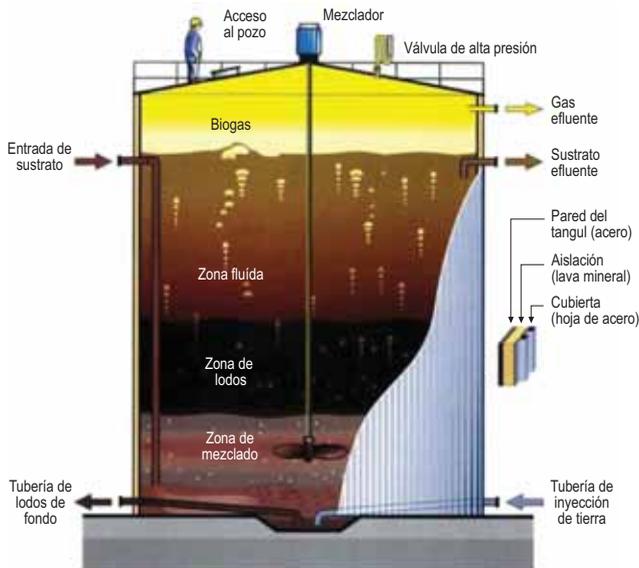


Figura 5. Esquema de un digestor de generación de biogás. Fuente: digestordebogas.blogspot.com

Gas de vertedero		Biogás
45 - 55	Metano (CH <sub>4</sub> ), % vol.	50 - 80
30 - 45	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), % vol.	15 - 45
5	Vapor de agua (H <sub>2</sub> O), % vol.	5
3.870 - 4.730 4.5 - 5.5	Poder calorífico inferior (PCI), kcal/Nm <sup>3</sup> kWh/Nm <sup>3</sup>	4.300 - 6.850 5 - 7,95
300 - 500	Presión de trabajo mínima, mbar	300 - 500

Tabla 1. Propiedades del biogás y del gas de vertedero.

Como se ha comentado en un capítulo anterior, el biogás está incluido en las llamadas energías renovables y por tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la combustión del metano (recordemos que es el principal componente del gas natural) no se computabilizan a efectos de emisiones. Esto es debido a que el metano, gas de efecto invernadero, a igual masa, tiene un potencial de calentamiento global 23 veces superior al del CO<sub>2</sub>, por tanto, la utilización de este combustible evita la contaminación medioambiental del metano que se escapa del vertedero hacia la atmósfera.

Los gases generados en la combustión del biogás no son muy distintos de los generados en la combustión de gas natural, por tanto no presentan problemas de carácter medioambiental en cuanto a valores límite de emisiones se refiere (Tabla 2). A continuación se muestran las emisiones reales de una planta con tres hornos que utilizan equipos duales de gas/biogás de Beralmar.

Compuesto	Emisiones
Partículas	3 mg/Nm <sup>3</sup>
Monóxido de carbono (CO)	15 ppm
Dióxido de sulfuro (SO <sub>2</sub> )	35 ppm
Oxidos de nitrógeno (NOx)	15 ppm
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	N.D.
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	0,15 mg/Nm <sup>3</sup>
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	30 mgC/Nm <sup>3</sup>

Tabla 2. Emisiones a la salida del ventilador de tiro de una cerámica funcionando con biogás.

Uno de los inconvenientes del uso de este combustible es la existencia de ácido sulfhídrico en la mezcla de gases, lo cual recomienda el uso de materiales más nobles en la construcción de la instalación como pueden ser el acero inoxidable, aluminio, las juntas de NBR, etc.

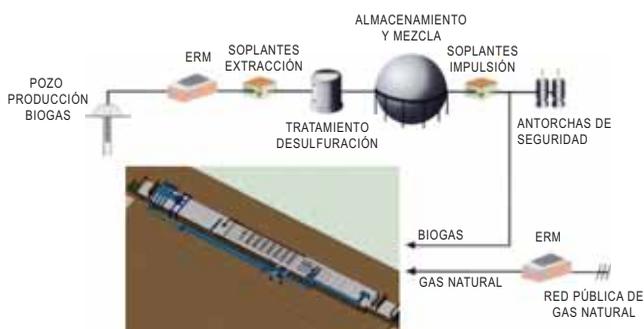


Figura 6. Diagrama de flujo de una instalación gas/biogás en planta cerámica.

La instalación de combustión de biogás que Beralmar comercializa dispone de un doble circuito de alimentación, uno para gas natural y otro para biogás (Fig.7), permitiendo el cambio de combustible con el objetivo de garantizar una potencia constante en caso de existir variaciones en la calidad (PCI), presión o caudal de biogás en el tiempo. El cambio automático de combustible grupo a grupo del horno permite optimizar el consumo de biogás en función del caudal y calidad del biogás (mantenimiento de la planta, incidencias, composición



Figura 7. Grupo de quemadores de inyección gas natural / biogás. Fuente: Beralmar Tecnológico

de los residuos orgánicos, etc.), ya que el o los grupos que siguen en marcha funcionando con biogás lo hacen a pleno rendimiento manteniendo las mismas condiciones de funcionamiento.

**Sintegás**

La segunda opción para obtener gas a partir de biomasa es la gasificación. La gasificación de biomasa se define como un conjunto de reacciones termoquímicas que se producen en un ambiente pobre en oxígeno (aproximadamente 25% aire estequiométrico), dando como resultado la transformación de un sólido en una mezcla de gases. Esta mezcla de gases llamada gas de síntesis o syngas se produce en el interior de un reactor llamado gasificador, y tiene un poder calorífico inferior (PCI) equivalente aproximadamente a una sexta parte del poder calorífico del gas natural cuando se emplea aire como agente gasificante. El agente gasificante es un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones. Para poder llevar a cabo este proceso, podemos utilizar biomasa de baja calidad, residuos sólidos urbanos, etc., la cual suele presentar un precio atractivo, eso sí, deben tener una densidad mínima de 200 - 250 kg/m<sup>3</sup>, ya que de lo contrario la biomasa empieza a presentar problemas de transporte y uso.

El sintegás está compuesto principalmente por nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y otros hidrocarburos en menor medida. El poder calorífico obtenido en el gas resultante dependerá básicamente del contenido de CO, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, aunque los valores típicamente siempre se encuentran entre 1.300 y 1.500 kcal/Nm<sup>3</sup> (1,51 - 1,74 kWh/Nm<sup>3</sup>) (Tabla 3).

Composición típica aproximada, % vol.	Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	50
	Monóxido de carbono (CO)	15
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	15
	Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	12
	Metano (CH <sub>4</sub> )	5
	Otros hidrocarburos	3
Densidad, kg/Nm <sup>3</sup> / kg/m <sup>3</sup> (a 400°C)		1,18 / 0,519
Aire estequiométrico, Nm <sup>3</sup> aire / Nm <sup>3</sup> gas		1,58
Poder calorífico inferior (PCI), kcal/Nm <sup>3</sup> / kWh/Nm <sup>3</sup>		1.300 - 1.500
		1,51 - 1,74

Tabla 3. Propiedades del sintegás.

Si bien es cierto que en este artículo se expone principalmente el uso de sintegás como energía primaria para el sector de la cerámica estructural, también es posible utilizarlo como combustible para ser utilizado en motores de cogeneración, debido a que en determinados países la generación de electricidad a partir de biomasa está primada por la administración pública y resulta interesante destinar parte del gas producido a este fin.

El sintegás producido abandona el gasificador a una temperatura elevada, aproximadamente unos 800°C, por tanto debe ser sometido a un proceso de enfriamiento para poder ser utilizado posteriormente cuando obtendrá calor que se aprovechará para calentar el aire que actúa como agente gasificador. Es importante comentar que en el caso de ser usado en quemadores de cocción la temperatura al final del enfriamiento será superior (unos 400°C) si lo

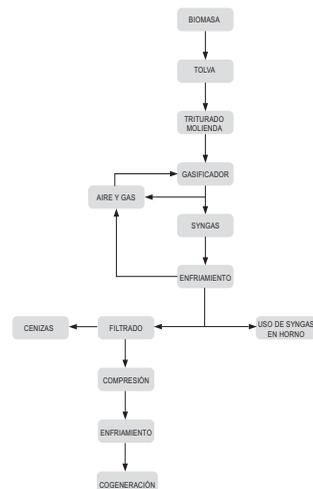


Fig. 8. Esquema de proceso de gasificación de biomasa.

comparamos con el caso en el que el sintegás es utilizado como combustible en motores de cogeneración, ya que éstos requieren una temperatura de entrada del gas no superior a 50°C. Además, el gas utilizado en los motores de cogeneración debe ser filtrado debido al hecho de que el sintegás procedente del gasificador contiene alquitranes y, aunque la cantidad de éstos es pequeña, desaconseja su uso en los motores ya mencionados. La temperatura de utilización del sintegás en los hornos de cocción previene la condensación de estos alquitranes, aportando poder calorífico a la mezcla a la vez que reducimos aproximadamente a la mitad el precio de la instalación completa de gasificación.



