



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL
DE ZARAGOZA**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**AUDITORÍA ENERGÉTICA: EMPRESA DEL SECTOR
CERÁMICO**

ALUMNO: Elazar Herrero Gascón

ESPECIALIDAD: Mecánica

DIRECTORES: Javier Uche Marcuello

Amaya Martínez Gracia

CONVOCATORIA: Diciembre 2011

RESUMEN

El objeto de este proyecto es la realización una auditoría energética en una empresa del sector cerámico que se dedica a la principalmente fabricación de baldosas de distintos tipos.

Hay que destacar que este proyecto es una parte de una auditoría energética más completa realizada por CIRCE. Dicha auditoría es llevada a cabo en las instalaciones de la empresa Gres Aragón en Alcañiz, que aporta los datos para este proyecto.

En primer lugar se explica el contexto a partir del cual surge una preocupación mayor por el medioambiente y la eficiencia energética a lo largo de todo el planeta. De esta preocupación surgen políticas gubernamentales que impulsan medidas en este sentido, una de las cuales es la promoción de auditorías energéticas.

En segundo lugar se muestra un informe comparativo del sector cerámico tanto en España como en el mundo. Se muestran datos que señalan la importancia de este sector dentro de nuestra economía y como está posicionado nuestro país respecto al resto de competidores.

Seguidamente se aborda el tema de definir qué es una auditoria energética, explicando brevemente sus objetivos, sus fases de actuación y sus grados de complejidad.

A continuación se muestra un análisis de cómo se debe abordar el caso que se trabaja para realizar una auditoría energética. Se señala principalmente cómo se consigue la base a partir de la cual se construye el resto de la auditoría.

Después hay una descripción detallada del proceso de fabricación. En él se muestra tanto el equipamiento como el funcionamiento de las diversas zonas en las que se divide el proceso productivo.

Finalmente se hace un análisis de consumos de combustible por equipos, el cual indica la importancia de la mejora de la eficiencia del horno. Justificado por ello se procede a realizar un examen de las pérdidas de calor que se producen en las zonas cubiertas por material refractario.

Índice

1.	Contexto actual:	4
1.1.	Problemática medioambiental.....	4
1.2.	Consumo energético del sector industrial en España.....	6
1.3.	Acciones de mejora de la eficiencia energética.....	9
2.	La Industria Cerámica.....	11
2.1.	La Industria Cerámica de azulejos y baldosas en el Mundo.....	12
2.2.	La Industria Cerámica de azulejos y baldosas en España.....	15
3.	Concepto de “auditoría energética”:	19
3.1.	Fases de actuación:	20
3.2.	Tipos de auditorías energéticas:	21
3.2.1.	Auditoría Básica.....	21
3.2.2.	Auditoría General	21
3.2.3.	Auditoría completa.....	22
4.	Auditoria de la empresa	23
4.1.	Diagnóstico de la situación actual de la empresa:	23
4.2.	Recolección de datos:	23
4.3.	Know How de la empresa:.....	25
5.	Proceso de fabricación de baldosas cerámicas	26
5.1.	Preparación de las materias primas.....	26
5.2.	Conformación de las piezas.....	27
5.2.1.	Prensado.....	27
5.2.2.	Extrusión.....	27
5.2.3.	Secado de piezas conformadas.....	28
5.3.	Cocción o cocciones, con o sin esmaltado.	29
5.3.1.	Esmaltado.....	29
5.3.2.	Cocción de las piezas.....	29
5.4.	Clasificación y embalado.....	31
6.	Descripción del proceso de fabricación de una empresa tipo	32
6.1.	Etapa de molienda	33
6.2.	Etapa de extrusión	35
6.3.	Etapa de secado	36
6.3.1.	Destonificador de bandejas.....	36
6.3.2.	Secadero túnel	37



6.3.3. Cámaras de secado.....	38
6.3.4. Cámara de calentamiento	43
6.4. Etapa de esmaltado.....	43
6.5. Etapa de cocción	45
6.6. Etapa de selección.....	49
6.7. Equipos mecánicos.....	50
6.8. Equipos consumidores de gas natural.....	51
7. Planteamiento de las distintas áreas de análisis.....	52
8. Análisis del consumo de Gas Natural	53
9. Estudio localizado de pérdidas en refractarios del horno	55
9.1. Temperatura exterior del Horno.....	56
9.2. Configuración de los aislantes.....	63
9.3. Curva de Temperaturas del horno	66
9.4. Conductividad térmica (W/m*K) de los materiales del horno.....	69
9.5. PÉRDIDAS DE CALOR EN EL HORNO	71
9.5.1. PÉRDIDAS PAREDES HORNO.....	73
9.5.2. PÉRDIDAS TECHO HORNO	74
9.5.3. PÉRDIDAS VAGONETAS HORNO	75
9.6. Resumen pérdidas en el horno	76
10. Conclusiones.....	78
11. BIBLIOGRAFÍA.....	84

1. CONTEXTO ACTUAL:

1.1. Problemática medioambiental

Hoy en día, en el mundo hay una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente. Como gran tema de debate de esta preocupación está el cambio climático en el que un grupo de gente cree que están ocurriendo cambios a lo largo de todo el planeta en los que se denomina “calentamiento global”. Por otro lado está el grupo que defiende que son cambios ajenos a la actividad humana o que realmente no se están ocurriendo dichos cambios.

Para comprobar qué es lo que realmente está sucediendo debemos acudir a datos objetivos y comparables a períodos anteriores. Según datos de la NASA las masas de hielo del ártico que sobreviven a los veranos sólo son ahora un 10 por ciento del total mientras que hasta 1990 eran de entre un 30 a un 40 por ciento. Además dicha agencia toma parte activa en la investigación de cómo está disminuyendo la extensión de ambos polos.



Figuras 1 y 2. Situación del Ártico en verano. A la izq 1979, a la drcha. 2003

Por otro lado podemos encontrar numerosas pruebas de una elevación de las temperaturas a través de la evolución de los glaciares. A lo largo de todo el planeta nos encontramos el mismo panorama: glaciares que cada año retroceden más y más. Es tal la magnitud de este hecho que podemos encontrar medios de comunicación habituales haciendo eco de este hecho.

Como dato cabe destacar que se estima que el Kilimanjaro (la montaña más alta de África con 5891,8 m) pueda llegar a perder su masa de hielo y nieve en 20 años.

En respuesta a este suceso mundial los países desarrollados en el marco de la ONU crearon el Protocolo de Kioto para realizar una acción conjunta destinada a disminuir las emisiones contaminantes causantes del calentamiento global. En este tratado los países firmantes se comprometían a disminuir entre un 7% y un 8% (habiendo excepciones) sus emisiones respecto a niveles de 1990. Estados Unidos siendo uno de los principales países contaminantes no ha ratificado el protocolo.

1.2. Consumo energético del sector industrial en España

La situación y evolución de las emisiones contaminantes de nuestro país según datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) es la siguiente:

El consumo energético de las empresas industriales alcanzó la cifra de 9.682 millones de euros en el año 2009. Este dato supone un descenso del 11,8% respecto al registrado en 2007, último año del que se tienen datos.

Los principales productos energéticos utilizados por las empresas industriales fueron la electricidad (54,2% del total), el gas (27%) y los productos petrolíferos (13,7%). En la siguiente tabla se muestra con más detalle los datos de consumo por energías:

Distribución de los consumos energéticos en la industria

	Datos 2009	% sobre el total	Variación 09/07
Carbón y derivados	187.808	1,9%	-35,0%
Gasóleo	868.948	9,0%	-32,0%
Fueloil	320.889	3,3%	-13,0%
Otros productos petrolíferos	140.741	1,5%	-45,6%
Gas	2.610.574	27,0%	-14,3%
Electricidad	5.245.388	54,2%	-0,5%
Otros consumos energéticos	307.540	3,2%	-24,5%
Total	9.681.887	100,0%	-11,3%

Tabla 1. Distribución de los consumos energéticos en la industria

Como indica la siguiente tabla, hay una disminución general del consumo energético en todos los sectores industriales, la única excepción es la del sector de *Alimentación, bebidas y tabaco*. De los sectores que han conseguido disminuir sus gastos destacan el de *Industrias extractivas* y el de *Industria textil, confección, cuero y calzado*.

Evolución de los consumos energéticos por principales ramas de actividad

	Datos 2009	Variación 09/07
Industrias extractivas	483.204	-26,7%
Alimentación, bebidas y tabaco	1.662.941	11,2%
Industria textil, confección, cuero y calzado	217.431	-27,6%
Madera, corcho, papel y artes gráficas	1.026.773	-4,9%
Industria química y farmacéutica	1.440.132	-5,8%
Otra industria manufacturera	4.851.407	-17,1%
Total Industria	9.681.887	-11,3%

Tabla 2. Evolución de los consumos energéticos por principales ramas de actividad.

En cuanto a los datos de volumen de consumo, las agrupaciones de actividad con mayor consumo energético en el año 2009 fueron *Metalurgia y fabricación de productos metálicos* (con el 21,1% del total), *Alimentación, bebidas y tabaco* (17,2%), *Productos minerales no metálicos diversos* (15%) e *Industria química y farmacéutica* (14,9%) La distribución del gasto por sectores se muestra en el siguiente gráfico:

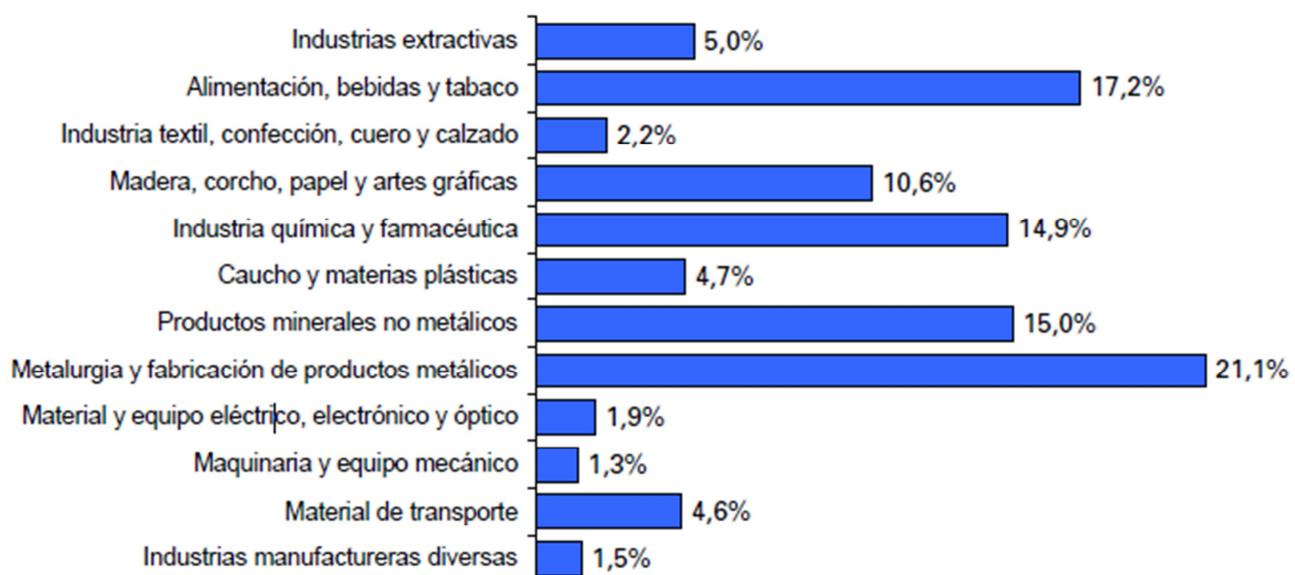


Tabla 3. Porcentaje de gasto energético por sector.

El sector objeto de nuestro estudio (*Productos minerales no metálicos*) supone un 15% del consumo total de la industria y por lo tanto adquiere una gran importancia a nivel nacional para conseguir los objetivos nacionales de eficiencia energética y sostenibilidad.

Si además atendemos al tipo de energía utilizada en sectores más definidos, el sector de *Fabricación de productos cerámicos para la construcción* es el que mayor porcentaje de gas utiliza como fuente de energía siendo casi del 70% como se observa en la siguiente tabla:

Los 10 sectores con mayor uso porcentual de gas

Sector de actividad	Gas
Fabricación de productos cerámicos para la construcción	69,7%
Fabricación de productos abrasivos y productos minerales no metálicos n.c.o.p.	60,7%
Acabado de textiles	58,0%
Fabricación de fibras artificiales y sintéticas	54,5%
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	49,7%
Fabricación de pasta papelera, papel y cartón	48,6%
Azúcar, café, té e infusiones y productos de confitería	47,0%
Fabricación de productos cerámicos, excepto los destinados a la construcción	46,8%
Pinturas, barnices, tintas de impresión y masillas	46,6%
Fabricación de productos químicos básicos	45,1%

Tabla 4. Sectores con mayor uso porcentual de gas.

En resumen, el sector al que pertenece la empresa de estudio es uno de los principales consumidores de energía del país, además la gran mayoría de esa energía consumida es en forma de gas. También se muestra un descenso del consumo de energía por parte de este sector y de casi todos los demás. (*Encuesta de Consumos Energéticos de 2009, INE. 2011*)

1.3. Acciones de mejora de la eficiencia energética.

La Comunidad Económica Europea con objetivo de promover la eficiencia como medio de desarrollo económico y respeto al medio ambiente redacta la Directiva 2006/32/CE, sobre eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. Esta normativa establece que los Estados Miembros deberán tomar medidas razonables, practicables y rentables con el fin de conseguir un ahorro energético del 9 % para el año 2016, con respecto al escenario tendencial que resultaría de considerar el consumo de energía final de los últimos 5 años.

En este marco, los objetivos establecidos en el *Plan de Acción 2008-2012* de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España superan el objetivo establecido en la Directiva, alcanzándose un ahorro del 11% ya en el año 2012 con respecto al escenario tendencial marcado por ésta.

Mediante este plan de acción se ha buscado cumplir los siguientes objetivos estratégicos:

1. Reconocer en el ahorro y la eficiencia energética un instrumento del crecimiento económico y del bienestar social.
2. Conformar las condiciones adecuadas para que se extienda y se desarrolle, en la Sociedad, el conocimiento sobre el ahorro y la eficiencia energética.
3. Impregnar el ahorro y la eficiencia energética en todas las Estrategias nacionales y especialmente en la Estrategia española de Cambio Climático.
4. Fomentar la competencia en el mercado bajo el principio rector del ahorro y la eficiencia energética.
5. Consolidar la posición de España en la vanguardia del ahorro y la eficiencia energética.

En la misma línea de trabajo que el Plan *Plan de Acción 2008-2012* se encuentra el nuevo *Plan de Acción 2011-2020* cuyo objetivo, establecido por el Consejo Europeo, es ahorrar un 20% de su consumo de energía primaria para 2020.

Las herramientas de estos planes de acción son por un lado campañas de información, acuerdos con asociaciones empresariales, cursos de formación y demás herramientas que no implican una intervención directa del estado. Por otro lado también se utilizan las subvenciones para la realización de auditorías energéticas y mejora de instalaciones y equipos.

Dentro de las acciones previstas para mejorar la eficiencia en el sector industrial tiene mucho peso la promoción de realización de auditorías energéticas mediante subvenciones. La cuantía de dichas subvenciones es del 75% del coste de la auditoría. De esta forma las empresas adquieren la información necesaria para realizar acciones que mejoren su eficiencia y evaluar adecuadamente nuevas inversiones en este sentido.

2. La Industria Cerámica

En general, el término «cerámica» se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener algún contenido orgánico) formados por compuestos no metálicos que son estabilizados mediante un proceso de cocción. Además de los materiales a base de arcilla, la cerámica incluye actualmente multitud de productos con una pequeña fracción de arcilla o ninguna en absoluto. La cerámica puede ser porosa o vitrificada.

La cocción de cuerpos cerámicos produce una transformación de los minerales constituyentes, que depende del tiempo y de la temperatura, y que en general da lugar a una mezcla de nuevos minerales y fases vítreas. Entre las propiedades características de los productos cerámicos figuran la elevada resistencia mecánica, la resistencia al desgaste, una vida útil larga, la inercia química (escasa reactividad), la inocuidad, la resistencia al calor y al fuego, la resistencia eléctrica (generalmente) y a veces también una porosidad específica.

Las materias primas cerámicas se encuentran distribuidas por toda Europa, de manera que ciertos productos cerámicos como los ladrillos, que son relativamente baratos (pero que suponen costes de transporte elevados debido a su peso) se fabrican en casi todos los Estados miembros. Debido a las tradiciones de construcción y a las consideraciones patrimoniales, la dimensión de las unidades difiere de un país a otro. Los productos más especializados, que exigen precios más elevados, suelen fabricarse principalmente en unos cuantos países que disponen de las materias primas especiales necesarias y, lo que es igualmente importante, de la tradición en materia de competencia y conocimientos técnicos.

2.1. La Industria Cerámica de azulejos y baldosas en el Mundo.

En cuanto a la producción mundial de este sector, se puede decir que hay un tipo de productores, encabezados por Italia, que ofrece un producto de calidad, diseño y un precio medio más elevado que el del segundo grupo de países fabricantes (centrados principalmente en zonas en vías de desarrollo o con un nivel de vida inferior al europeo, como pueden ser China, India, Indonesia, Brasil, etc.) que centran su estrategia en los menores costes de producción debidos al menor precio de la mano de obra, beneficios fiscales y subvenciones a la producción. Si bien este segundo grupo de productores se consideraba hasta hace poco como fabricantes de un material de baja calidad, en la actualidad algunas de sus empresas ofrecen al mercado un producto que no puede ser considerado de calidad inferior a otros de empresas del primero de los grupos comentados. Como dato interesante finales de 2005 China era el mayor productor mundial, con una cuota que estaba alrededor del 35 % del total y una producción de más de 2.500 millones de metros cuadrados de material. España e Italia tenían cuotas aproximadas del 9 % y del 8 %, respectivamente.

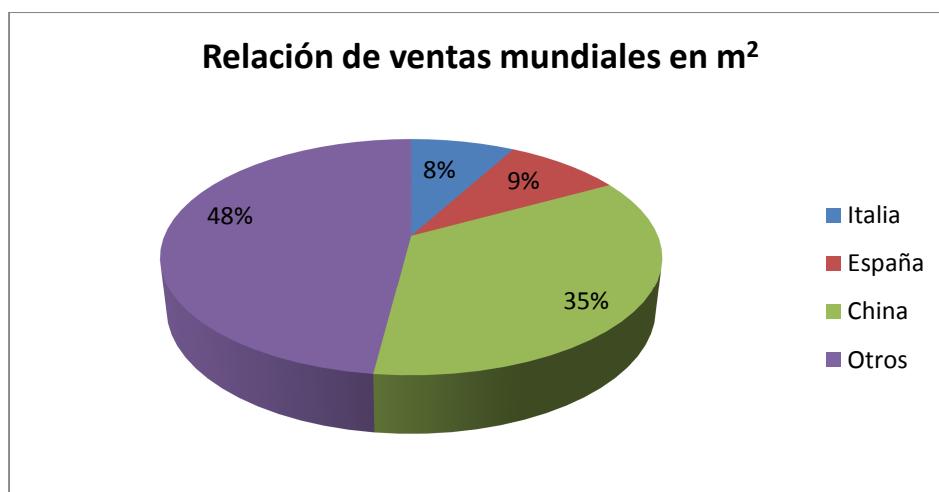


Figura 3. Distribución de las ventas mundiales en m^2

Como característica cabe destacar que China basa su fortaleza principalmente en un bajo precio que consigue gracias a la inexistencia de regulación medioambiental de la producción, a una mano de obra de muy bajo coste y al elevado número de horas que trabaja la fuerza laboral. Como punto débil podríamos citar la poca preocupación por la calidad y/o diseño de algunos de los productores chinos, la distancia física a los principales países consumidores (lo cual afecta negativamente al servicio) y el menor

conocimiento de los canales de distribución con respecto a los productores italianos y españoles (tanto es así que es difícil encontrar empresas chinas que ofrezcan a los distribuidores europeos la posibilidad de importar cantidades de material inferiores a un contenedor, es decir, cantidades mínimas de más de 1.000 metros cuadrados).

Por otra parte, con respecto a otro de nuestros principales competidores, como es el sector italiano, hay que apuntar que la industria cerámica de este país se encuentra concentrada casi en su 80 % en las provincias colindantes de Modena y Regio-Emilia, donde, además, también están localizados los principales fabricantes de maquinaria y tecnología para la producción cerámica mundial. Italia, al contrario que China, tiene unos precios medios más elevados que los españoles y que han conseguido, entre otros motivos, gracias al “made in Italy”, al prestigio del diseño italiano y a su imagen de país líder del sector (no podemos olvidar que cuando se habla de cerámica en cualquier parte del mundo, Italia es siempre la referencia de distribuidores y clientes).

Otra característica importante del sector italiano es que tiene una gran tendencia a las fusiones y adquisiciones. Así, hay grandes grupos que engloban diferentes empresas y marcas y que copan los primeros puestos en la lista de productores italianos y mundiales: Gruppo Marazzi (Marazzi, Ragno, Carofrance, Alfa,...), Gruppo Concorde (Atlas-Concorde, Caesar, Keope, Marca Corona, Refin, ...), Gruppo Iris (Iris, Granitifiandre, Ariostea), Gruppo Cooperativa Ceramica d'Imola (Imola Ceramica, Arkim, LaFaenza, Monoceram, Marmo Comprex, Leonardo, Omega,...) y así podríamos continuar con bastantes más ejemplos, ya que, como se ha dicho, la producción se encuentra bastante dominada por grupos cerámicos.

Con respecto al tema de la formación de grupos, en los últimos años en España estamos asistiendo a algunas adquisiciones y fusiones, si bien todavía no parece que alcancen las magnitudes y la importancia que tienen en el país trasalpino. Esta tendencia se está viendo confirmada recientemente con la entrada de algunas empresas en situaciones precarias (suspensiones de pagos y cierre de establecimientos productivos, en algunos casos) que ha sido aprovechada para que hayan sido compradas por otras mayores con la finalidad de crear grupos de producción (manteniendo en el mercado, en muchos casos, la duplicidad de marcas).

La situación expuesta indica que el sector español para ser competitivo debe ir más en la línea de trabajo y de orientación al mercado que marca Italia, es decir, luchar por la diferenciación de sus productos, la calidad y el precio medio alto y evitar entrar en una lucha de precios con la producción de países en vías de desarrollo en la que parece que tiene poco margen de maniobra y de beneficio, debido a los más elevados costes de producción con los que debe manejarse el sector español. (Valentín Gallart Camahort. EL SECTOR CERÁMICO ESPAÑOL: UN ENFOQUE DE MERCADO)

2.2. La Industria Cerámica de azulejos y baldosas en España

La industria española de baldosas representa el 14% de la producción mundial y un 37% en el ámbito de la Unión Europea.

La producción en el año 2009 fue de 324,4 millones de m² con una estimación de ventas totales de 2.591 millones de euros. Un dato importante es la importancia del consumo nacional en este sector (sobre el 30% - 40%). Por otro lado La exportación se realiza a 182 países con un valor de 1.673 millones de euros. Estas cifras están muy por debajo de las que se daban en años anteriores debido a la crisis especial que sufre el sector de la construcción y a la depreciación del Dólar frente al Euro. A pesar de la crisis vemos que tan solo las ventas directas del sector (sin tener en cuenta proveedores de materias primas, servicios, etc.) ya suponen la generación de negocio de un nivel económico elevado y digno de ser apreciado.

De la facturación global, el 65% corresponde a exportaciones y el resto de las ventas se destinan al mercado nacional. El sector cerámico español es una industria estratégica en la economía española, aportando un claro superávit comercial al conjunto del país. Su gran capacidad exportadora la sitúan entre los doce mayores exportadores de España y es la segunda industria que mayor superávit aporta a la balanza comercial de España. En la siguiente tabla se muestra una relación datos de producción y ventas.

	2.003	2.004	2.005	2.006	2.007	2.008	2.009
Producción (m²)	583,4	595,5	609,2	608,4	584,7	495,2	324,4
Ventas España (mill €)	1.379	1.500	1.609	1.799	1.871	1.460	918
Ventas Exportaciones (mill €)	1.939	1.977	2.041	2.183	2.295	2.211	1.673
Ventas totales (mill €)	3.318	3.477	3.650	3.982	4.166	3.671	2.591

Tabla 5. Relación de producción y ventas del sector cerámico español en los últimos años.

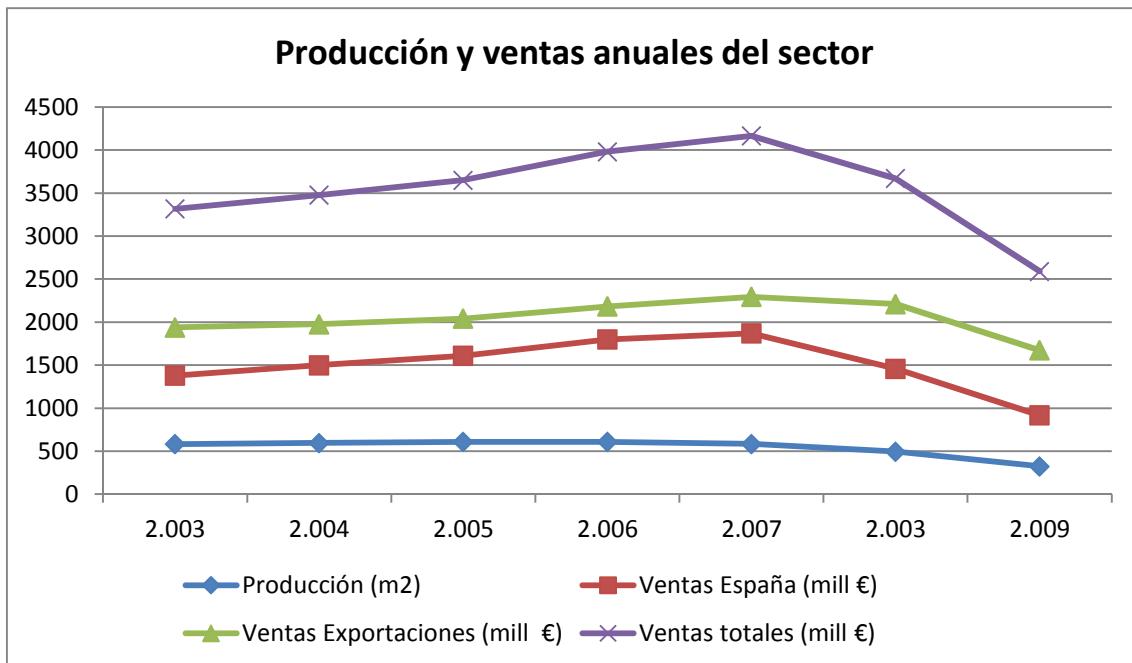


Figura 4. Gráfica de la producción y ventas del sector cerámico español.

Una de las principales características del sector azulejero español es la alta concentración geográfica de la industria en la provincia de Castellón, en especial en el área delimitada al norte por Alcora y Borriol, al oeste por Onda, al sur por Nules y al este por Castellón de la Plana. La proximidad geográfica de las empresas permite la interrelación entre ellas, acumulación y desarrollo de conocimientos así como de servicios de apoyo comunes.

Aproximadamente el 90% de la producción nacional en 2010 tuvo origen en esta provincia, donde se ubica el 80% de las empresas del sector. En su conjunto, se estima que el sector cerámico español daba empleo directo en 2010 a unos 16.200 trabajadores en empresas las que, en su mayoría (alrededor del 90%), el número de trabajadores es inferior a los 250, es decir, se podrían considerar Pymes.

La distribución de empresas del sector en la geografía española se muestra en la siguiente tabla:

Provincia	Número de Empresas
Castellón	120
Barcelona	8
Valencia	3
Zaragoza	2
Madrid	1
Teruel	1
Alicante	1
Córdoba	1
Gerona	1

Tabla 6 Distribución geográfica de las empresas del sector en España.

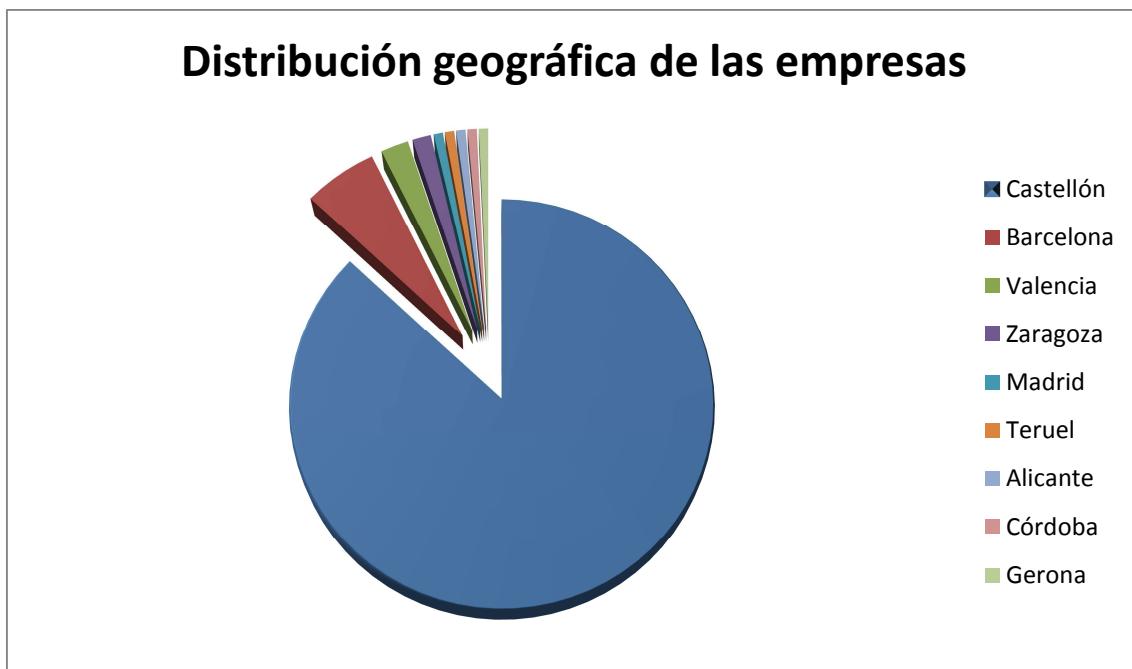


Figura 4. Gráfico circular de la distribución geográfica de las empresas del sector en España.