Fig. 9. Planta de gasificación de biomasa. - Fuente: NECER.

Beralmar Tecnologic ha desarrollado una nueva serie de quemadores, tanto de alta velocidad como de inyección (Fig.10) capaces de funcionar correctamente en las condiciones de suministro del sintegás a la salida de la planta de gasificación, normalmente 400°C de temperatura y 80 mbar de presión.



Fig. 10. Prototipos de quemadores de sintegás (alta velocidad e inyección) de Beralmar Tecnologic.

De la misma forma que sucede con el biogás, en el diseño de la instalación de combustión se debe considerar un doble circuito de gas natural y sintegás atendiendo a las mismas razones, la garantía de suministro constante y el ritmo de producción. Aparte de dichas razones, debido a la gran diferencia de poderes caloríficos existentes entre ambos combustibles, mayor que en el caso del biogás, está más que justificada la elección de una doble tubería de alimentación a los quemadores debido a que la sección de paso adecuada para uno y otro combustible difiere significativamente.

### Conclusiones

Debido a la difícil situación en la que se encuentra la economía mundial, donde la supervivencia viene determinada por el grado de optimización de los recursos existentes, el preponderante papel que tienen los costes energéticos puede marcar la diferencia entre el éxito o el fracaso. Por esta razón, la incorporación al sector de energías renovables de coste menor a las actuales y con ventajas importantes en el aspecto medioambiental se prevé imparable.

Aspectos particulares de cada planta favorecerán una u otra solución (proximidad vertedero, disponibilidad de biomasa, marco regulador de cada región, etc.), si bien es cierto que todas ellas cumplen con el cometido principal que radica en la sustitución de combustibles más caros y medioambientalmente negativos.

Beralmar, anticipándose a los acontecimientos, ha desarrollado instalaciones adaptadas a los nuevos tiempos, disponiendo en la actualidad de instalaciones de combustión de combustible sólido (biomasa) o de combustible gaseoso (biogás y syngas), aunque si se quiere obtener un producto de máxima calidad se limita a estos últimos, los cuales presentan una serie de características comunes:

### - Ventajas:

- Coste energético menor.
- Emisiones neutras de CO<sub>2</sub>.
- Aprovechamiento energético del combustible superior al 90%, mayor que en el caso de realizar cogeneración.
- Posibilidad de intercambio gas natural / bioenergía de forma automática.
- Método más eficiente de producir bioenergía si se compara con otras fuentes renovables como energía solar, eólica, etc.
- Expansión del mercado de la bioenergía.
- Proyecto susceptible de recibir ayudas de las administraciones públicas.

### - Inconvenientes:

- Inversión inicial: instalaciones de producción, equipos de combustión específicos.
- Fiabilidad del suministro de biomasa durante un largo periodo de tiempo.

### Referencias

- E-J Nyns, Sylviane Thomas. *Solutions for the environment: biogas from waste and waste water treatment. Lior CD-ROM collection: Renewable energies series.* Brussels, Belgium, 2001.
- *Biomasa: gasificación.* IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid, España, 2007.
- *Biomasa: producción eléctrica y cogeneración.* IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid, España, 2007.
- Archivos de Beralmar Tecnologic S.A.

### Información relacionada con el tema

#### - Residuos. Una solución energética

Trabajo desarrollado en UMA (Unidad de Medio Ambiente) dependiente del Min. de Ind. y Tur. por: Ing. C. Reyes Ramírez, Lic. Ma. S. Lobo Poblet y Dra. S. Victoria Feher. Considera: Consumo energético sectorial. Marco Normativo Energía de la Biomasa, Conversión de Biomasa en energía Alternativas para la conversión de la Biomasa Residuos utilizados como fuente de energía Costos asociados a prod. de Biomasa, Biomasa en Argentina Biocombustibles, Bioetanol, Biogás, Biodiesel Biomasa y Biocombustible en Argentina Pirólisis, Gasificación, Licuefacción, Fermentación Metánica, Fermentación Alcohólica [www.industria.gov.ar/uma2/wp-content/uploads/2010/01/residuos-una-solucion-energetica.pdf](http://www.industria.gov.ar/uma2/wp-content/uploads/2010/01/residuos-una-solucion-energetica.pdf)

- **ASADES-Asoc. de Energías Renovables de la Argentina** [www.asades.org.ar/](http://www.asades.org.ar/)

- **Residuos Sólidos Urbanos. Basura Cero** [www.greenpeace.org/argentina/contaminacion/basta-de-basura#](http://www.greenpeace.org/argentina/contaminacion/basta-de-basura#)

#### - Régimen de Fomento Nac. para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

Ley 26190 de Argentina. Ver "Decreto Reglamentario 562 / 2009." Destacan tres ítems de interés para las inversiones en el área:  
 - Se establece como meta para el año 2016 que el 8% de la demanda eléctrica deberá ser cubierta con energías renovables.  
 - Los inversores en proyectos para dichos fines, destinados al servicio público, podrán gozar de exenciones fiscales y amortización acelerada.  
 - Recibirán un sobreprecio respecto al precio de la energía eléctrica en el mercado.

## EJEMPLOS DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

G. Nasseti, Centro Ceramico, Bologna, Italia  
Conferencia Presentada en Tecnargilla 2010

### Resumen

Se presentan algunos ejemplos de tecnologías para el ahorro de energía térmica en la industria italiana de ladrillos, en particular la recuperación de los flujos térmicos en el proceso de producción y la aplicación de sistemas para la cogeneración de electricidad y calor. Los casos presentados se analizan críticamente a la luz de la reciente crisis en el sector que ha interesado a los fabricantes de productos de arcilla. También se mencionan algunas de las tecnologías de ahorro de energía eléctrica.

### Abstract

*Some examples of energy efficiency technologies in the Italian heavy clay and brick industry, with particular emphasis on the recovery of waste heat into the productive process and the application of heat and power systems, are presented. Industrial cases are critically discussed in the light of the latest crisis of the market which involved heavy clay and brick factories. Some electric energy saving techniques are indicated as well.*

Antes de examinar las tecnologías energéticas que pueden ser introducidas en la industria del ladrillo conviene hacer algunos comentarios sobre los productos de arcilla. En comparación con las materias primas de otras cerámicas, tales como azulejos para pisos y revestimientos, sanitarios y vajilla, la arcilla es un producto relativamente pobre, que con dificultad se puede innovar en el tiempo. Aunque en los últimos años se ha visto una mejora del ladrillo, como por ejemplo los de aislamiento térmico y acústico, y se desarrollaron nuevos productos, tales como bloques corregidos para facilitar la instalación, el producto todavía conserva una fuerte connotación estructural, que limita la posibilidad de obtener un mayor valor añadido. Sólo una pequeña proporción de los productos (cerca de 15% entre los ladrillos, revestimientos especiales y materiales para techos) se coloca cara vista, mientras que la mayoría se enyesa después de la instalación y por lo tanto no hay razón para aumentar el valor estético. Estos aspectos han influido en las instalaciones de producción, que siempre han sido diseñadas y construidas con grandes capacidades para reducir los costos, aunque las mismas resultaron poco flexibles en el caso de una reducción del mercado, como ocurrió en los últimos dos años.

Por último, dada la dificultad de remozar el producto, la inversión en tecnologías innovadoras fue menos frecuente en la industria del ladrillo que en los otros sectores cerámicos mencionados arriba, como por ejemplo el de revestimientos, donde la tecnología del sistema ha perseguido la innovación de los productos y en ocasiones la ha estimulado. De ahí que las líneas de producción de ladrillos estén hechas para durar varias décadas. Hablando de las tecnologías de energía aplicables a la industria del ladrillo, se puede decir que la recuperación del calor residual del horno, como aire de enfriamiento, en favor de la secadora es una práctica adoptada desde hace mucho en todos los hornos. Con este sistema se puede cubrir entre el 50 y el 90% de la demanda de calefacción de la secadora.

Otra tecnología de energía aplicable en la industria del ladrillo es la cogeneración de electricidad y calor, que recupera el calor proveniente del sistema de cogeneración (motor o turbina) a favor del proceso de producción, permitiendo obtener resultados energéticos del 85% a más del 90%. En el proceso de fabricación de ladrillos, el receptor del calor de salida de un sistema de cogeneración es, sin duda, la secadora, que siempre se beneficia de una recuperación del calor constituido por el enfriamiento del horno.