Pero esta importancia va más allá de estos datos y no debe ser limitada a los empleos directos que genera la producción de cerámica, sino que hay que tener muy en cuenta todo el volumen de negocio que se genera a partir de esta industria: proveedores de materias primas, esmaltes, transportes, maquinaria y servicios de mantenimiento, asesorías, consultorías, seguros, empresas de comunicación, periódicos sectoriales, hoteles, ferias y un largo etcétera que de manera más o menos directa se benefician de la riqueza generada por este sector y más si tenemos presente la concentración de la mayoría de empresas en una sola provincia.

3. CONCEPTO DE “AUDITORÍA ENERGÉTICA”:

Se entiende por “auditoría” un examen de una entidad (empresa, institución, organización, etc.) en el cual se analizan los aspectos deseados y se realiza una valoración sobre las posibles mejoras a implantar.

La Directiva 2006/32/CE define el término de auditoría energética del siguiente modo:

“Procedimiento sistemático para obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación industrial y/o de un servicio privado o público, determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía rentables y elaborar un informe al respecto”.

Además de analizar los aspectos internos es necesario tener en cuenta los aspectos externos relacionados con la temática de la auditoría. Sobre todo se debe conocer el marco legal y normativo del campo en el que se trabaja. También es aconsejable seguir los documentos de referencia del sector.

En el caso de una auditoría energética el análisis se hace sobre los consumos energéticos. Dependiendo del tipo de procesos a estudiar habrá que dar mayor importancia a uno u otro tipo de energía.

Por ejemplo, en el sector de la automoción es de vital importancia la conservación de la energía mecánica producida por el motor con sistemas de transmisión eficientes. En el sector petrolero hay que mantener la calidad de los productos para que no pierdan parte de la energía química almacenada. En la producción de energía eléctrica tanto la producción de electricidad como su distribución las deficiencias pueden tener unos pérdidas que repercutan económicamente en todos los sectores. En el caso estudiado la energía térmica es la protagonista, la energía a estudiar.

Los beneficios alcanzables en una auditoría son:

- ▲ Optimización del consumo energético y su consecuente ahorro de costes.
- ▲ Aumento del tiempo de vida de los equipos. Al trabajar en condiciones adecuadas los equipos tendrán mayor longevidad
- ▲ Mejora de la competitividad de la empresa al reducirse los costes.
- ▲ Ayuda a la conservación del medio ambiente al no consumir más energía de la necesaria y disminuir las emisiones de gases a la atmósfera. Esto ayuda también a mejorar la imagen de la empresa.
- ▲ Analizar la posibilidad de instalar energías renovables.
- ▲ Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento y eficiencia de los equipos e instalaciones. Este conocimiento puede ser reaprovechado para una posterior auditoría en el momento en que nuevas tecnologías o subvenciones permitan mejorar las instalaciones.

Como resultado de la auditoría se evitarán las propuestas generalistas, particularizándolas y cuantificándolas para las características concretas de la empresa auditada.

3.1. Fases de actuación:

La auditoría energética se desarrollará siguiendo tres fases de actuación:

1. Fase de diagnóstico de la situación actual: análisis de la situación actual de la instalación que se pretende auditor, caracterizando el tipo de empresa, su situación y entorno, los suministros energéticos y los sistemas consumidores de energía.
2. Fase de desarrollo: incluye mediciones de los principales parámetros y análisis de documentación, datos y estudio de mejoras.
3. Fase final: incluye la redacción del informe técnico y económico de auditoría con la situación prevista, aportando las mejoras necesarias para conseguir su optimización energética, económica y medioambiental.

3.2. Tipos de auditorías energéticas:

El término auditoría energética es comúnmente utilizado para describir un amplio espectro de estudios energéticos que van desde un rápido paseo a través de un procedimiento para identificar los principales problemas; a un análisis exhaustivo de las implicaciones de otras medidas de eficiencia energética suficientes para satisfacer los criterios financieros solicitados por los inversores. Tres programas comunes de auditoría se describen en mayor detalle a continuación, aunque las tareas realizadas y el nivel de esfuerzo puede variar con el consultor que presta servicios en virtud de estos grandes apartados. La única manera de garantizar que una propuesta de auditoría que satisfaga sus necesidades específicas es precisar los requisitos detallados en un ámbito de trabajo.

3.2.1. Auditoría Básica

Este tipo de auditoría es el más simple y más rápido. Se trata de un mínimo de entrevistas con el personal de operación, una breve reseña de las instalaciones, de facturas de servicios públicos y otros datos de explotación. Es aconsejable un examen de las instalaciones para familiarizarse con el proceso productivo y el lugar de trabajo para identificar cualquier zona de desperdicio de energía o de ineficiencia.

Típicamente, sólo las principales áreas problemáticas se descubren durante este tipo de auditoría. Las medidas correctivas se describen brevemente, y rápida aplicación de estimaciones de costos, el potencial de ahorro de costes de explotación, simple y períodos de amortización. Este nivel de detalle, aunque no suficiente para llegar a una decisión final sobre la ejecución de un proyecto de medidas, es suficiente para dar prioridad a proyectos de eficiencia energética y para determinar la necesidad de una auditoría más detallada. (Albert Thumann, 1998).

3.2.2. Auditoría General

La auditoría general se expande sobre el anteproyecto de auditoría que se ha descrito anteriormente mediante la recopilación de información más detallada sobre la instalación y operación de realizar una evaluación más detallada de medidas de conservación de energía. Facturas de servicios públicos se recogen por 12 a 36 meses para permitir que el auditor pueda evaluar la instalación, la demanda de energía y las

tasas de uso según perfiles de energía. Si estos datos están disponibles, los perfiles de gasto creados ayudaran a analizar el consumo de energía y detectar los derroches de ésta. Suelen ser tomadas mediciones adicionales de consumos de energía de sistemas específicos para completar la información ya obtenida.

También se llevan a cabo entrevistas en profundidad con el personal de operación de las instalaciones para proporcionar una mejor comprensión de los principales gastos de energía y para conocer los patrones de consumo de energía a corto y largo plazo.

Este tipo de auditoría será capaz de identificar todas las medidas de conservación de la energía adecuadas para la instalación, en función de sus parámetros de funcionamiento.

Un análisis financiero detallado se realiza para cada una de las medidas propuestas basado en los costes detallados de implementación, ahorro de costes producido por cada medida, y el criterio de inversión del cliente. Se presentan suficientes detalles como para justificar la ejecución del proyecto. (Albert Thumann, 1998).

3.2.3. Auditoría completa

En la mayoría de las empresas los ajustes o actualizaciones a una instalación energética deben competir por la financiación con capital no relacionados con las inversiones en energía. Tanto la energía consumida y la energía a ahorrar deben ser evaluados con un criterio financiero y para esto en los proyectos de mejoramiento y eficiencia energética se utiliza la tasa de retorno de la inversión (TIR) para evaluar la conveniencia de la inversión. El ahorro proyectado de funcionamiento de la aplicación de proyectos de energía debe desarrollarse de tal manera que proporcione un alto nivel de confianza. De hecho, los inversores a menudo demandan un ahorro garantizado.

La auditoría completa se expande sobre la auditoría general descrita anteriormente. Se realiza un estudio ingenieril completo sobre los detalles técnicos y económicos necesarios para justificar la inversión en las mejoras propuestas. (Albert Thumann, 1998).

4. AUDITORIA DE LA EMPRESA

4.1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa:

El primer paso a realizar en una auditoría es comprender el proceso productivo de la propia empresa. Es de vital importancia saber cómo y por qué se realiza cada uno de los procesos.

Además es conveniente saber cuál es el objetivo final de la empresa con sus productos (ofrecer calidad, bajos precios, diseño especial), saber sus debilidades y fortalezas frente a sus competidores de mercado.

Gracias a este paso se podrán interpretar mejor los datos aportados por la empresa y se podrá decidir mejor cuales son las vías de actuación para mejorar la fabricación.

4.2. Recolección de datos:

Una vez se sabe cómo funciona el proceso de producción se deben recopilar todos los datos que creemos necesario para poder hacer un análisis de consumos energéticos. Además estos datos ayudan a entender mejor el funcionamiento de todos los procesos al poder asignar números a cada uno de los procesos. Los tipos de datos serán los siguientes:

- Facturas de consumo de Energía.
- Fichas de consumo energético por equipo.
- Ficha técnica de los equipos.
- Datos de reaprovechamiento de la energía
- Demanda energética a lo largo de cada proceso.

Además puede haber cualquier otro tipo de dato que resulte interesante y deberemos tenerlo en cuenta. Por otro lado al recopilar datos podemos encontrarnos numerosos problemas:

- Imposibilidad de medir un dato: Puede ocurrir que un dato de consumo o de flujo no se pueda medir por falta de un sensor que lo indique o por las características del equipo. Las soluciones son la instalación de un

equipo de medición o la estimación según datos de otros equipos similares y otros datos que nos puedan ayudar.

- Datos medidos erróneamente: Un equipo de medición o una empresa externa que realice mediciones (por ejemplo, emisiones) pueden cometer errores con el consiguiente problema de análisis del proceso.
- Datos con altas variaciones en el tiempo: En procesos que requieren gran cantidad de calor los datos de consumo varían según la meteorología, habiendo una diferencia notable según sea invierno o verano. Por otra parte la producción de un día puede ser completamente diferente a otro y así todos los demás datos.

Otro tipo de datos de vital importancia son los condicionantes, ya que son factores esenciales que no pueden ser evitados. En general los condicionantes que nos podemos encontrar a la hora de buscar soluciones son:

- El presupuesto: La inversión que está dispuesta a realizar la empresa condiciona totalmente la auditoría.
- Requisitos de subvención: El cumplimiento de dichos requisitos es algo esencial para recibir la subvención.
- Cumplimiento de la normativa: El cumplimiento de normativas es obligatoria, ya sea en cuanto a seguridad, prevención, contaminantes, etc. Su incumplimiento puede provocar multas nada deseables.
- Distribución de las instalaciones: Los diferentes equipos y su situación puede provocar que algunas mejoras sean más difíciles y costosas de implementar que otras.

4.3. Know How de la empresa:

La experiencia de la empresa puede ser una ayuda para buscar las soluciones. Todas las acciones realizadas anteriormente para mejorar los procesos o las ideas que puedan proponer son valiosas, ya que su conocimiento del funcionamiento de la maquinaria es mayor y pueden servir como solución final o como inspiración de otra solución. Por otro lado pueden indicar también cuales son los fallos más importantes de cada proceso. De esta manera se puede conseguir más información del proceso o confirmar las ideas obtenidas anteriormente.

En este caso los trabajadores de la empresa propusieron algunas prácticas de producción que podrían significar alguna mejora importante.

5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El proceso de fabricación de las baldosas consta de varias etapas, las cuales requieren de una gran cantidad de instrumentación y selección de las materias primas con el objetivo de lograr una gran eficiencia y calidad. Es por dicho motivo que numeraremos la producción de las baldosas cerámicas en las siguientes etapas:

- Preparación de las materias primas.
- Conformación y secado de la pieza.
- Cocción o cocciones, con o sin esmaltado.
- Clasificación y embalaje.



Figura 5. Esquema del proceso de fabricación de baldosas cerámicas.

5.1. Preparación de las materias primas.

El proceso cerámico comienza con la selección de las materias primas que deben formar parte de la composición de la pasta, que son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines.

En la industria cerámica tradicional las materias primas se suelen utilizar, por lo general, tal y como se extraen de la mina o cantera, después de someterlas a un

mínimo tratamiento. Su procedencia natural exige, en la mayoría de los casos, una homogeneización previa que asegure la continuidad de sus características.

El proceso de molturación se puede realizar tanto por vía seca (partículas más grandes) como por vía húmeda (partículas más pequeñas).

A continuación se realiza el proceso de amasado consistente en el mezclado con agua de las materias primas de la composición de la pasta, con esto se consigue una masa plástica fácilmente moldeable por extrusión.

5.2. Conformación de las piezas

5.2.1. Prensado

La materia prima puede ser prensada en estado seco, plástico o húmedo, dentro de un troquel para formar productos elaborados. Este sistema se utiliza para productos de geometrías que impiden su producción por extrusión

5.2.2. Extrusión

El procedimiento de conformación de pieza por extrusión consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz que forma una pieza de sección constante. Los equipos que se utilizan constan de tres partes principales: el sistema propulsor, la matriz y la cortadora.

El sistema propulsor puede ser a hélice, por cilindros o a pistón pero el más empleado en la fabricación de baldosas cerámicas es el de hélice, por su elevada productividad y por su posibilidad de trabajar en régimen continuo.

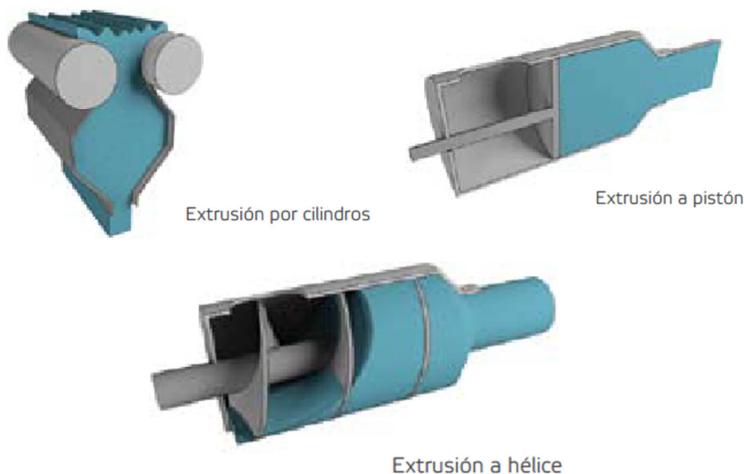


Figura 6. Gráfico circular de la distribución geográfica de las empresas del sector en España.

5.2.3. Secado de piezas conformadas.

La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas tras su conformado hasta niveles los suficientemente bajos (menor del 1%) para que las fases de cocción y, en su caso, esmalte se desarrolle adecuadamente. En los secaderos que normalmente se utilizan en la industria cerámica, el calor se transmite mayoritariamente por convección, desde gases calientes a la superficie de la pieza, participando ligeramente el mecanismo de radiación desde dichos gases y desde las paredes del secadero a dicha superficie.

Por lo tanto, durante el secado de piezas cerámicas, tiene lugar un desplazamiento de agua a través del sólido húmedo y a través del gas. El aire que se utiliza debe ser lo suficientemente seco y caliente para eliminar adecuadamente el agua procedente del sólido. Estos gases calientes son aportados por un quemador aire-gas natural o por gases calientes procedentes de la chimenea de enfriamiento del horno.