Otro sistema receptor puede ser el de producción de vapor por la extrusora, aunque la cantidad de calor que puede aceptar es mucho menor de la que puede absorber la secadora. Los factores que determinan el éxito de la cogeneración son la plena explotación del calor que sale por el sistema de cogeneración y el tiempo de ejercicio del sistema: cuanto más calor se recupera y cuanto más tiempo funcione el sistema, mayor será la rentabilidad. Por ello se entiende que es crucial para el éxito de la aplicación de cogeneración la operación simultánea de los receptores de calor y de los usuarios de energía eléctrica de autoproducción.

Los beneficios de la cogeneración de electricidad están representados por la auto producción de electricidad y por el ahorro de combustible para la secadora (o la extrusora); los costos consisten en el consumo de combustible para el sistema de cogeneración, para el mantenimiento de la cogeneración y para el contrato de rescate con un suministrador de electricidad, que es indispensable en caso de parada del sistema de cogeneración.

La rentabilidad de la cogeneración depende del (i) costo de la inversión, (ii) de la gestión del sistema de cogeneración (factor de la diversidad de cargas, tiempo de funcionamiento) y (iii) en el costo de la energía: la cogeneración es tanto más ventajosa cuanto mayor sea el costo de la electricidad y más bajo el costo del combustible. Esta última cuestión es actualmente el factor más crítico en la definición de la viabilidad del sistema de cogeneración, y el tiempo de recuperación de la inversión, dada la continua incertidumbre y los cambios en los precios de la energía en los últimos años.

El punto de partida para un proyecto correcto es representado por un estudio de viabilidad que tenga en cuenta los aspectos energéticos, técnicos y tecnológicos (temperatura de los gases de escape del cogenerador compatible con el proceso de producción, volúmenes de humo reconocidos completamente por máquinas térmicas conectadas al sistema de cogeneración,...), económicos, etc. (teniendo en cuenta los valores actuales de los precios de la energía y, sobre todo, de la seguridad).

Los sistemas de cogeneración que se utilizan generalmente están compuestos por turbinas y motores alimentados con gas natural, cuyas características se muestran en la Tabla 1.

turbina	característica	motores
22 ÷ 28	$\eta_c$ (%)	32 ÷ 40
65 ÷ 73	$\eta_t$ (%)	55 ÷ 60
5 ÷ 10	perdite (%)	5 ÷ 10

**Principal diferencia**

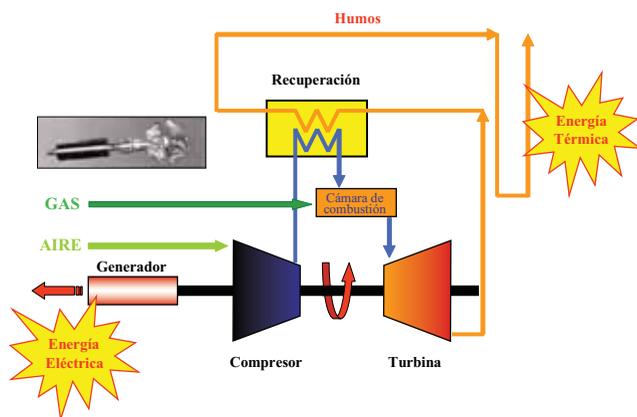
Mayor calor disponible	Menor calor disponible
Más alta temperatura de gas de descarga 480 ÷ 510 °C T <sub>m</sub> = 495 °C	Más baja temperatura de gas de descarga 330 ÷ 410 °C T <sub>m</sub> = 370 °C
Necesidad de funcionamiento continuo	Adecuada cuando el funcionamiento es discontinuo
Más bajos costos de mantenimiento	Más altos costos de mantenimiento
Más altos costos de inversión	Más bajos costos de inversión

Las turbinas de gas son particularmente convenientes cuando es posible recuperar grandes cantidades de calor en los receptores y donde hay condiciones de funcionamiento continuo sin demasiadas paradas. Las ventajas de las turbinas se manifiestan en plantas de mayor simplicidad y, en consecuencia, en costes de mantenimiento más bajos en comparación con los motores de gas. Por otro lado, los costes de inversión son mayores. En comparación con las turbinas de gas, los motores de gas tienen una mayor eficiencia eléctrica, mayor flexibilidad en términos de empleo y costos de inversión más reducidos. Por el contrario, el mantenimiento es más caro.

En el caso de aplicación de la cogeneración de la industria y el ladrillo, las turbinas proporcionan excesivas energías térmicas a la secadora, que por lo general ya tiene un calor residual del horno. Además, la temperatura del gas de combustión es muy alta (alrededor de 500 °C) y por lo tanto es necesaria una alta dilución del humo con el aire a temperatura ambiente para el correcto uso de la secadora. Por estas razones, las turbinas de gas no son generalmente adecuadas para la aplicación de la cogeneración a la industria del ladrillo.

Los motores de gas, con tamaños que van desde 350 kW a 1 MW de capacidad eléctrica, presentan energías térmicas más adecuadas a las necesidades actuales de la secadora. Además, el humo, con una temperatura de aproximadamente 100 °C más baja del que sale de una turbina de gas, necesita de una dilución menor y es por lo tanto más fácil de usar en la secadora. En consecuencia, los motores de gas son convenientes para la aplicación de la cogeneración en el ladrillo y hasta hace algunos años eran las únicas soluciones utilizadas.

En los últimos años se han realizado sistemas de cogeneración con pequeñas turbinas, llamadas microturbinas para distinguirlas de las mencionadas arriba, con energía eléctrica entre 30 y 250 kW, y con una eficiencia que alcanza el 30%. Una microturbina está esencialmente compuesta (Fig. 1) por un compresor, un quemador, una turbina, un generador de alta velocidad y un recuperador; la turbina, el compresor y el generador de energía eléctrica se ajustan en un solo árbol, para reducir el espacio. Las microturbinas permiten la coge-



neracion tambien a los usuarios con un consumo combinado de combustible que no sea particularmente alto, o al menos permiten la aplicación oportuna de la cogeneración también para máquinas individuales, con necesidades térmicas que no sean muy elevadas. Por lo tanto, las microturbinas son adecuadas para la aplicación de la cogeneración en la industria del ladrillo, especialmente cuando la demanda de calor de la secadora ya está bastante cubierta por el calor residual del horno y se ven favorecidas por el hecho de que algunas empresas de servicios ofrecen formas de contrato que pueden evitar el costo de la inversión (formularios de contrato de financiación a través de terceros).



Se reporta el caso de los hornos industriales Unieco Fosdondo (Provincia de Reggio Emilia, Italia) que en el 2004 instaló dos microturbinas Turbec T100P (Fig. 2), de 100 kW de potencia eléctrica, suministrada por un proveedor de electricidad.

La fórmula de financiación se compone de una cuota, que la compañía debe pagar al proveedor, incluyendo el costo de la inversión y el mantenimiento de las turbinas, así como los servicios de emergencia de la red cuando se detiene el sistema de cogeneración; el costo del gas natural para la alimentación de la turbina es pagado por la sociedad. Los costos son por lo tanto representados por un canon y por el gas natural para la alimentación de las turbinas, los beneficios consisten en la autoproducción de electricidad y en el calor recuperado de la secadora.

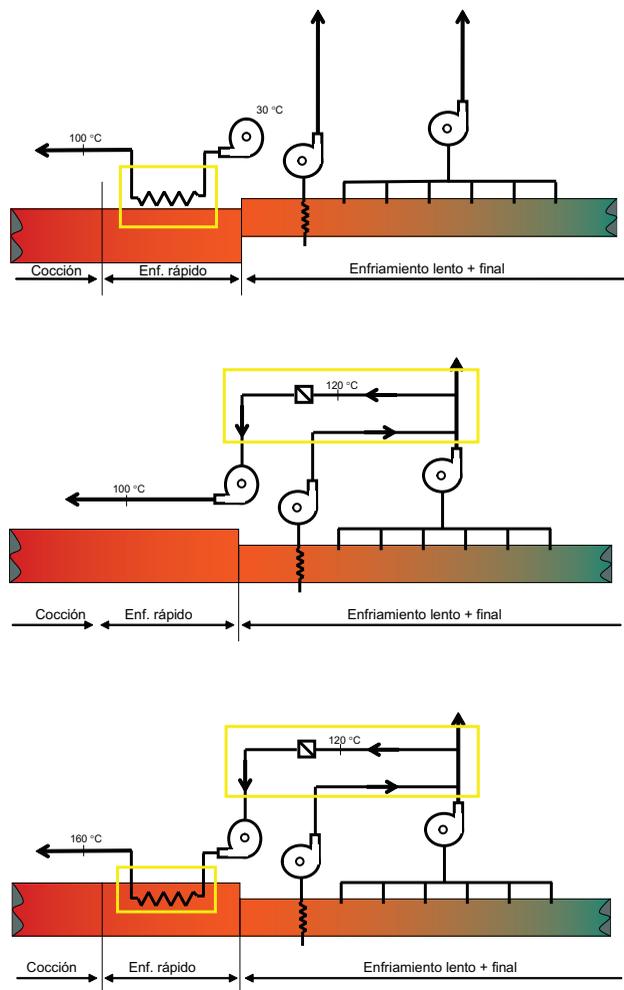
Entre el 2005 y el 2007, las turbinas han operado en la cogeneración 6.030 horas al año, con una producción promedio de 1.130.000 kWh / al año y con una recuperación de energía térmica para el secado equivalente a 250.000 Sm<sup>3</sup> (\*) de gas natural al año, presentando un rendimiento de 26.500 euros por año. En el tiempo de funcionamiento no se ha manifestado ningún problema particular con las máquinas, por las cuales se hicieron procedimientos específicos de mantenimiento de rutina que consistieron en la limpieza de los filtros de aire, por el proveedor.

(\*) 1 m<sup>3</sup> estándar equivale a 1 m<sup>3</sup> de gas a 15°C y 1013 mbar.

Hay que poner en evidencia que la empresa no ha hecho ninguna inversión en el sistema de cogeneración, pero sólo ha pagado una cuota, que podríamos considerar de alquiler, por el uso de las turbinas. La experiencia de la cogeneración con microturbinas fue sin duda positiva para el horno. Por desgracia, durante el 2008 se produjo la crisis, lo que obligó al horno a reducir a casi la mitad su volumen de producción durante los dos últimos años. Por lo tanto no se renovó el contrato con el proveedor de las microturbinas, que requiere una producción mínima del horno de diez meses a pleno rendimiento, cosa imposible en las condiciones actuales del mercado.

Recientemente, los proveedores de equipos, especialmente para el sector cerámico, han hecho grandes esfuerzos para mejorar la eficiencia energética de los hornos, confiando más en la recuperación de energía de residuos en el mismo horno.

Una primera solución es calentar el aire de los quemadores a través de un intercambiador de calor situado en la zona de enfriamiento rápido del horno (Fig. 3), una segunda solución (Fig. 4) consiste en tomar en la chimenea de enfriamiento una adecuada cantidad de aire y transmitirla, después de la filtración, al ventilador de aire de combustión. Ambos dispositivos permiten precalentar el aire destinado a los quemadores desde la temperatura ambiente hasta unos 100 °C, con la ventaja de reducir el consumo específico del horno en un 5%. El logro de estas dos soluciones (Fig. 5), permite precalentar el aire de combustión a una temperatura de unos 160 °C, logrando un ahorro energético de hasta un 10%.



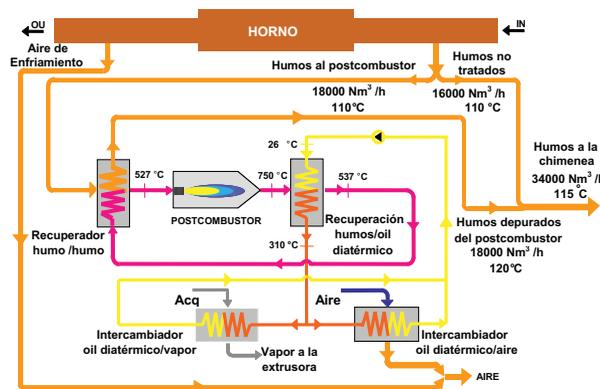
En la industria del ladrillo, este tipo de recuperación de calor no es considerada una prioridad debido a que el aire de enfriamiento del horno es siempre dirigido a la secadora, y generalmente no hay suficiente capacidad de volumen para realizar también la recuperación del horno. Se podría pensar, sin embargo, en asignar un menor volumen de aire de enfriamiento del horno a la secadora, a fin de efectuar la recuperación en el horno, y aplicar la cogeneración a la secadora. Así, frente a una mayor inversión, se lograrían ventajas tanto en la recuperación de calor como en la producción de electricidad con mayor eficiencia energética y menores costos de operación.

Otro ejemplo de recuperación del calor residual y de reducción de la carga de contaminación en la producción de ladrillos es el proyecto realizado para el horno Gattelli de Russi (provincia de Rávena, Italia) en el que se presenta una técnica para la eliminación de sustancias orgánicas volátiles, causada por la cocción de los ladrillos alveolares, a través de la post combustión térmica de los humos del horno con recuperación de calor. Como es bien sabido, los ladrillos alveolares tienen una estructura de panal de abejas con pequeñas cavidades, con dimensiones no superiores a 2,5 mm, sin comunicación entre ellos, para obtener así una reducción en el peso y, sobre todo, la conductividad térmica del material, sin disminuir su resistencia mecánica. La estructura celular se obtiene mediante la adición a la mezcla de bolas de poliestireno expandido (en algunos casos también en combinación con otros aditivos para combustibles como el aserrín, lodos de papelera, coque, carozos de aceituna, cáscaras de arroz) que al quemar durante la estadia en el horno, dejan un espacio vacío, solo el alvéolo. Las reacciones de pirólisis y combustión incompleta de estos aditivos llevan a la formación de sustancias orgánicas, en las cuales se hallan sin duda presentes aldehídos, así como otras sus-

tancias de diferente naturaleza (SDN) que se emiten por la chimenea del horno. Las SDN se pueden eliminar, o con procesos de separación, no convenientes para las concentraciones que se producen en el proceso del ladrillo panal, o a través de procesos de post-combustión de los humos. Estos últimos permiten oxidar los SDN contenidos en los gases de combustión, convirtiéndolos en vapor de agua y dióxido de carbono. Hay tres técnicas de post-combustión térmica, catalítica y regenerativa; la post combustión térmica presenta las ventajas de (i) una eficiencia de destrucción de las SDN casi total (ii) una pequeña huella de los equipos, (iii) una inversión relativamente pequeña, y (iv) un mantenimiento reducido.

Por otro lado, tiene un costo significativo de energía y por lo tanto mayores costos operativos derivados del precio del gas natural, que no obstante se puede reducir en gran medida si se disfruta mejor el desperdicio de energía en el proceso de producción; en otras palabras, si se recupera la mayor parte del flujo de calor residual. En el caso específico del horno Gattelli se ha pensado desarrollar y elaborar una técnica de post-combustión del secador y de la extrusora.

El horno a máxima potencia produce 27.000 kg / h de bloques de ladrillos de peso ligero en la masa. Los gases tienen un rango de 34.000 Nm<sup>3</sup> / h con una temperatura de 110 °C. Dado que la concentración promedio de materia orgánica en el humo del horno no resultó demasiado alta, se decidió diseñar la planta de reducción para tratar casi la mitad del volumen de humo que sale de la chimenea, o sea 18.000 Nm<sup>3</sup> / h. Por lo tanto se va optimizando el dimensionamiento económico del sistema, ya que se reduce la inversión para la post-combustión y al mismo tiempo se garantiza la eliminación de materia orgánica durante toda la emisión. La técnica de post-combustión y la recuperación de la energía de desechos se logra a través de un circuito (Fig. 6) donde 18.000 Nm<sup>3</sup> / h de gases de combustión a 110 °C, tomados del flujo global de humo saliendo del horno, se encuentran con un primer intercambiador gas-gas de haz de tubos, en los que se calientan a 527 °C a expensas del calor removido de los mismos gases de combustión después del tratamiento en la cámara de postcombustión.



Los humos así calentados entran en la cámara de post-combustión, donde se llevan a 750 °C para que los contaminantes se sometan al proceso de oxidación y sean sacrificados. La entrada de gas precalentado contribuye a ayudar a reducir la post-combustión de alrededor de 2.700 kW (2.326.000 kcal / h) el costo de la energía de la post-combustión, que, sin dicha recuperación sería igual a 4150 kW (3.570.000 kcal / h).

A la salida de la cámara de post-combustión, el gas entra en un segundo intercambiador de calor de gases de haz de tubos, donde dejan calor, elevando la temperatura del óleo térmico de 260 °C a 310 °C. El gas por lo tanto entra nuevamente en el primer intercambiador de calor, donde deja calor y se enfría hasta 120 °C, y luego se transporta a la chimenea, junto con la otra mitad del volumen de gas no purificado, donde sale a una temperatura de unos 115 °C. El calor recuperado en el segundo intercambiador de calor se trans-

fiere a través de un circuito de aceite térmico, a la secadora y a la extrusora. La elección del aceite térmico como fluido de transferencia de calor fue determinada por las grandes distancias que separan el punto de tratamiento de gases de combustión (post-combustión) de los puntos de destino de la recuperación de calor (especialmente la secadora). El aceite caliente, de hecho, tiene las ventajas de las pequeñas dimensiones, un mejor aislamiento y, sobre todo, una excelente estabilidad y rapidez del ajuste.