5.3. Cocción o cocciones, con o sin esmaltado.

Los materiales cerámicos pueden someterse a una, dos o más cocciones. Las baldosas no esmaltadas reciben una única cocción; en el caso de baldosas esmaltadas, pueden someterse a una cocción tras la aplicación del esmalte sobre las piezas crudas (proceso de monococción), o someterse a una primera cocción para obtener el soporte, al que se aplica el esmalte para someterlo luego a una segunda cocción (proceso de bicocción). En algunos materiales decorados se aplica una tercera cocción a menor temperatura.

5.3.1. Esmaltado

El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas sobre la superficie de la pieza. Este tratamiento se realiza para conferir al producto cocido una serie de propiedades técnicas y estéticas, tales como: impermeabilidad, facilidad de limpieza, brillo, color, textura superficial y resistencia química y mecánica.

La naturaleza de la capa resultante es esencialmente vítreo, aunque incluye en muchas ocasiones elementos cristalinos en su estructura.

5.3.2. Cocción de las piezas

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación, ya que de ella dependen gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza, resistencia al fuego, etc.

Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener.

Ciclo de cocción

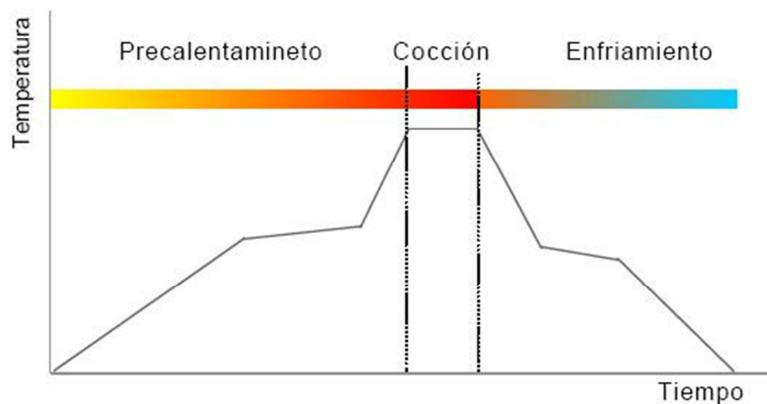


Figura 7. Ciclo de cocción.

La cocción de las baldosas cerámicas se realiza actualmente en hornos monoestrato de rodillos y en hornos túnel, debido a su mayor eficiencia térmica.

En este tipo de hornos el contacto de los gases con el producto es directo, lo cual mejora los coeficientes de transporte de calor, disminuyendo la duración del ciclo de cocción, reduciendo el consumo energético y aumentando la flexibilidad de éstos hornos respecto a los anteriormente empleados para este proceso.

Los gases calientes resultantes de la operación de cocción se emiten a la atmósfera por dos focos emisores. Por una parte los humos procedentes de la zona de precalentamiento y cocción, se emiten al exterior por una chimenea que se encuentra a la entrada del horno y los humos de la zona de enfriamiento se emiten por una chimenea que se encuentra a la salida del horno.

Los humos procedentes del proceso de precalentamiento y cocción se componen principalmente de sustancias procedentes de la combustión y compuestos gaseosos de carácter contaminante procedentes de la descomposición de las materias primas y partículas de polvo en suspensión. En cuanto a los humos de la etapa de enfriamiento se trata de aire caliente, pudiendo contener partículas de polvo.

5.4. Clasificación y embalado.

Por último con la etapa de clasificación y embalado finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico.

La clasificación se realiza mediante sistemas automáticos con equipos mecánicos y visión superficial de las piezas. El resultado es un producto controlado en cuanto a su regularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas.

El operario se encarga de realizar una inspección visual y mediante la ayuda de sensores le permiten clasificar las diferentes baldosas usando marcas que se realizan usando tinta no visible y mediante sensores.

Posteriormente se forman el grupo de baldosas en la apiladora para luego proceder al empaque mediante una máquina que usa los cartones diseñados para este fin.

(Información procedente de ASCER, Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos.)

6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA EMPRESA TIPO

La empresa escogida su estudio consta de 3 plantas diferentes. Dos están ubicadas en los mismos terrenos y otra se encuentra en otra localidad cercana. La situación económica actual hace que su producción esté por debajo de la mitad de su capacidad. Su producción se centra en la de mayor capacidad ($3600\text{ m}^2/\text{dia}$) que se encuentra junto a otra planta que apoya su producción cuando la primera no tiene capacidad para ello.

El reparto de los espacios de trabajo dentro de la nave de fabricación de gres cerámico puede verse en la siguiente figura, correspondiente a la planta de la nave industrial y sus principales focos de emisión (Fx).

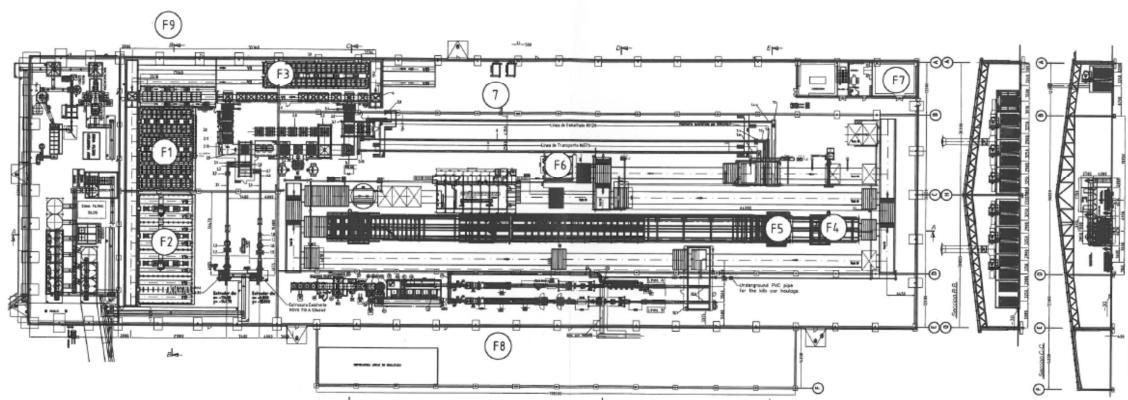


Figura 7. Planta de la nave industrial

La planta de produce gres cerámico natural y esmaltado con multitud de formatos posibles. Consume arcillas (pasta roja) para su fabricación, dedicadas al uso como pavimentos y revestimientos. Como se ha indicado, la producción diaria media es de 3.600 m^2 , gracias a un horno túnel de gran capacidad que opera las 24 horas del día.

No obstante, la demanda de gres cerámico basado en pasta roja no servida por planta de estudio se nutre actualmente con la puesta en marcha en días puntuales de la planta adyacente, cuyo producto de salida es el gres porcelánico (línea técnica de piscinas). Su capacidad productiva es de 1,500 m²/día, con lo que suple el actual 5% de producción adicional con respecto a la obtenida la planta de estudio que es la tónica de pedidos durante el año 2011.

En los siguientes subapartados se realizará una breve descripción del proceso completo de fabricación del gres cerámico la planta, apoyado en la información que han suministrado la empresa y CIRCE.

6.1. Etapa de molienda

En esta primera etapa de la nave, separada físicamente del resto de la nave y de una mayor altura útil, las materias primas llegan a los silos correspondientes (chamota, arcilla, cascote, etc) a través de las cintas transportadoras de la planta de molienda sita en la nave anexa, donde se les añade agua y se mezcla homogéneamente en un molino de ruedas troncocónicas.



Figura 8. Alimentación por la cinta transportadora de la materia prima y de un silo de arcilla

Cada silo tiene su propia alimentadora a la cinta principal de recogida para la molienda. En la mezcla se añaden, entre otras materias primas, sulfato de yeso y, en el caso del esmaltado, es necesario añadir carbonato de Bario (BaCO_3) para favorecer la migración a la superficie de sales. La dosificación está controlada automáticamente, tal y como puede verse en la siguiente pantalla del sistema de control.



Figura 9. Detalle del control de la dosificación en la etapa de molienda.

Por otra parte, el alimentador dosifica según el nivel de la máquina una cantidad continua para las dos líneas de extrusión de la arcilla para formatear las piezas de gres cerámico.

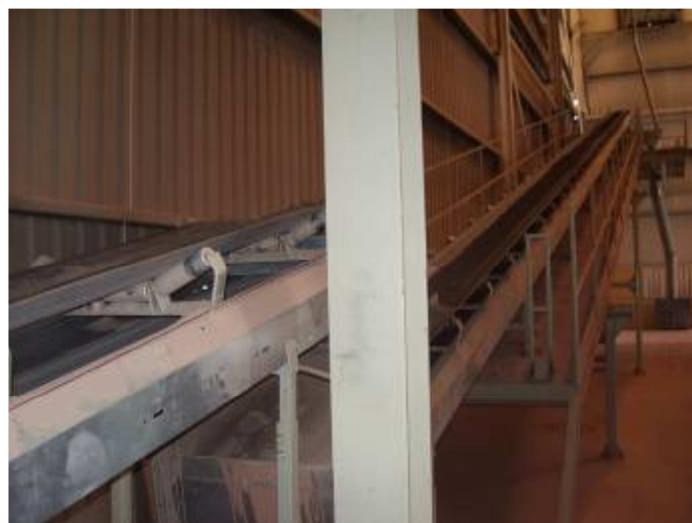


Figura 10. Dosificación arcilla mezclada hacia extrusión.

6.2. Etapa de extrusión

La nave cuenta con dos máquinas idénticas que realizan, primero a través de los moldes adecuados y después de un hilo, el formato y corte adecuado para tipo de producto especificado en la orden de fabricación. La extrusión se produce con un porcentaje medio del 16% de humedad (en masa), que luego se minimizará en el proceso de secado previo al horneado. La siguiente figura muestra un detalle de una extrusora de la nave.



Figura 11. Detalle del molde de la extrusora y fabricación de lingote de barro para piezas especiales.

Además de la fabricación de los formatos extruidos, se obtienen los lingotes macizos de pasta roja para realizar posteriormente los productos prensados y conformados por medio de sus respectivos moldes. Este tipo de producto queda fuera de la línea automatizada del secado-horneado, denominándose serie manual.

El producto extruido se organiza en fila de 20/24 piezas y estas se cargan sobre unas bandejas con capacidad para 4/5 filas en función de las dimensiones del formato extruido. Las bandejas cargadas con las filas se colocan sobre unos carros de secado. Estos carros tienen una capacidad de entre 7-9 bandejas, dependiendo de la altura del formato (generalmente 25x25 o 33x33).

6.3. Etapa de secado

La etapa de secado permite reducir la humedad de la pasta roja antes de entrar al horneado definitivo que da la textura final inalterable a las incidencias climáticas del gres cerámico, además de permitir la fijación de los tonos más adecuados a las tendencias estilísticas del momento. En la planta, hay realmente 4 cámaras de secado diferenciadas, en las cuales la pasta nunca pasa por todas ellas. Se describen brevemente a continuación

6.3.1. Destonificador de bandejas

Constituye un secado rápido después de la extrusión para el producto natural con aire caliente a 35-38°C respectivamente para los formatos 33x33 y 25x25 durante 20 minutos. Con este secado superficial, se consigue que las sales de la materia prima migren a la superficie. El resultado final es una superficie flameada con distintos tonos, característica imprescindible en formato rústico. En el producto esmaltado se pasa por la cámara pero sin aportación de calor, es sólo transporte. La siguiente figura muestra un detalle de esta cámara con las bandejas de carga previas.



Figura12. Detalle de la cámara del destonificador de bandejas.

En esta cámara caben 9 bandejas en 3 planos. El control del aire caliente (proveniente del horno y mezclado con aire frío) que alimenta la cámara proviene del ventilador.

Tras esta cámara, se cargan de nuevo los carros hacia el túnel de destonificado. Cuentan con varias posiciones para las bandejas: caben 10 bandejas para el formato 25x25 y 8 bandejas para el formato 33x33.

6.3.2. Secadero túnel

El carro pasa tras el secado rápido anterior por el secadero túnel de destonificado durante 1 o 2 horas, alimentado por aire caliente a 40 y 50°C para los formatos de 33x33 y 25x25 respectivamente. Al igual que en la cámara de bandejas, para el producto natural se espera a que esté todo cargado y se le aplica el calor previamente mencionado.

Sin embargo, para el producto esmaltado, se carga y se pasa directamente a la cámara de secado: cuanto antes entre en la cámara de secado mejor, ya que en este caso se quiere evitar el migrado de sales. En el esmaltado se añade precisamente carbonato de bario ($BaCO_3$), porque si existe fondo de sales en la superficie, se empeora considerablemente la adherencia del esmalte y queda un mal acabado con alta probabilidad de rechazo posterior.

En esencia, el secadero túnel es idéntico en su morfología y funcionamiento a un secadero, por tanto su descripción se remite a este equipamiento. Al igual que los secaderos, consume gas natural en ocasiones puntuales. El inconveniente para evaluar su rendimiento energético reside en la inexistencia de la medición del consumo individual del mismo, ya que se computa de forma conjunta con el consumo de las cámaras de secado 1-3. En todo caso la temperatura de trabajo es mucho menor que en dichas cámaras, lo que redunda en su menor consumo estimado. La figura siguiente muestra el secadero túnel vacío con el elemento de suministro energético, los ventiladores troncocónicos habilitados.



Figura 13. Secadero túnel. Detalle del movimiento de carros.

El transporte hacia las cámaras de secado se realiza de la siguiente forma. Para la carga a secadero, existen 2 vías, 5 carros por vía. En cada cámara de secado se admite un máximo de 10 carros.

6.3.3. Cámaras de secado

Las cámaras de secado confieren a la pieza un porcentaje en masa inferior al 1% en humedad, gracias al consumo de aire caliente (AC) proveniente del aire de enfriamiento del horno túnel, o bien del apoyo de los quemadores de gas natural de 500 kW de potencia que actúan en caso necesario, para mantener adecuadamente la curva de secado prevista para cada producto.

La forma de carga de una cámara de secado es tal que espera a que esté completamente llena. Un carro tiene una capacidad de carga de 150 m^2 , con lo que 10 carros suponen una producción de 1500 m^2 independientemente del formato utilizado. En relación a la capacidad de las vagonetas del horno túnel, éstas cuentan con una autonomía de 100 m^2 . El carro es de base de material metálico. Sin embargo, la vagoneta es el vehículo que atraviesa el horno y su base es de material refractario para soportar la temperatura del interior del horno (casi 1.300°C). Como la producción diaria es de 3600 m^2 y está fijada por la producción continua del horno, es necesario tener al menos 2 cámaras de secado en funcionamiento diariamente, de las 6 existentes (+1 de reserva no operativa). En cuanto a la dinámica de los turnos de

secado, suele haber 2 cámaras secando, una entrando y otra saliendo. La figura siguiente muestra una foto de la misma.



Figura 14. Cámara de secado. Carril de entrada y detalle entrada aire caliente.

El funcionamiento de la cámara es como precede. Se llena y se cierra. En cuanto a los ciclos y consignas de temperatura, para los formatos que suman el 85% de la producción (33x33 y 25x25), son éstos respectivamente:

- 29 y 24 h. hasta llegar a 78°C en natural, 1 % humedad.
- Ídem hasta llegar a 100°C en esmaltado, 0.7 % humedad.