**El circuito con aceite térmico tiene dos intercambiadores:**

**a)** Un generador de vapor con aceite térmico (evaporador), donde se recuperan aproximadamente 600 kW (517.000 kcal / h) en forma de vapor para el proceso de extrusión.

**b)** Un intercambiador aceite térmico-aire al tubo para precalentar algo así como 70.000 Nm<sup>3</sup> / h de aire ambiente en la entrada a la secadora, con capacidad de recuperar un mínimo de 678 kW (583.000 kcal / h) hasta un máximo de 1.280 kW (1.100.000 kcal / h, cuando el evaporador está excluido).

Con este circuito se pueden recuperar alrededor de 1280 kW (1.100.000 kcal / h) a favor de la secadora, del extrusor, o de ambos. Esta flexibilidad es necesaria para la correcta gestión de la producción de ladrillos, por las (i) diferentes condiciones estacionales, (ii) los distintos tipos de material en la producción y (iii) los transitorios debido a los cambios de producción.

De hecho, en los meses de verano es más necesario contar con una importante producción de vapor para la extrusora, ya que la arcilla tiene poca humedad, mientras que la demanda de calefacción de la secadora está totalmente cubierta por el calor residual del aire de

enfriamiento que sale del horno; por lo contrario, en los meses de invierno, el aire que entra en el secador debe ser más caliente porque es más frío, mientras que el extrusor necesita de una menor cantidad de vapor ya que la arcilla está húmeda.

En la configuración descrita anteriormente el sistema recupera 2.700 kW (2.326.000 kcal / h) para el proceso de post-combustión y 1280 kW (1.100.000 kcal / h) para el proceso de producción (extrusión y secadora). Por lo tanto la recuperación de la energía del calor residual ayuda a superar casi en su totalidad el costo energético de purificación a través de la post-combustión. De hecho, el balance de energía térmica en la configuración restaurada es igual a 4150 - 3980 kW = 170 kW (144.000 kcal / h).

Esta cantidad de calor, que representa el gasto de energía de la post-combustión con recuperación de calor, equivale al 4% de los costes de post-combustión sin recuperación de energía; en otras palabras, este sistema hace que la post-combustión sea casi gratuita. Por último se presentan las siguientes técnicas de ahorro de energía, aplicadas con éxito en la industria del ladrillo:

- El uso de cadenas con grandes salidas;
- PFC (compensación) distribuida de las cargas eléctricas;
- El uso del inversor para regular el flujo de los ventiladores y bombas;
- El tamaño adecuado o el ajuste de la sección de los cables de alimentación y de tableros eléctricos;
- Transmisión de energía eléctrica de media tensión dentro de la planta y, más recientemente:
- La adopción de sistemas de iluminación de alta eficiencia con regulación del consumo de energía en función de las condiciones de luz ambiental. ■



## UNICERAMIK ( E.F.)

**UNICERAMIK ES LA DIRECCIÓN DE REFERENCIA DE**

**M TIP & IG S.r.L.:** Via Pilot, 1-10085 Pont Canavese (To) - Italia; Tel/Fax: + 39-0124-84469

**PROYECTOS - SUMINISTROS  
ENERGÍA - PROCESOS INDUSTRIALES - MINERÍA**



**Asesor: Ing. L. Ronchietto**

Via Pilot, 1 - 10085 Pont Canavese (To) - Italia; Tel./Fax: + 39-0124-84469. E-mail: info@tipeig.com

Calle J. Florio (ex Sarandí), 3748/3563; 1754 - San Justo, Matanza. Pcia. de Bs. As.

Tel.: 011- 4651-2032/6091; Fax: 011- 4441-4474; E-mail: info@tipeig.com

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS BALANCES ENERGÉTICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LADRILLOS

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGETIC BALANCES TO OPTIMIZE THE BRICK PRODUCTION PROCESSES

Giuliano Elmi, Chiara Elmi - GE.PR.IN srl (Módena, Italia) info@geprin.com

### Resumen

El estudio analiza los datos obtenidos entre 2008 y 2010 en un secadero y un horno en diferentes condiciones de operación. Los parámetros presentados en los diagramas de Sankey (diagramas de flujo) y otros gráficos (porciones y barras), ofrecen un panorama general de los procesos útiles para el estudio detallado de las condiciones físico-técnicas de las unidades térmicas en la fábrica de ladrillos. A la luz de la necesidad de reducir el impacto ambiental de diversos sectores industriales y con el fin de ahorrar energía, el presupuesto térmico es una herramienta útil de análisis que nos permite reconstruir en detalle el consumo de energía de las instalaciones de producción de ladrillos. En los casos analizados en este artículo, el examen del balance energético del secadero confirma la buena gestión. El presupuesto del horno A revela, sin embargo, anomalías relacionadas con las necesidades de mantenimiento. Los presupuestos de los hornos B, C y D, que testimonian una buena gestión, dan un medio de evaluación para posibles optimizaciones como, por ejemplo, un mejor uso de las recuperaciones de enfriamiento.

Palabras clave: balance de energía, procesos térmicos, fabricación de ladrillos

### Abstract

*The present study considers the data collected in 2008 and in 2010 on a brick's dryer and four kilns (A, B, C, D) in order to analyze the production process in different situations. Because of the need of reducing the environmental impact of different industrial sectors and for an energetic saving, the thermal balance is a good tool which helps to analyze in detail the energy use in the brickyards. The parameters presented in the Sankey's Diagrams (flow charts) and the other graphics (bar and pie charts) show the conditions which occur during the processes of brick production. These aspects are fundamental for diagnosing the physical and technical conditions in the thermal departments of the brickyards. In particular, in this paper, the examination of the energetic balance of the dryer confirms its good management. On the other hand, the energetic balance of A kiln shows faults because the kiln needs servicing. The B, C and D kilns energetic balances, which show their good management, provide evaluation tools such as a possible optimization of a better cooling recovery exploitations.*

Keywords: energetic balance, thermal processes, brick production

### Introducción

La convención ACIMAC - ANDIL, brindada en Rimini el 30 de septiembre en Tecnargilla 2010, fue dedicada al desarrollo de temáticas relacionadas con el ahorro de energía en la producción de ladrillos, considerando tanto los aspectos de la legislación, recientemente entrados en vigor (Directiva 2009/125 / CE), como casos innovadores y prácticos. Es, por lo tanto, de la mayor actualidad e importancia para todas las empresas que trabajan en la producción de ladrillos y tejas en general. A la luz de la necesidad de reducir el impacto ambiental de diversos sectores industriales y con el fin de ahorrar energía, el balance es una herramienta útil de análisis que nos permite reconstruir en detalle el consumo de energía de las instalaciones fabriles. En particular, nuestra contribución ("El balance de energía en un secadero y un horno de ladrillos. Un caso práctico") tuvo como objetivo proporcionar a los ingenieros y gerentes de planta un análisis para la comprensión de los parámetros que son cruciales en el proceso de producción, con representaciones esquemáticas de los estados financieros elaborados sobre la base de datos térmicos recogidos en el campo en diferentes situaciones termocinéticas. El análisis comparativo, descrito a continuación, nos permite desarrollar algunas consideraciones relacionadas con la interpretación de los procesos térmicos en producción de ladrillos y la elaboración de estrategias adecuadas para la optimización del proceso.

### Métodos

En este trabajo, vamos a examinar las medidas en los períodos de julio de 2008, junio y septiembre de 2010, en un secadero, y varios hornos (identificados por las letras A, B, C, D) analizados en situaciones termodinámicas diferentes.

Las mediciones se refieren al secadero por el periodo de septiembre de 2010 en una condición estable, pero no en la producción nominal. La Tabla 1 muestra la clasificación del secadero, la Tabla 2, los datos reales de producción hasta la fecha en que se han realizado las encuestas; la Tabla 3, el balance de masa del secadero.

Las medidas llevadas a cabo en los hornos A y B se refieren a junio de 2010 en términos de sistema de producción. En la Tabla 4 están los datos efectivos de la producción del horno A en la fecha en que se hicieron las encuestas, mientras que en la Tabla 5 figuran los datos efectivos de la producción del horno B a la fecha en que las encuestas fueron hechas. Las medidas llevadas a cabo en el horno C se realizaron en julio de 2008 en condiciones de sistema de producción. La Tabla 6 muestra los datos reales de la producción del horno C a la fecha en que las encuestas fueron hechas. Por último, los datos sobre el horno D se obtuvieron en septiembre de 2010 durante un cambio de carga del horno debido a la introducción de

un producto de peso total inferior al presente en la sección de enfriamiento. Por lo tanto, la cantidad de la producción fue menor respecto a los productos anteriores. La Tabla 7 lleva los datos de la calificación del horno. La Tabla 8 muestra los datos reales de producción del horno D a la fecha en que las encuestas se hicieron. Luego, hemos procesado los datos recogidos con el fin de hacer posible el análisis comparativo de balance de calor directo con representaciones gráficas.

Tipo de secadero		Semicontinuo a recirculación de aire
Producción diaria	T/d	1.350
Capacidad máxima de agua evaporada	kg/h	15.525
Capacidad de aire caliente introducido a 120 °	mc/h	609.000
Longitud de secadero	m	125,8
Ancho de secadero	m	24,3
Líneas	n.	7
Capacidad de los ventiladores internos laterales	m³/h	24.100
Cantidad de los ventiladores por línea	n.	21
Capacidad de los ventiladores internos centrales	m³/h	32.400
Cantidad de los ventiladores por línea	n.	21
Capacidad total	m³/h	5.775.000
Coefficiente de recirculación		9,5

Tabla 1- Resumen general estándar del secadero en cuestión

Producción diaria	T/d	1.008
Capacidad máxima de agua evaporada	kg/h	7140
Temperatura del aire ambiente	°C	23
Humedad del aire ambiente	%	51
Altura	s.l.m.	10

Tabla 2- Datos de producción y condiciones físicas y atmosféricas durante los análisis efectuados en el secadero

	entrada kg/h	salida kg/h
VDA aire ambiente	64.472,47	
VDA recuperación por el horno	132.616,45	
Aire inducido	44.422,99	
Enfriamiento de los rodamientos	9.137,98	
Recirculación de aire húmedo		
Recirculación del aire ambiente	21.990,37	
Recirculo de recuperación del horno		
Gas natural VDA	118,07	
Agua para evaporar		
Eyectores de aire húmedo		277.391,89
Dispersiones cubierta		
Dispersiones tuberías		
Pérdidas de camiones en salida		0,00
Producto	42.000,00	34860,00
Totales	314.758,33	312.251,89

Tabla 3- Balance de masa del secadero

Producción diaria	T/d	510,72
Temperatura del aire ambiente	°C	29,5
Humedad del aire ambiente	%	72
Altura	s.l.m.	150

Tabla 4- Datos de producción y condiciones físicas y atmosféricas durante los análisis efectuados en el Horno A

Producción diaria	T/d	419,69
Temperatura del aire ambiente	°C	25,8
Humedad del aire ambiente	%	81
Altura	s.l.m.	150

Producción diaria	T/d	366,39
Temperatura del aire ambiente	°C	34,3
Humedad del aire ambiente	%	84
Altura	s.l.m.	45

Tabla 6- Datos de producción y condiciones físicas y atmosféricas durante los análisis efectuados en el Horno C

Producción diaria	T/d	1.350
Carros por día	n.	64
Longitud del horno	m	200
Ancho	m	8
Recuperación con máxima producción	kcal/h	7.200.000
Consumo previsto	kcal/kg	320
Capacidad de energía eléctrica específica	kwh/t	8

Tabla 7- Datos generales estándar del horno D

Producción diaria	T/d	637,44
Temperatura del aire ambiente	°C	22
Humedad del aire ambiente	%	55
Altura	s.l.m.	10

Tabla 8 - Datos de producción y condiciones físicas y atmosféricas durante los análisis efectuados en el horno D

### Métodos y fórmulas de cálculo para la elaboración de los datos recogidos, tanto para los secaderos como para los hornos:

La fórmula para calcular la velocidad fue tomada de Daly [1], las fórmulas para el cálculo del flujo, tiempo de dispersión, paredes agujereadas y dispersiones fueron tomadas de Bost [2], AMCA [3] y Jorgensen [4], la fórmula de cálculo de tuberías de dispersión fue tomada de Eyclunent [5], la ecuación de aire húmedo se tomó de Foa [6]. El esquema adoptado para la representación de balance de energía es el de Sankey basado en la elaboración de los datos recogidos que se refieren a las condiciones estándar de 0° C y 1.013.250 Pa. Los valores de las energías entrantes y salientes fueron divididos en sus componentes y representados en formas porcentual y absoluta mediante gráficos de sectores.

### Resultados y discusión

#### Balance energético del secadero

El tipo de secadero en objeto es semicontinuo con ventilación transversal. La energía utilizada en el secadero viene de la recuperación del enfriamiento del horno y de los quemadores de aire en serie a lo largo de las líneas de proceso de entrada de aire y la recirculación de aire húmedo desde el eyector. El diagrama de Sankey de la figura 1 proporciona una visión inmediata de la energía de entrada y salida del sistema apuntada por las siguientes razones:

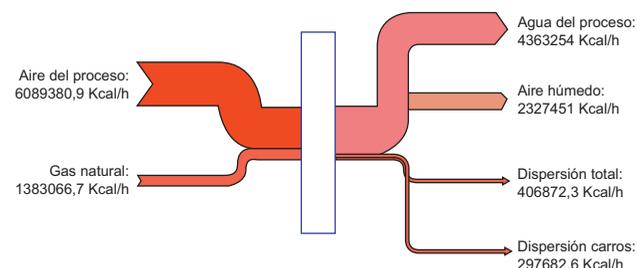


Fig. 1 Diagrama de Sankey del balance energético general.

- La energía de entrada se compone de los porcentajes de recuperación del horno y de la combustión del gas natural en los generadores en la vena de aire (VDA) (Fig. 2)

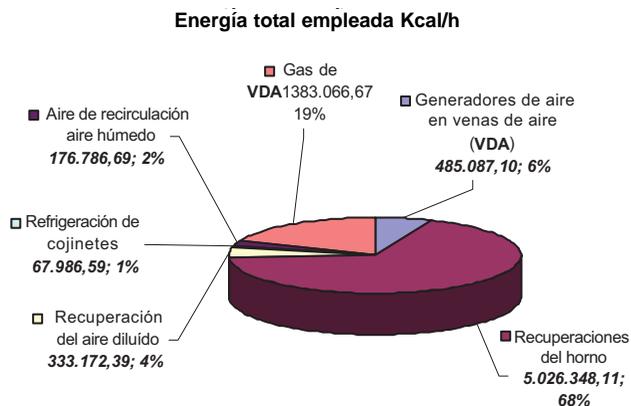


Fig. 2 Energía total puesta en el secadero, kcal/h.

• La energía de salida se utiliza principalmente en la evaporación del agua del proceso y en la dispersión en los eyectores de aire húmedo en tuberías (Fig. 3)

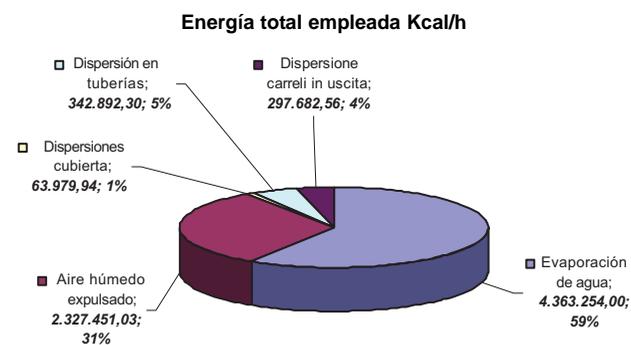


Fig. 3 Energía total utilizada y expulsada por el secadero.

• La energía específica (>900 kcal / l) que se refiere al litro de agua evaporada (Fig. 4) confirma el buen desempeño del secadero en cuestión.

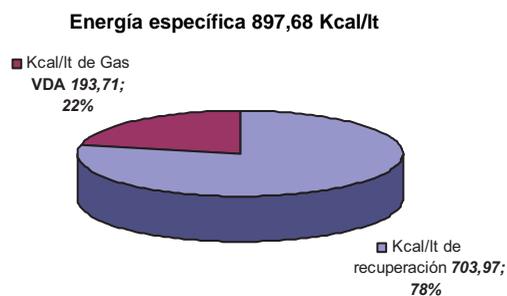


Fig. 4 Energía específica en relación al litro de agua evaporada.

• La energía específica (>200 kcal / kg) que se refiere a la unidad de peso del producto seco (Fig.5) también confirma la eficacia de la ejecución del secadero.