Para el resto de las piezas (esquinas, peldaños, laterales, zanquines, etc.), el tiempo es superior, hasta unas 48 horas. Si dentro del secadero hay 10 carros con distintos productos, el ciclo de secado queda definido por el más exigente (el resto salen demasiado “secos” sin razón aparente). El tipo de producto de la vagoneta 5^a del primer tren fuerza la curva de secado de las 10 vagonetas de cada cámara de secado, aunque el producto salga más seco de lo necesario. La temperatura máxima alcanzada en el proceso de secado es de 120°C para las piezas más pequeñas.

En ocasiones parte del calor que proporciona el horno se tira por la chimenea de la nave ya que no hay suficiente demanda de calor tanto en el secadero de cámaras como en el túnel y en el destonificador de bandejas. El control del aire de secaderos es idéntico para cámaras de secado, secadero túnel y cámara de calentamiento. Todos cuentan con una gran caja de aire en la parte superior de la cámara que cuenta con varias entradas, una por lado: aire ambiente, aire caliente del horno, aire recirculado, ventilador impulsión y mechero. La salida de aire hacia los ventiladores

troncocónicos es lateral, y luego existe la aspiración por ventiladores axiales, que mantienen una depresión constante. Los ventiladores de impulsión y troncocónicos siempre funcionan al régimen máximo, sin embargo los axiales y el de impulsión del destonificador de bandejas si tienen variador de frecuencia (VF). La figura siguiente muestra una disposición de las entradas de aire en dichas cámaras según el sistema de control existente.

En secaderos existen consignas programadas de temperatura y de humedad relativa a cada serie de formatos de gres cerámico en catálogo. Generalmente, es complicado mantener a la consigna deseada temperatura y humedad, por lo que se elige mantener la temperatura, aunque obviamente están relacionados.

A continuación se muestra una captura de pantalla del control de las cámaras de secado, secadero túnel y destonificador. En ella se muestran datos de humedad relativa, temperatura y apertura de válvulas de recirculación, aire de horno, aire ambiente, ventilador impulsión y mechero.

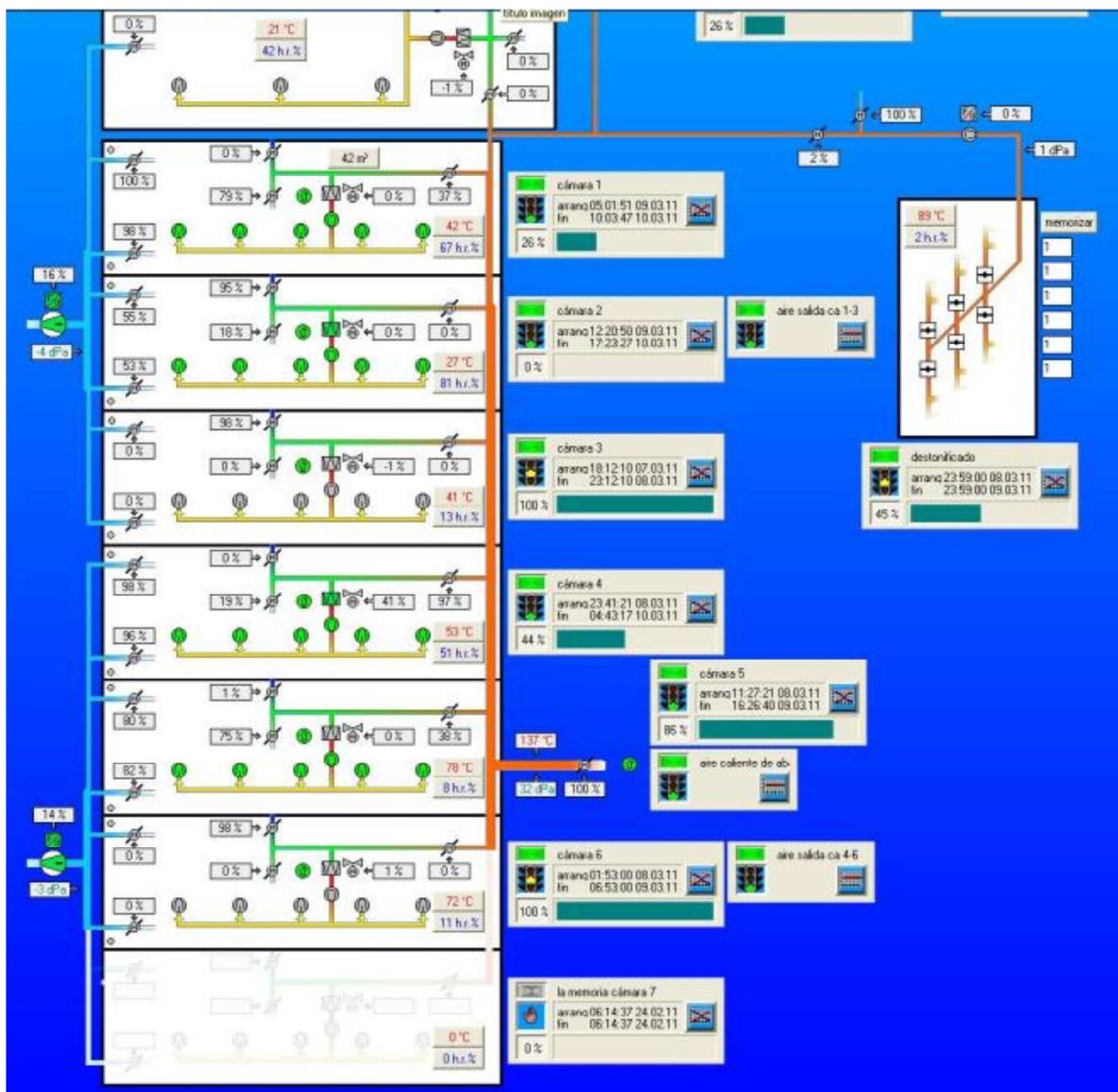


Figura 15. Cámara de secado. Distribución del aire de entrada en los conductos de su caja de aire superior.

Realmente, el mechero de gas suele actuar cuando la temperatura de retorno del AC es baja (en torno a 120°C, cuando el formato de pasta es pequeño, por ej. 15x15, el horno pierde inercia) y al principio del secado, cuando la válvula de admisión de AC del horno abre muy lentamente, no así la de AC del mechero de gas natural.

Cuando acaba el ciclo, se abre la válvula de aire ambiente y se cierra la de AC. La cámara de secado pierde muy poca temperatura si no se abre (máximo 20°C diario). El control de la humedad se realiza aspirando aire exterior o recirculando, depende de la HR interior (varía del 75% inicial al 6% final del proceso de secado). La rampa de calentamiento del natural debe ser fuerte para fijar y mantener el color, por ello se

debe actuar en el mechero. Sin embargo, para esmaltado no es necesario (al contrario), con lo que en ese caso la recirculación constante sin AC permite bajar la humedad sin problemas aparentes de calidad con ahorro energético.

También, en la parte final del secado hay aire caliente que se tira al ambiente porque no es necesario ya en el proceso: lo mejor es cerrar la válvula de salida de aire al exterior y recircular aire sin consumir AC (mechero), ya que la HR del aire es ya muy baja en el tramo final de secado.

La figura siguiente muestra la curva de secado típica del formato 25x25 de la línea esmaltada “isla”. En ella podemos observar en azul la consigna y el valor real de la humedad durante el proceso, en color rojo esta representada la consigna de temperatura y su valor real. Se observa que la consigna de temperatura es la que tiene mayor importancia al tener valores más próximos con la temperatura del proceso. En cambio el valor real de la humedad está más alejado del valor consigna y tiene más picos a lo largo del proceso.



Figura 16. Curva de secado del formato 25x25 isla dentro de la cámara.

6.3.4. Cámara de calentamiento.

Dicha cámara permite mantener la temperatura del esmaltado, su consigna final es la misma que la de salida de las cámaras de secado para estas series. Se reduce todavía más la humedad relativa de la pasta a esmaltar hasta un 0.5-0.6% de HR. El ciclo es de 2-10 h. ya que realmente es un pulmón caliente, en el que caben hasta 12 carros (1800 m² de producción) hasta que son llevados a la línea de esmalte. En el caso del gres natural, esta cámara es bypassada y solo sirve de carril natural al paso de carros, pero éstos no son calentados de nuevo.

Cuenta con un mechero de gas natural de 350 kW de potencia calorífica. No cuenta con aprovechamiento del calor residual del horno túnel, con lo que su aporte energético proviene de la combustión de gas natural. La foto aneja muestra dicha cámara y la salida de dichas piezas antes de su desapilamiento previo al esmaltado (las baldosas se colocan en fila india para su pintado).

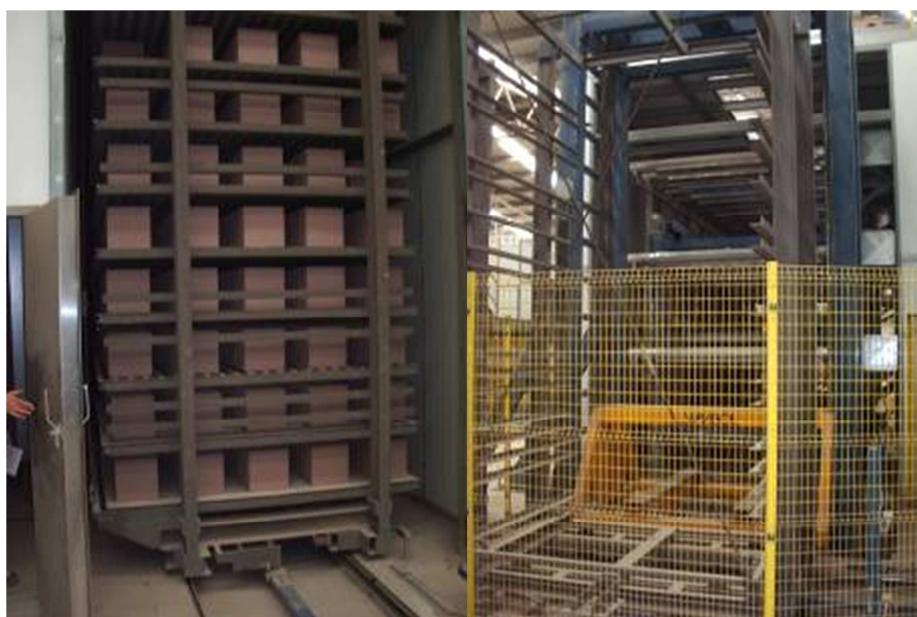


Figura 17. Cámara de calentamiento y salida previa a la zona de clasificación.

6.4. Etapa de esmaltado

En esta etapa, tras la salida de la cámara de calentamiento hay una zona de preparación de las piezas: en ella, las piezas secadas se desmontan de las bandejas de los carros y se deshacen también las filas por cada piso de la bandeja para colocar en

fila india las baldosas en las líneas de esmaltado. La foto siguiente muestra una visión de esta zona.



Figura 18. Zona de preparación de piezas para el esmaltado.

Entre la zona anterior y la de destonificación está la zona de piezas de fuera de línea (pozas lavabo, bordes, esquinas, etc.) que se forman por prensado (no extrusión) y además tienen una línea de secado aparte de la anterior, situada bajo la sala de control (foco emisor F6), que está realmente separada de la zona de preparación de la pieza. El reducido secadero se muestra en la siguiente foto.



Figura 19. Zona de trabajo de piezas fuera de línea (incluye prensa y secadero de esquinas).

En cuanto al proceso de esmaltado en sí, existen dos líneas de esmaltado independientes (dos colores) más la línea de natural, que circulan directas hacia el horno. Ahora serán de nuevo formadas las vagonetas en un único piso, pero fila a fila. Los engobes que se aplican en el esmaltado son de origen natural arcilloso, y consumen de media 230 litros de agua por tonelada de pasta que es recuperada parcialmente, tal y como se verá en el apartado de balances. Según el esmaltado de la

pasta, puede no haber rechazo. Excepto la serigrafía (óxidos metálicos), el engobe y esmaltado tiene una gran cantidad de arcillas y por tanto es recicitable.

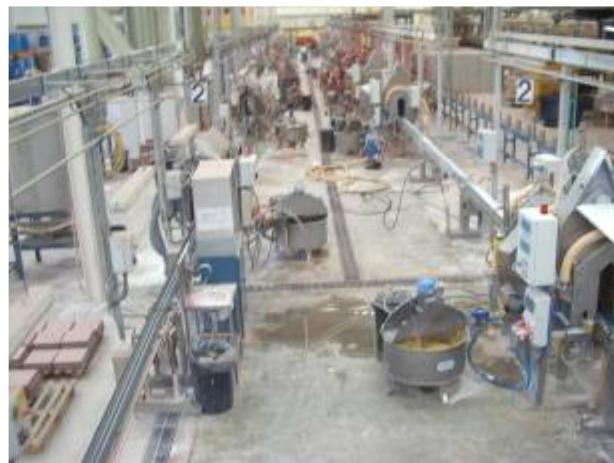


Figura 20. Vista general de línea de esmaltado.

6.5. Etapa de cocción

En esta etapa reside el mayor consumo energético del proceso, como es obvio. Para el arranque en frío se consumen 36-38 horas para subir la temperatura del horno. En ese tiempo hay consumo máximos de gas, pero nada de producción. Se arranca con el horno cargado de material a cocer. La foto adjunta muestra la entrada de aire al horno, con los equipos de movimentación correspondientes.



Figura 21. Entrada del horno túnel.

Durante el precalentamiento, dentro del horno se van encendiendo paulatinamente los quemadores poco a poco, de modo que cada vez hay más

quemadores en servicio. En este periodo no se puede recuperar calor del horno y por lo tanto hay consumo de gas en el secadero si tiene pedidos pendientes.

La tipología de los quemadores es la siguiente: hay 40 BIC 80 (105 kW de potencia unitaria) en la zona inicial (gr 1 → gr 7), que trabajan de forma intermitente y están colocados en zigzag para crear turbulencia. Este tipo de quemador, los 40 BIC 80 (105 kW) abren todo-nada, y están instalados en 8 por grupo (4x lado) en su parte baja. En la parte alta solo se insufla aire de combustión (10.500 Nm³/h), que dan el alto exceso de aire medido en el foco de emisiones F6. Los quemadores del grupo 1 nunca consumen gas, y los del grupo 3 casi nunca. El resto (5-7-9) si consumen habitualmente.

Los BIC 80 estaban en la zona en la que sólo hay quemadores inferiores. El resto son quemadores BIC65 (70 kW de potencia unitaria), en la zona de máxima temperatura. Los 80 quemadores BIC 65 (70 kW) en 10 grupos (11-20) en la parte alta y baja (alta pares, baja impares). En este caso, se regulan en la apertura del gas con una válvula de mariposa según la temperatura interior del horno, y ésta a su vez actúa sobre el consumo de aire para mantener un exceso de aire mínimo, incluso con defecto de aire ($\alpha=1.1-0.9$, hay que suponer aspiración de aire de enfriamiento de los módulos sucesivos del horno). Las 2 fotos anexas muestran dos zonas del horno, una en la zona de quemadores inferiores, y la segunda en la zona de horno (2 filas de quemadores).



Figura 22. Zona de quemadores del horno túnel: calentamiento y horno.

En cuanto a los perfiles de temperatura en el horno para cada línea de producto, existe un set point en cada zona del horno ($T_{máx}=1275\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero dicho perfil de temperaturas del horno depende tan sólo esencialmente de la materia prima a cocer, y el 95% del material producido es de idéntico origen. El restante 5% de la producción es un tipo de arcilla de baja temperatura, $1.150\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $T_{máx}$.

En las vagonetas, los formatos específicos de menor peso (1 ton) con respecto al formato normal (3,2 ton de formatos 33×33 y 2,5 ton de formatos 25×25) provocan alteraciones en las curvas del horno, con lo que nunca se intercalan 2 vagonetas seguidas de formatos especiales. Cuando se introducen manualmente, la colocación automática deja a veces 2/3 filas para colocación manual. En todo caso la vagoneta vacía pesa 2,5 ton, con lo que el cambio de formato no provoca variaciones en la rampa térmica, pero si cuando hay series especiales (listelos, zanquillos, bordes, ...).

Dentro del horno, se trabaja con empuje hidráulico (2 empujes, que trabajan alternativamente). La presión debe ser constante en el carro de secado: uno empuja, el otro espera. De esta forma nunca se separan los carros. En los laterales un sistema mixto de laberintos y cierre con arena hacen un sello total, en la parte inferior la vagoneta, que conforma la pared, no se debería sobrepasar los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura. Los quemadores atacan por encima y debajo a la pasta, y las vagonetas cuentan con un refractario de alta temperatura.

Una vez la pasta ha alcanzado el punto de cocción adecuado, es necesario su enfriamiento previo a su salida como producto de venta. El horno cuenta con tres zonas diferenciadas de enfriamiento de la pasta: un primer enfriamiento rápido de la pasta tras su temperatura máxima con toberas de aire frío impactado perpendicularmente con la pasta, un enfriamiento lento (indirecto a través de un intercambiador de tubos) para permitir la transformación alotrópica del cuarzo SiO_2 (hacia los $573\text{ }^{\circ}\text{C}$) sin tensiones en la baldosa, y un enfriamiento final de nuevo con toberas hasta enfriar la pasta hasta unos $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, en condiciones de ser manipulada manualmente por los operarios sin riesgo de accidente. Las dos fotos anejas muestran las zonas de enfriamiento del horno túnel, y la chimenea de aspiración del aire caliente formado que será reutilizado en los secaderos de cámaras de la etapa 4.3.



Figura 23. Zona de enfriamiento indirecto y final del horno túnel: toberas y chimenea para reuso del calor residual en secaderos.

Por otra parte, dentro de un reducido margen puede variarse el ciclo temporal del horno. Si aumenta el tiempo de residencia dentro del horno, debe disminuirse la temperatura de trabajo para no “chamuscar” la pieza. Cada curva de temperatura exige adaptar la tipología de engobes y esmaltes para esas condiciones de cocción.

El consumo medio del horno túnel en la operación diaria actual para formato 33x33 es de $435 \text{ Nm}^3/\text{h}$, y de $350 \text{ Nm}^3/\text{h}$ para el formato 25x25, de media diaria $8600 \text{ Nm}^3/\text{h}$, y el de secado para un formato 15x15 fue de $219 \text{ Nm}^3/\text{h}$. En arranques en frío se llegan a los $600 \text{ Nm}^3/\text{h}$, no más. Es por tanto importante desconfiar de los listados de consumo en los días de arranque, que proporcionan consumos desmesurados de gas natural sin justificación plausible.

Finalmente, recordar que el horno túnel está operativo durante 11 meses al año las 24 horas del día. Sin embargo, Las líneas de molienda, extrusión y selección no son continuas: 2 turnos x 7dias/semana, sin embargo los hornos trabajan las 24h cuando hay demanda de pedidos.

6.6. Etapa de selección

Una vez las vagonetas salen del horno (a una velocidad ínfima de 105 m/día o bien 82 mm/min), se realiza el transporte hacia la zona de selección. Existe la posibilidad de separar vagonetas hacia la zona de selección manual para inspección de piezas o para su colocación independiente. En su funcionamiento normal, una máquina descarga desde el carro a la bandeja con una pinza cartesiana que coloca las filas.

En la zona de selección, hay dos líneas separadas que separan las baldosas (las de formato 25x25 y 33x33 respectivamente). Primero se colocan horizontales, después se les cortan los lapiceros (separación de nervios de barro de dos baldosas colocadas verticales en el horno túnel y extrusionadas ya de esta forma) con un corte por golpeo preciso. Despues, se le da la vuelta a una de ellas para eliminar los lapiceros, y luego se inspeccionan para posible rechazo. Las buenas suponen más del 90% del producto como norma general, llegando hasta un 20-22% el porcentaje en masa de rechazo+cascote (lapiceros). Finalmente se empaquetan en cajas para ser llevadas a almacén de venta. La figura siguiente agrupa varias fotos interesantes relativas al proceso de selección, que cuenta con un elevado grado de automatización mecánico.



Figura 24. Zona de selección: colocación horizontal, corte de lapiceros y volteo de la 2º fila.

6.7. Equipos mecánicos

En el trasiego de las piezas cerámicas desde la etapa de molienda hasta la de selección, hay gran cantidad de equipos mecánicos que permiten su movimiento, y colocación con elevada precisión y sin caídas reseñables de las piezas. Un resumen de las instalaciones de alto consumo eléctrico, sin considerar la iluminación de la planta, es el siguiente (datos técnicos se añaden en el anexo adjunto):

- Novokeram: corresponde a los equipos de los secaderos (foco de emisión F1+F2+F3. Las turbinas troncocónicas, así como el ventilador de impulsión de los secaderos no cuentan con VF y trabajan a caudal máximo constante. La potencia instalada es de 200 kW. Los consumos medios pueden desviarse realizando la media ponderada para las 6 cámaras.
- Zona común trabajadores (foco emisor F7): vestuarios, pasillos, comedor...
- Edificio auxiliar, contiene donde están los compresores, compensación de condensadores y demás no aparece en el plano (punto del foco emisor F9 en el plano).
- Muenstermann: equipamiento para permitir por empuje de pistones hidráulicos el movimiento de vagonetas (25 kW)
- Forgestal: permiten la limpieza de las vagonetas (volteo y cepillado) evitando así el pegado del esmalte al refractario.
- Symbol: equipos para el movimiento de carros, máquinas de carga y descarga de vagonetas.

Los mayores consumos eléctricos se localizan en las turbinas circulación de aire (turbina de tiro, enfriamiento indirecto, recirculación...) del horno, porque están funcionando todo el tiempo. Todas las turbinas tienen variador de frecuencia, pero funcionan casi siempre con caudal constante.

6.8. Equipos consumidores de gas natural

Tras describir la planta y poder localizar cada zona de consumo energético, se procede a analizar los consumos de gas natural de las distintas etapas en la medida de lo posible. Una vez hecho esto se decidirán las zonas que deben ser analizadas en mayor profundidad para mejorar la eficiencia.

La relación de equipos que utilizan el gas natural para la generación de calor es la siguiente:

- Horno Keramischer
- Cámaras de secado Novokeram
- Destonificador Novokeram
- Secadero túnel Novokeram
- Cámara de calentamiento Novokeram

Las cámaras de secado, el destonificador y el secadero túnel cuentan con reaprovechamiento del calor proveniente del horno, no así la cámara de calentamiento.

Además el consumo del secadero túnel esta contabilizado junto con el consumo de las cámaras de secado con lo cual el análisis de su consumo de gás natural frente al de aire caliente del horno se hace complejo.

7. PLANTEAMIENTO DE LAS DISTINTAS ÁREAS DE ANÁLISIS

Una vez conocemos la instalación de la empresa y tenemos datos sobre su funcionamiento y eficiencia procedemos a identificar las distintas áreas en las que se podría trabajar para mejorar la eficiencia general de la fábrica.

El área más usual por el que se empieza a trabajar es el consumo eléctrico tanto de iluminación como de funcionamiento de los equipos. En este apartado simplemente se debe comprobar si el ahorro debido a la sustitución del aparato eléctrico por uno más eficiente compensa la inversión que se debería hacer.

Otro área usual es la evaluación de la incorporación de un equipo de cogeneración para la generación de calor y electricidad. También es posible estudiar la incorporación de instalaciones de energías renovables para la producción de electricidad.

Un modo de realizar mejoras sin coste de inversión es mediante una mejor planificación de la producción. En este caso particular la mejora mediante este método se encontraría en la zona de secaderos, ya que hay un reaprovechamiento aire caliente del horno que a veces expulsado debido a que no se necesita. Si se gestionara la producción de manera que en todo momento el aire caliente del horno se aprovechara se conseguiría una gran mejora de eficiencia.

Finalmente, otro método es mejorar la eficiencia de los equipos consumidores de combustibles ya sea por mejoras en la gestión de su funcionamiento o en su diseño. Estas mejoras podrían ser un mejor aislamiento, un aprovechamiento de los gases de combustión o un mapa de funcionamiento más eficiente. Este es el área en el que se va a trabajar a continuación debido al gran consumo de gas natural de la empresa.

8. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE GAS NATURAL

Con esta información podemos analizar mejor los siguientes datos de consumo de gas natural:

Fecha	CONSUMO SECADERO EN Nm ³	CONSUMO HORNO Nm ³	CONSUMO C.CALIENTE EN Nm ³
1-nov-08	438	8451	0
2-nov-08	667	7009	168
3-nov-08	655	7215	168
4-nov-08	566	8625	181
5-nov-08	1004	7952	157
6-nov-08	65	8335	174
7-nov-08	199	8645	52
8-nov-08	438	7983	0
9-nov-08	735	7781	115
10-nov-08	319	7827	162
11-nov-08	913	7994	159
12-nov-08	266	7836	196
13-nov-08	430	8179	146
14-nov-08	420	8109	155
15-nov-08	349	7765	99
16-nov-08	809	7229	185
17-nov-08	740	8124	161
18-nov-08	833	8425	147

Tabla 7. Consumos de gas natural sectorizados por equipos.

El consumo del destonificador no sale reflejado ya que es despreciable frente a los otros consumos. Analizando estos datos podemos ver claramente que el consumo de la cámara caliente no merece ninguna atención ya que es casi dos órdenes de magnitud inferior respecto del horno. Por otro lado el consumo de las cámaras de secado (cámaras de secado más secadero túnel) es de un orden inferior al consumo por parte del horno.

En el siguiente gráfico se puede observar la diferencia existente entre los consumos de las distintas zonas:

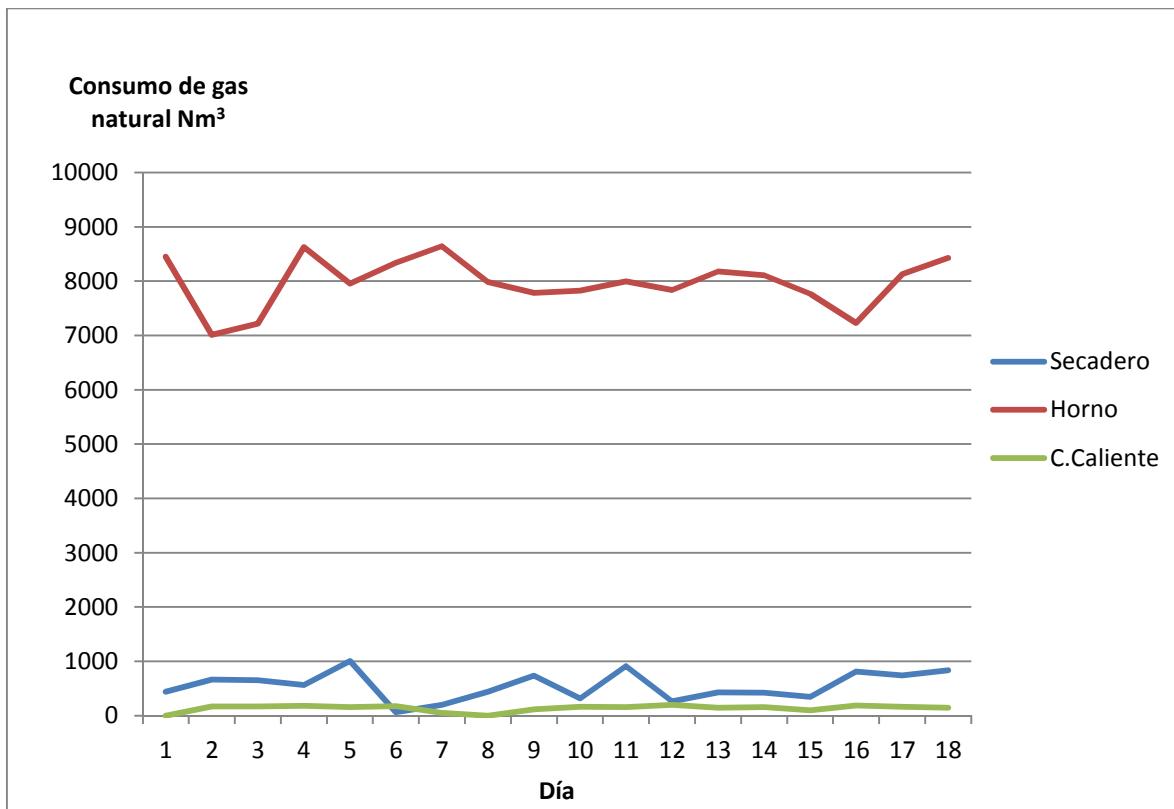


Figura 25. Gráfico de los consumos de gas sectorizados.

La gráfica nos muestra la importancia del horno en el volumen de gas consumido. Además los equipos de secado reciben un gran aporte de calor por parte de la recuperación del horno. Por todo esto, el análisis se debe centrar en el horno ya que se puede buscar soluciones tanto para aportar más calor a los equipos de secado como mejorar la eficiencia del horno para reducir la factura de gas natural.

9. ESTUDIO LOCALIZADO DE PÉRDIDAS EN REFRACTARIOS DEL HORNO

El elevado consumo de combustible del horno se debe al gran aporte energético que se necesita para poder realizar el proceso de cocción. Durante este proceso hace falta energía para elevar la temperatura de la pasta hasta 1250°C, evaporar el agua contenida en la pasta y aportar energía para las reacciones de los componentes de la pasta. Estos gastos energéticos son esenciales e inevitables y por lo tanto no podemos conseguir mayor eficiencia a su costa.

Durante el proceso de cocción hay unas pérdidas de energía. Estas pérdidas de energía se producen a través de los gases de la chimenea, el calor residual de vagonetas y baldosas y el flujo de calor que atraviesa las paredes, techo y suelo del horno.

Una vía para mejorar la eficiencia del horno es disminuir dichas pérdidas a través de los elementos del horno. Por ello a continuación se analiza el estado de aislamiento del horno con objetivo de cuantificar las pérdidas de calor.

El cálculo de las pérdidas de calor en el horno se han realizado a partir de los siguientes datos:

- Temperatura exterior: Dato obtenido a partir de las termografías y su software de procesamiento FLIR
- Temperatura interior: Dato obtenido a partir de la curva de cocción del horno suministrada por la empresa.
- Configuración de los aislantes: los planos del horno suministrados por el fabricante muestran cada una de las configuraciones de aislamiento (espesor y posición) de cada tramo de aislamiento.
- Conductividad térmica de los aislantes: cada dato ha sido obtenido a partir de la información de cada fabricante.