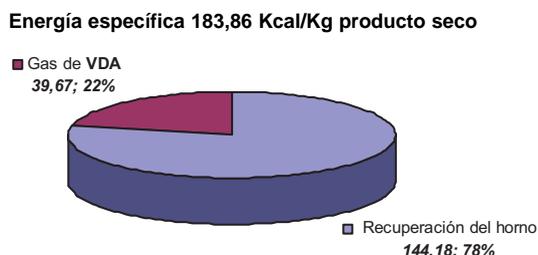


Fig. 5 Energía específica en relación al kg de producto seco.

• La Fig. 6 representa en valor absoluto y en porcentaje, la distribución de las fuentes de energía utilizadas en el proceso de secado. En particular, puede verse en la Figura 5.1 que la contribución principal proviene de la recuperación de refrigeración (≈ 80%), pero encontrándose en proceso de transición lejano de una situación de régimen estable. El 20% restante proviene de generadores de conductos (VDA) instalados en serie en las tuberías de entrada de aire en el proceso y la recirculación del aire húmedo retirado de los colectores de los expulsores. El balance de masa que se muestra en la Tabla 3 confirma la exactitud de las mediciones de energía descritas anteriormente. La masa entrante, bajo la forma de recuperación del horno, y el aire del proceso directamente introducido en el secadero, resulta (con un error menor al 1 %) igual a la masa de aire húmedo expulsado a las chimeneas.

Energía de recuperación del horno y VDA Kcal/h

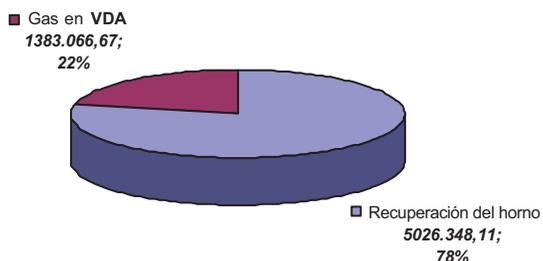


Fig. 6 Fuentes de energía utilizadas en el secadero.

### Balance energético de los hornos de A, B, C y D

Tratamos juntos los hornos A y B, objetos de las medidas adoptadas en junio de 2010, ya que, en paridad de productos y de calidad, presentan parámetros específicos diferentes. El objetivo ha sido analizar las causas de esta discrepancia mediante el análisis de los balances de masa y energía.

Las mediciones se realizaron en la sesión de extracción de humos y en la de recuperaciones por enfriamiento rápido y lento, recorridas por la totalidad de las masas que participan en los hornos, salvo dispersiones anómalas en el medio ambiente a través de la carcasa y conductos. En el caso de los hornos A y B, vamos a considerar, como herramienta de análisis, el único parámetro de la energía específica en kcal / kg de producto cocido. Así obtendremos una comparación directa de la situación termo-fluido-dinámica de los dos hornos. Los parámetros específicos de las chimeneas de los hornos A y B muestran una clara anomalía en el horno A (211,21 Kcal / kg) en comparación con el valor que se considera como punto de referencia (benchmark) (80-90 Kcal / kg), mientras que el horno B (101,23 kcal / kg), sin embargo, es comparable al punto de referencia. También los diagramas de Sankey de la sección de enfriamiento del horno A (Fig. 7) y Horno B (Fig. 8) revelan la misma anomalía de una manera simétrica (energía total específica extraída del enfriamiento del horno A = 419,55 kcal / kg ; energía específica

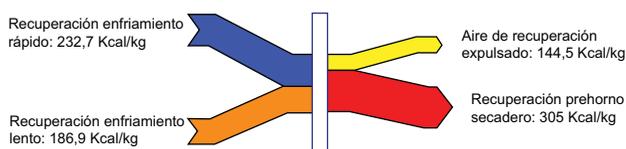


Fig. 7 Recuperación del enfriamiento del horno A.

total extraída del enfriamiento del horno B = 235,54 kcal / kg). Subrayamos que el rendimiento de la energía disponible para la recuperación del horno A es mayor que la demanda del secadero

por la que es expulsada a la atmósfera (114,51 Kcal / kg). Por otro lado, la energía extraída de la refrigeración de la sección del horno B requiere una modesta contribución desde el aire ambiente (7.73 kcal / kg.) para integrar la energía necesaria para el secadero.

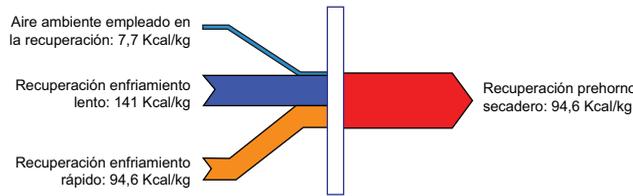


Fig. 8 Recuperación del enfriamiento del horno B.

El enfriamiento del aire de las zorras representa alrededor del 11% de la totalidad de recuperación del horno A (45,87 kcal / kg), mientras que en el horno B no está predispuesta la recuperación del enfriamiento de las vagonetas. Es importante tener en cuenta que la calidad de la producción de los hornos A y B es intachable, incluso en presencia de varios parámetros específicos. La razón de esta discrepancia no se debe a diferentes técnicas de manejo de los hornos, sino a la entrada del aire ambiente en la sección de precalentamiento del horno, debido a un deterioro progresivo de la capacidad de la bóveda suspendida. La restauración de la misma llevará nuevamente los parámetros específicos a la normalidad. El horno C se examinó en julio de 2008 para una operación de rutina normal y para evaluar cualquier margen de mejora en la gestión del sistema. El diagrama de Sankey de la energía (Fig. 9) devuelve una imagen de un horno bien gestionado y con parámetros generales normales (chimenea de gas de eyección = 64,14 Kcal / kg; Energía específica total extraída del enfriamiento = 211,59 kcal / kg). El aire de refrigeración de los carros (en parte no recuperado) contribuye en un 10% a la recuperación total del horno (20,09 Kcal / kg). La energía necesaria para el secadero está completamente asegurada con la recuperación

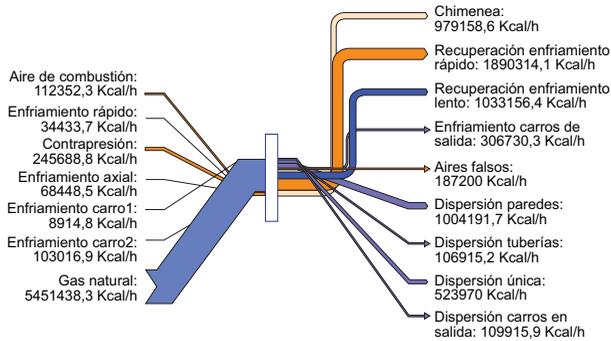


Fig. 9 Balance de energía del horno C.

del horno salvo en temporadas climáticas excepcionales. Por último, la cifra de consumo específico referida al peso del producto cocido es igual a 357,11 kcal / kg. El horno D se puso a prueba en septiembre de 2010 junto con el secadero objeto de este estudio, para seguir el progreso y el impacto del inicio y la incidencia de la fase de transición hasta alcanzar el equilibrio térmico durante los cambios de producción.

El diagrama de Sankey de la Fig.10 referido a las condiciones normales (0°C y 1013 mBar) fue compilado durante un cambio de producción en la transición de un producto que tenía un peso 40% mayor del que había sido puesto en el momento de la recolección de datos. Los gráficos circulares de las figuras 11 y 12 examinan de manera más analítica los componentes que contribuyen a la hoja de balance de energía global del horno D. La energía puesta en el horno D está provista aproximadamente en un 80% por la combustión de

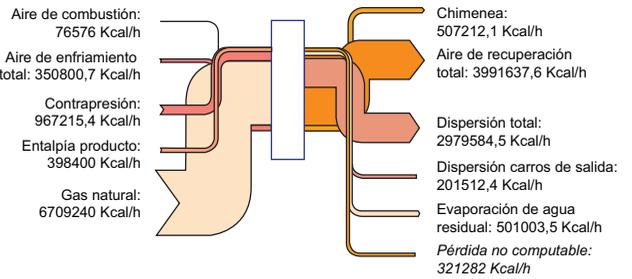


Fig. 10 Balance de energía del horno D

gas natural y el restante 20% del aire ambiente a través del aire de combustión, del enfriamiento y sobre todo del aire de contrapresión. La mezcla contiene una proporción no significativa de materia orgánica que, a su vez, ingresa al sistema el 5% de la energía total. La energía utilizada, expulsada con la extracción de humo de las chimeneas, es de un 6% del total. La incidencia de la dispersión por la irradiación involucrada (27%) y por las tuberías (8%) está ligada a la baja explotación del horno, y a la particular etapa de transición del trabajo del horno. En la recuperación del enfriamiento prevalece el enfriamiento lento

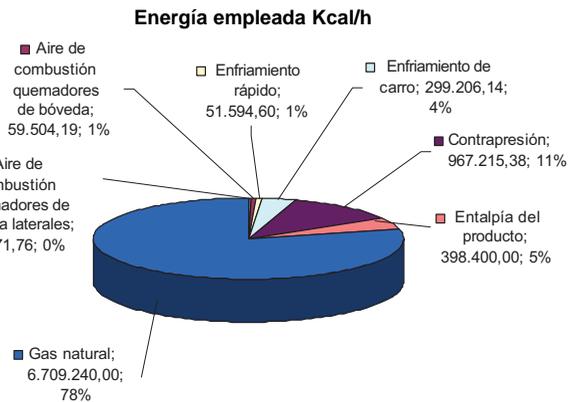


Fig. 11 Energía puesta en Kcal /kg del horno D.