A partir de estos datos hay que hacer una estimación de la temperatura a la que se encuentran los distintos aislantes para escoger la conductividad térmica adecuada. Con esto, finalmente se calculan las pérdidas de calor del horno por paredes horno, techo y suelo.

9.1. Temperatura exterior del Horno

En las siguientes fotografías se muestran las termografías típicas de la zona de entrada del horno, precalentamiento, horno, enfriamiento rápido, enfriamiento indirecto y enfriamiento final en la parte lateral.

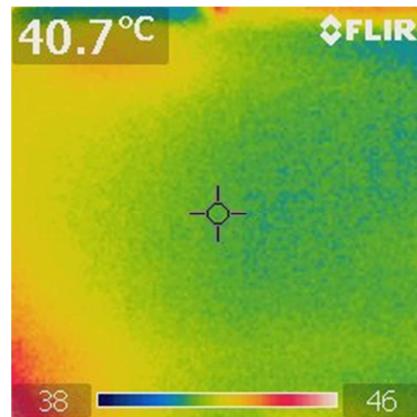


Figura 26. Termografía de la entrada del horno

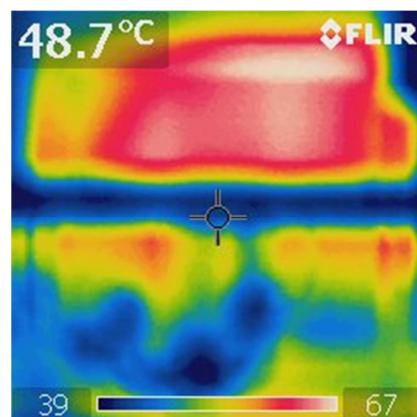


Figura 27. Termografía de la zona de precalentamiento del horno

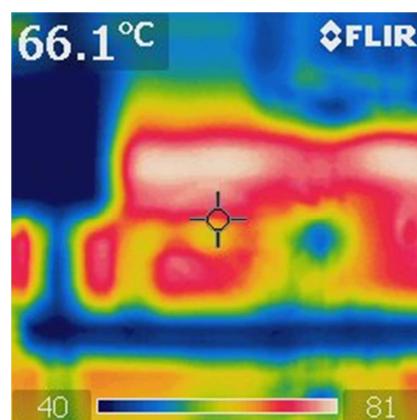


Figura 28. Termografía de la zona de horno

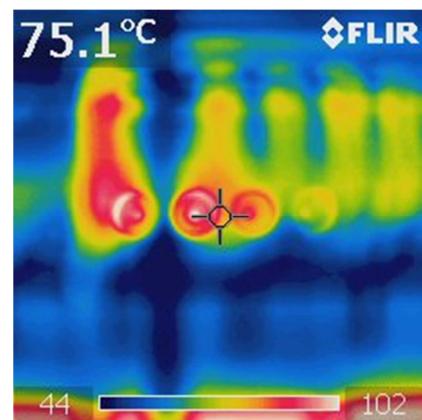


Figura 29. Termografía de la zona de enfriamiento rápido del horno

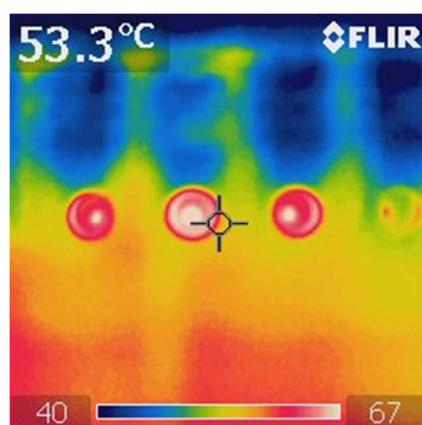


Figura 30. Termografía del enfriamiento indirecto del horno

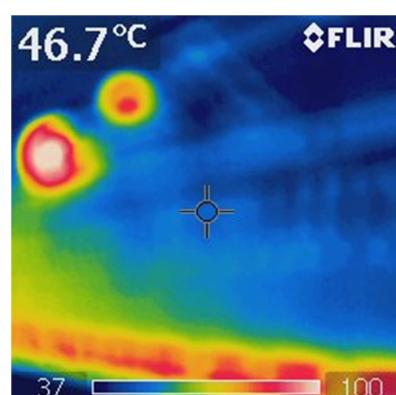


Figura 31. Termografía del enfriamiento final del horno (ver detalle del arenero de las vagonetas)

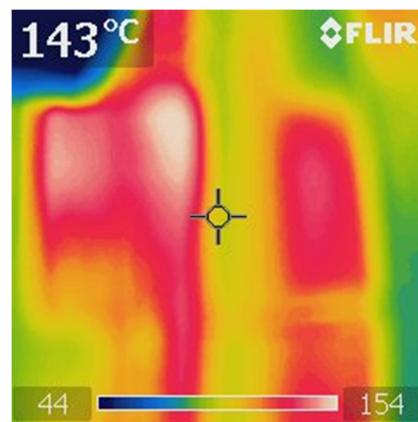


Figura 32. Termografía de la aspiración de aire caliente hacia secaderos.

Esta última termografía forma parte del sistema de recuperación de aire caliente del horno. Esta recuperación se realiza del aire caliente saliente de la parte final de enfriamiento del producto. Las pérdidas de dicha zona no influyen en el consumo de gas natural por parte del horno. Pero a pesar de ello es conveniente estudiarla para maximizar el calor reaprovechado del horno hacia los secaderos.

Análisis de las termografías

Utilizando el software específico de FLIR se puede obtener la temperatura media de cada termografía. Dicho software da la posibilidad de seleccionar varias áreas de la termografía, gracias a lo cual podemos desechar del estudio las zonas pertinentes. Dichas zonas se observan *in situ* al hacer las termografías y se pueden observar claramente en ellas. También sirve de ayuda fotografías de esas partes del horno.

Los elementos que perjudican la lectura termográfica son partes del horno como tuberías, paneles de lectura, pasarelas, etc. Una vez realizado este procesamiento de las termografías obtenemos unos resultados fiables de la temperatura exterior del horno.

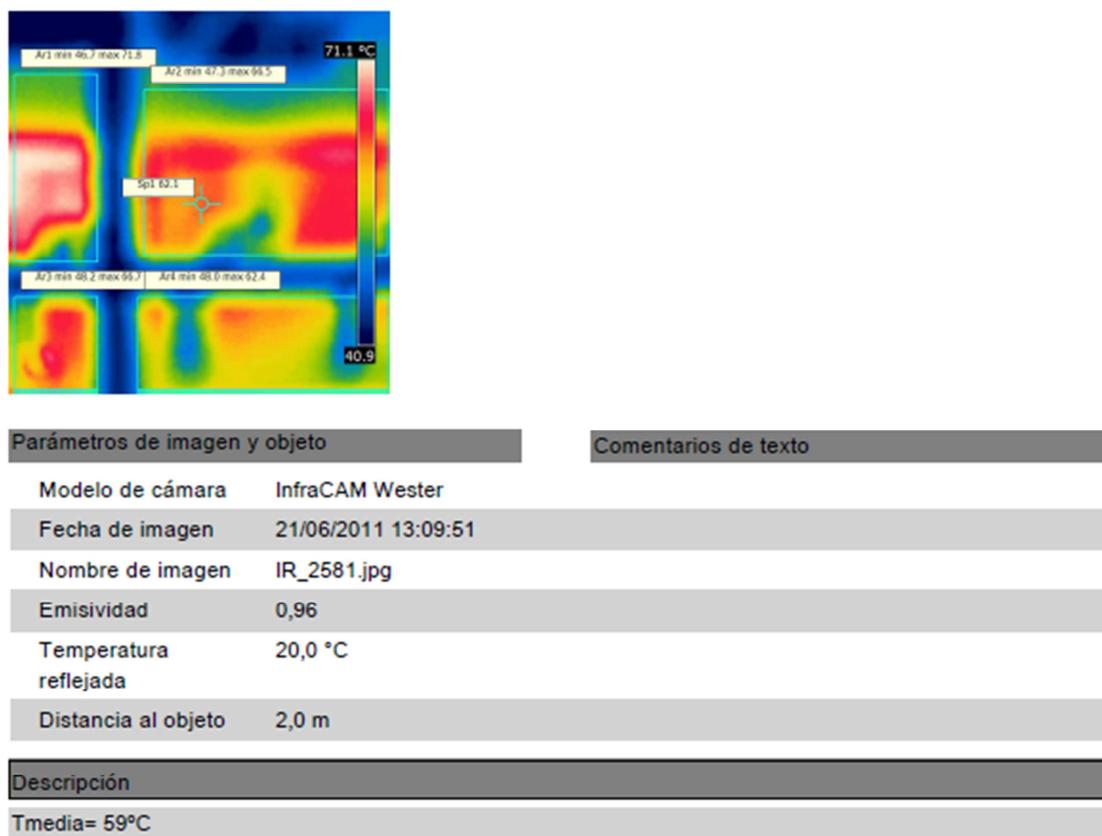


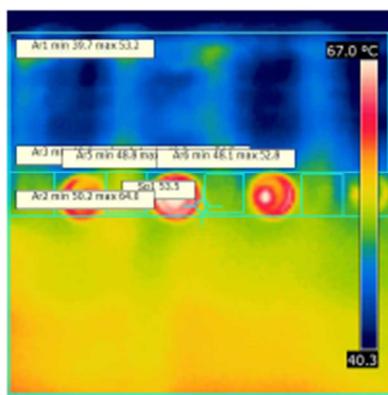
Figura 33. Hoja del informe realizado por el programa FLIR. Zona de cocción.

Este es un ejemplo de termografía analizada. Pertenece a la pared del horno de la parte final de cocción. En ella podemos observar 4 zonas de mayor temperatura

separadas por 2 elementos, uno vertical y otro horizontal. Dichos elementos son tuberías de la instalación del horno por lo tanto hay que apartarlas del análisis.

Por otro lado tenemos una franja superior e menor temperatura que no forma parte de la pared del horno así que debe ser desestimada también. El programa calcula la temperatura media de las áreas seleccionadas obteniendo así el dato que nos interesa.

El siguiente análisis termográfico es distinto al anterior y corresponde a la parte de enfriamiento:

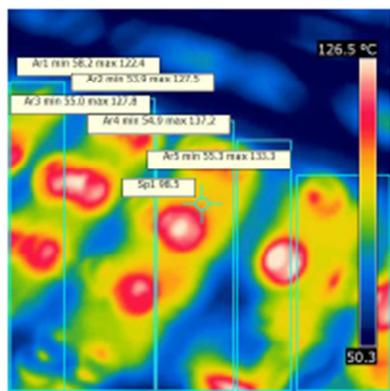


Parámetros de imagen y objeto	Comentarios de texto
Modelo de cámara	InfraCAM Wester
Fecha de imagen	21/06/2011 13:11:18
Nombre de imagen	IR_2585.jpg
Emisividad	0,96
Temperatura reflejada	20,0 °C
Distancia al objeto	2,0 m
Descripción	
Tmedia= 51°C	

Figura 34. Hoja del informe realizado por el programa FLIR. Zona de enfriamiento.

Esta termografía pertenece a la zona final de enfriamiento. En este caso las zonas a desechar, al contrario que en el caso anterior, son las de mayor temperatura que corresponden a tuberías de extracción del aire caliente del interior del horno. Una vez que seleccionamos desechamos esas partes podemos realizar el análisis y obtener la temperatura media.

A continuación se muestra un ejemplo de termografía del techo del horno por su particularidad tanto en la configuración del techo como en la toma de la termografía:



Parámetros de imagen y objeto	Comentarios de texto
Modelo de cámara	InfraCAM Wester
Fecha de imagen	21/06/2011 13:24:13
Nombre de imagen	IR_2600.jpg
Emisividad	0,96
Temperatura reflejada	20,0 °C
Distancia al objeto	2,0 m
Descripción	
Tmedia=85°C	

Figura 35. Hoja del informe realizado por el programa FLIR. Techo.

La toma está hecha desde una pasarela justo encima de la zona central del techo, con lo cual es imposible realizar una mejor termografía. En cuanto a los elementos a desestimar uno es la franja superior que no corresponde a una zona del horno. También se podrían desestimar las barras transversales que sirven de sujeción de los ladrillos refractarios pero no afecta en gran medida al análisis. Una vez más después de seleccionar las zonas de análisis obtenemos la temperatura media de dicha zona.

La información que obtenemos con este análisis es el rango de temperaturas en el que se mueve la temperatura de las paredes y techo. Realmente el dato obtenido no es exacto y podría variar con otra toma de termografías ya fuera por causas de la toma propia o del funcionamiento del horno como pudieran ser la temperatura ambiental o la carga del horno.

Una vez calculada la temperatura media de todas las termografías obtenemos la siguiente tabla:

Termografía	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T media	39,0°C	40,2°C	41,3°C	39,5°C	41,7°C	42,3°C	46,0°C	51,0°C	55,0°C	58,0°C
Termografía	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T media	60,0°C	63,0°C	64,0°C	66,0°C	62,5°C	67,0°C	67,0°C	68,0°C	62,0°C	59,0°C
Termografía	21	22	23	24	25	26				
T media	60,2°C	62,0°C	57,0°C	51,0°C	47,0°C	45,0°C				

Tabla 8. Temperaturas medias obtenidas mediante análisis termográfico.

Los números del 1 al 20 corresponden a la parte de precalentamiento y cocción del horno, mientras que del 21 al 26 pertenecen a la zona de enfriamiento.

La diferencia entre la mayor y la menor temperatura es de casi 30°C, encontrándose las demás dentro de un rango de 40°C a 70°C. La siguiente gráfica ayudará a procesar mejor la información obtenida:

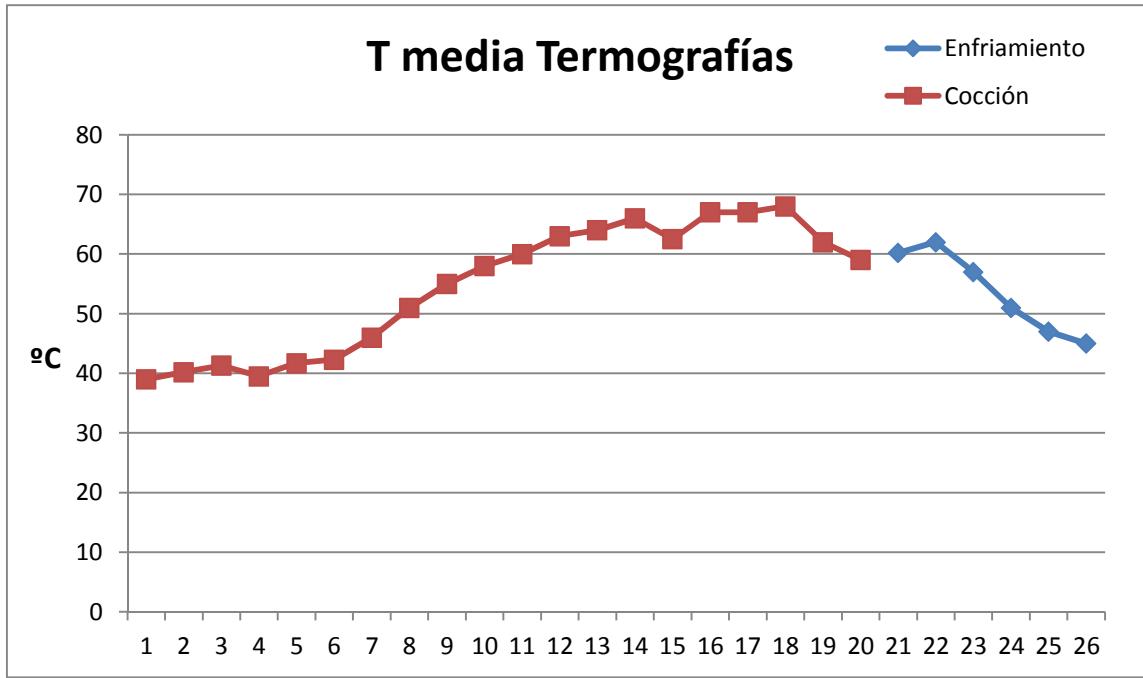


Figura 36. Representación de las temperaturas obtenidas del análisis termográfico.