(29%) en comparación con el enfriamiento rápido (10%). Las pérdidas de las vagonetas de salida dispersan sólo el 2% de la energía utilizada: la producción horaria en el momento del análisis resultaba inferior al 50% de la tensión nominal y la temperatura de salida del producto era ligeramente superior a la temperatura ambiente. Los parámetros específicos de la energía del horno D (chimenea de expulsión de humo = 19,10 Kcal / kg; energía específica total extraída del enfriamiento = 149,19 kcal / kg) fueron expuestos para que puedan ser comparados con los de los Hornos A B C. El aire de refrigeración de las zorras (totalmente recuperado) (25,17 kcal / kg) contribuye en alrededor del 17% a la recuperación total del horno. La energía necesaria al secadero está asegurada en un 80% gracias a la recuperación del horno. Por último, el consumo específico que se refiere al peso del producto cocido es igual a 252,61 kcal / kg.

Para obtener una visión general de los parámetros específicos de los Hornos A B C y D, los hemos reunido en los gráficos de barras (Fig. 13 y 14). La Fig. 13 da una visión general de la energía específica de los Hornos A B C y D, referida al kg de producto cocido con los valores analíticos de refrigeración a alta temperatura (RAT), de enfriamiento a una temperatura baja (RBT), de la contribución de la refrigeración de los carros y de la cantidad de calor que efectivamente pasa a los secaderos.

La dispersión de los valores es particularmente fuerte y sugiere las siguientes consideraciones:

- Los parámetros del Horno A están condicionados por los anóma-

Energía empleada Kcal/Kg

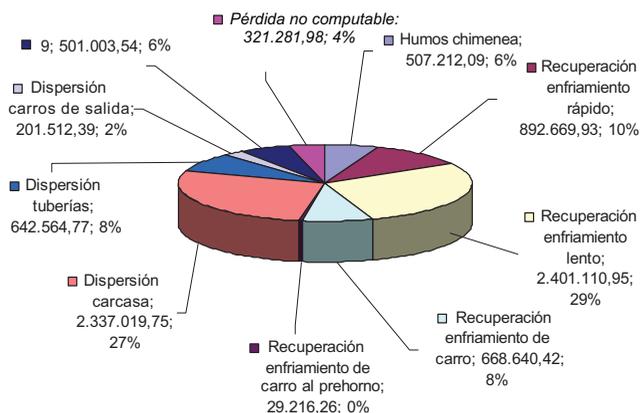


Fig. 12 Energía utilizada, Kcal / kg, horno D.

los aires falsos aspirados del arco degradado en la sección de precalentamiento. Los valores elevados de la chimenea son simétricamente debidos a los altos valores del enfriamiento y en particular durante el enfriamiento lento afectando la alta potencialidad productiva del sistema. Restablecer las condiciones originales garantizará excelentes parámetros de producción, sea en términos de energía utilizada o en términos de cantidad.

- El horno B parece ser bien gestionado y con buenos parámetros generales.
- El horno C tiene buenos parámetros específicos y parece ser usado en todo su potencial. Los márgenes de mejora podrían incluir una gestión más eficiente de la refrigeración de los carros.
- El horno D, a pesar de las condiciones de la transición y de la cantidad de producción por hora, distante de la considerada estándar, muestra los mejores parámetros de la figura 13 para un uso adecuado de gas natural (aire / total de gas es igual a 1,075) el empleo racional de la refrigeración por aire y luego la baja pérdida de energía expulsada a la chimenea (6% del total).

La figura 14 ofrece una visión general de la masa específica por kg

Síntesis de los parámetros Kcal/Kg

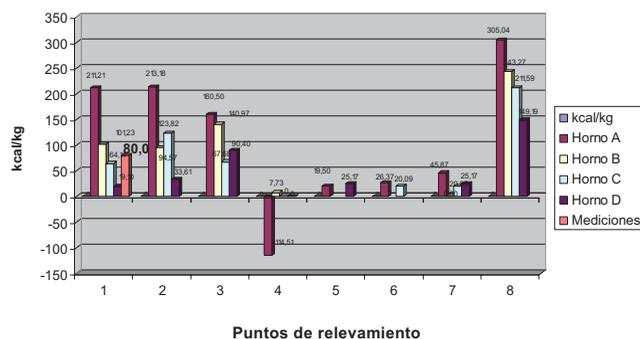


Fig. 13 Resumen de la energía específica, en Kcal / kg, de los Hornos A B C y D

de producto cocido de los Hornos A B C y D:

- El horno A presenta valores de la chimenea particularmente altos (más o menos 6 kg / kg) en comparación con el valor de referencia de 2,5 kg / kg, y por lo tanto, valores anómalos en cualquier otro punto de relevamiento.
- El horno B es normal, incluso con cierto grado de mejora
- El horno C resulta bien explotado (poco más de 2 kg / kg / a la chimenea)
- El horno D se caracteriza por parámetros muy por debajo del punto de referencia ("benchmark") (poco más de 1 kg / kg / a la chimenea) con un óptimo potencial de producción.

Conclusión

La exposición sintética de los balances de energía en el secadero y en los hornos A B C y D a través de los diagramas de Sankey ofrece a técnicos y gestores de plantas una visión inmediata de la gestión de la sección térmica de la fábrica de ladrillos. La exposición de datos en forma gráfica, basada en una recolección rigurosa de los datos en el campo, se presta a muchas consideraciones sobre el diagnóstico de posibles anomalías técnicas (horno A) o sobre la gestión adecuada de los parámetros térmicos fluidodinámicos (horno D). Los diagramas circulares dan una representación más analítica de todos los componentes del balance de energía y brindan una con-

Síntesis de los parámetros Kg/Kg

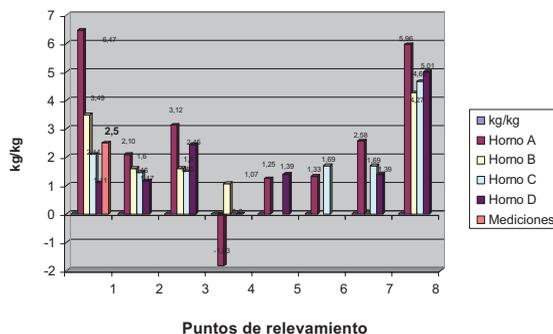


Fig. 14 Resumen de la masa específica, kg / kg, de los Hornos A B C y D

tribución esencial para el correcto uso de las instalaciones. Los gráficos de barras donde se comparan los valores calculados con el valor del índice de referencia "benchmark" (chimenea de hornos A B C y D) son la herramienta más eficaz para el análisis comparativo de los datos obtenidos.

Bibliografía

- [1] B.B.Daly. *Manuale di aeraulica Tecnica della ventilazione*, Ed. Fläkt Woods, Milano 1997.
- [2] M. Bost (eds.) *Les Fours industriels à résistances électriques*, Dopee, Paris 1989.
- [3] AMCA (Air Movement and Control Association Inc) *I ventilatori nei circuiti aerlici: análisis dei circuiti, calcolo dei fattori di influenza su componenti e prestazioni, metodi di misura delle prestazioni*, PEG, Milano 1994.
- [4] R.Jorgensen *Fan Engineering*, Buffalo Forge Company, New York 1983.
- [5] B. Eyglunent *thermique théorique et pratique*, Hermes, Paris, 1994.
- [6] E. Foa *Elementi di Fisica Tecnica*, Casa Editrice Prof. Riccardo Patron, Bologna 1965. ■

Modern German brickworks

Mothballed due to excess capacity. For 200–1,000 t/d masonry and facing bricks and 5–10 million roof tiles per annum. For reconstruction worldwide. All engineering from dismantlement to recommissioning included

Moderna fábrica alemana de ladrillos

Inactiva debido a exceso de capacidad. Con producción de 200 a 1000 t/d de mampostería y ladrillos cara vista y 5 a 10 millones de tejas al año. Para reconstrucción en todo el mundo. Toda la ingeniería desde el desmantelamiento a la reanudación incluida

www.used-brickworks.com