Una vez ya tenemos estos datos podemos asignar a cada sección su valor de temperatura media. Hay que tener en mente que estos datos obtenidos son aproximados y será conveniente revisar los demás parámetros para dar una temperatura media exterior a cada sección según criterio propio. Cabe resaltar que un error de 10º no afectaría en gran medida a los resultados finales.

9.2. Configuración de los aislantes

La configuración del aislamiento del horno túnel ha sido facilitada por la empresa mediante unos planos del fabricante. La disposición de los aislantes es igual para ambas paredes y distinta para el techo y el suelo.

Los materiales utilizados y su configuración están dispuestos en función de las temperaturas soportadas en los diferentes tramos, consiguiendo una menor conductividad térmica en las de mayor temperatura. En total hay 10 tramos con diferente sección en paredes y techo, y por lo tanto cada uno debe ser estudiado por separado. La sección del suelo no varía ya que es formada por las propias vagonetas.

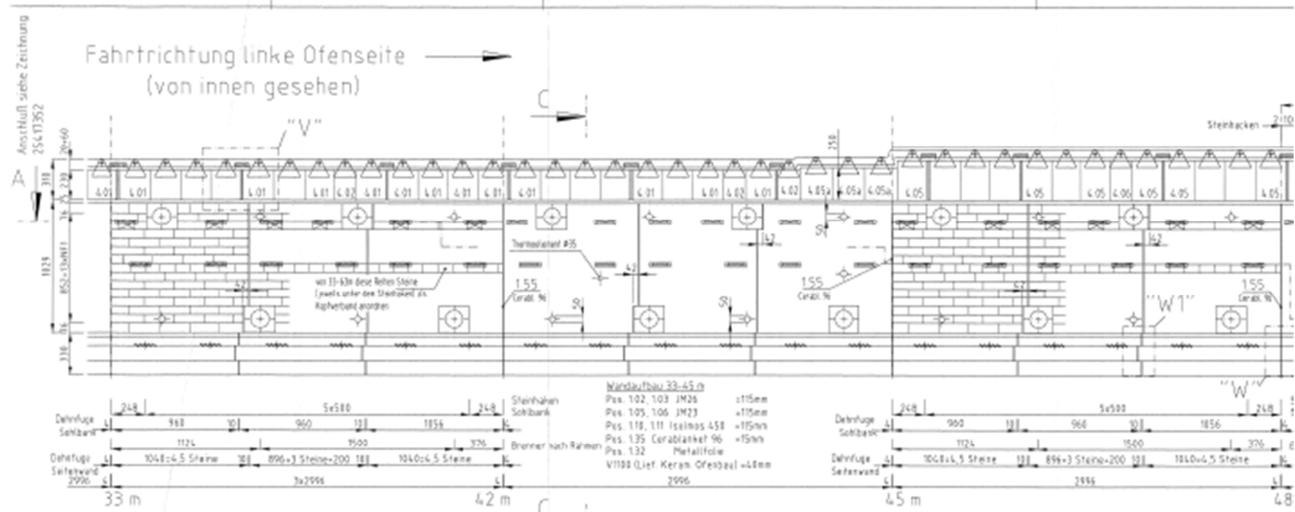


Figura 36. Plano de disposición del aislamiento. Sección transversal.

El aislante de las paredes está configurado por lo general de forma que en la zona interior se hay un material que resiste la temperatura a la que está expuesto y conforme se nos alejamos del foco de calor el material no requiere tanta resistencia y se colocan materiales refractarios con resistencia a altas temperaturas pero mayor resistencia térmica o menor coste.

El aislante del techo tiene una estructura especial. Los ladrillos refractarios están colgados mediante ganchos de unas barras transversales. Además están dispuestos de forma que al alcanzar la temperatura de funcionamiento no quede ningún hueco mientras que cuando no se está trabajando y la temperatura es la ambiental hay pequeños espacios entre los distintos ladrillos. De esta forma se evita la aparición de esfuerzos que puedan dañar el material aislante.

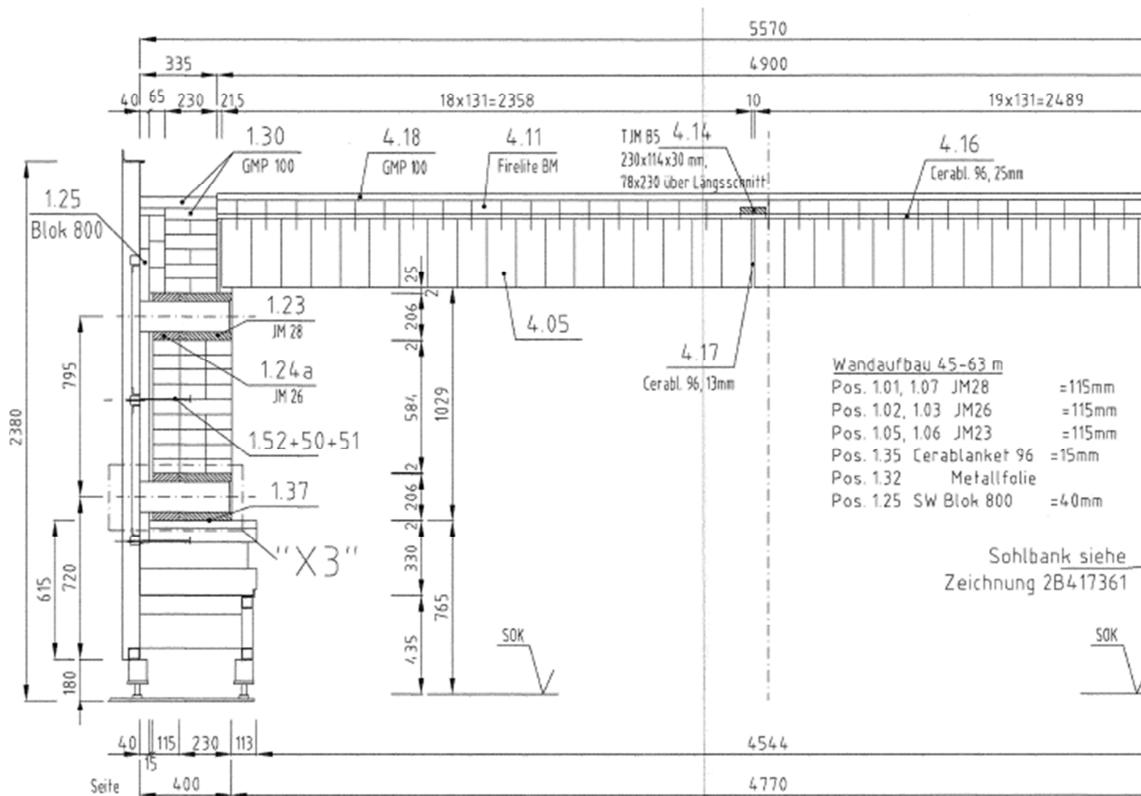


Figura 37. Plano de disposición del aislamiento. Sección frontal.

Finalmente el aislamiento de las vagonetas está formado por una primera placa apoyada sobre un arenero mediante unos pilares. La primera placa es la primera parte del aislamiento, con su configuración material refractario, seguidamente hay un puente térmico producido por el volumen de aire entre el arenero y la placa, y finalmente tenemos el arenero como última parte del aislamiento.

Cabe destacar que cada vagoneta se encaja con la siguiente de forma que no dejan huecos entre ellas.

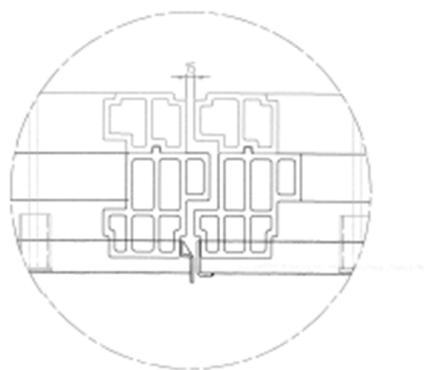


Figura 38. Detalle del encaje entre vagonetas.

9.3. Curva de Temperaturas del horno

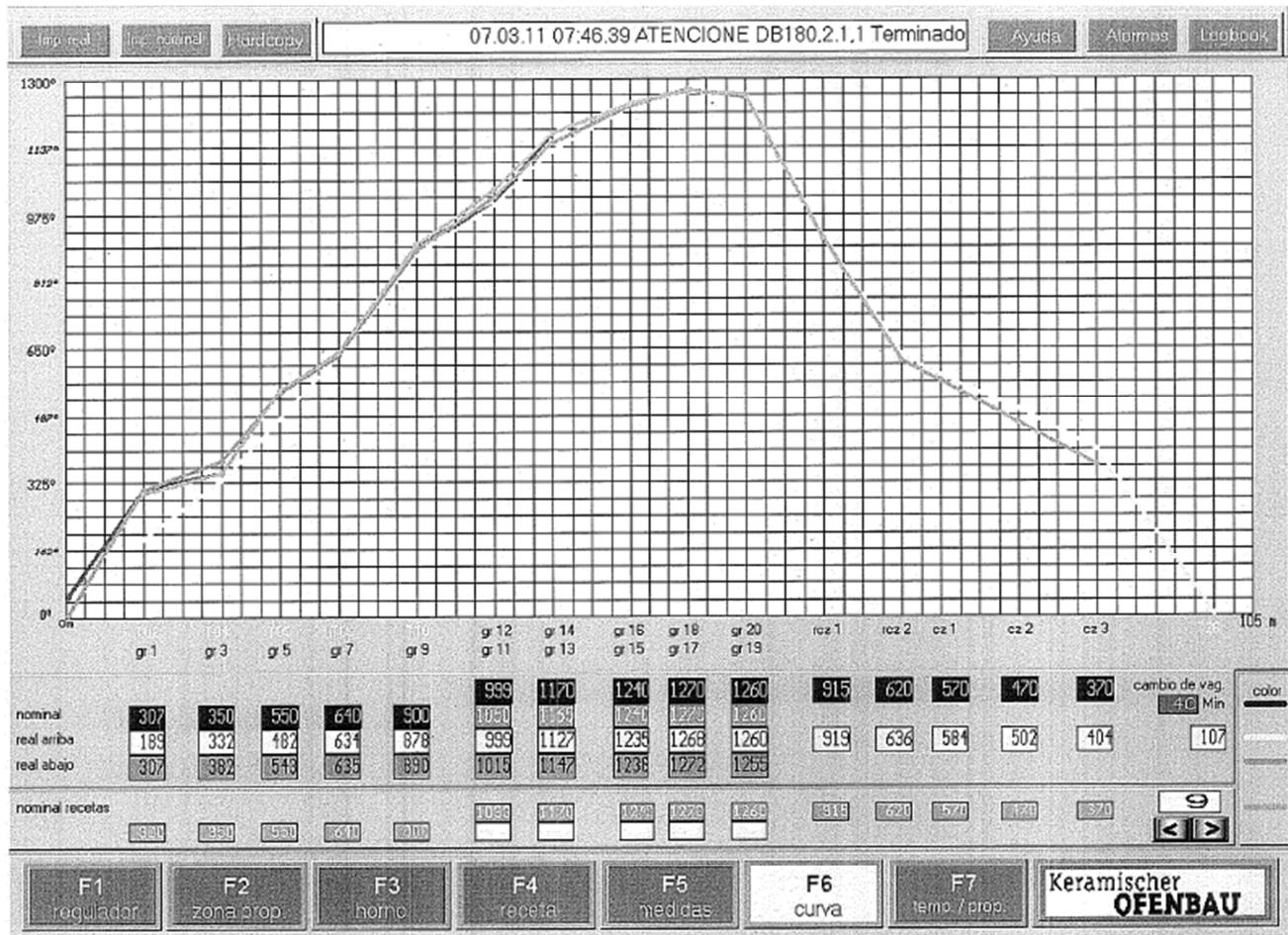


Figura 38. Captura de pantalla de la curva de temperaturas del horno.

Con estas curvas de temperaturas obtenemos la temperatura interior del horno para cada tramo de aislamiento. En esta captura de pantalla observamos una gráfica de temperatura nominal y otra de temperatura real. Ambas son distintas debido a que la consigna de temperaturas es igual para todos los formatos, así que dependiendo del volumen de masa que este circulando dentro del horno variará de una forma u otra el valor de temperatura real.

Este valor que se obtiene tiene un alto impacto a la hora de seleccionar la conductividad térmica de los refractarios de cada sección, ya que dicho valor normalmente depende de la temperatura a la que se encuentra el material siendo menor cuanto más frío esta. Por otro lado la exactitud del valor obtenido no es un requisito primordial para el cálculo de pérdidas ya que el gradiente en las zonas más

solicitadas será de más de 1000ºC y un error de 10ºC apenas supondría un 1% de error. Si además atendemos a que ni la curva nominal, ni la curva real representan claramente el estado mayoritario de funcionamiento del horno podemos concluir en que no es necesario realizar unos cálculos exactos sobre la temperatura media de cada sección.

Sin embargo, como se ha expuesto anteriormente, la temperatura de funcionamiento tiene una gran importancia en lo que a comportamiento del refractario se refiere.

Debido a ello hay que tener un especial cuidado al realizar un perfil de temperaturas por sección. Es de vital importancia que aquellas secciones que trabajen a mayores temperaturas tengan correctamente representada su condición de trabajo. Si se cometiera un error alto en este aspecto se podrían conseguir resultados totalmente equívocos.

En este sentido para corregir los datos obtenidos se ha tenido como referencia tanto la calidad de los refractarios en cada sección como la capacidad de soportar altas temperaturas.

En este sentido la sección 45-64 es la más comprometida ya que abarca 19 metros de horno en una zona de altas temperaturas. Abarca desde el grupo 11 hasta el grupo 17 aproximadamente. En medio nos encontramos otros 2 grupos, el 13 y el 15. La temperatura en cada uno de ellos y al media total son las siguientes:

Grupos	gr11	gr13	gr15	gr17	Media
T nominal	939ºC	1170ºC	1240ºC	1270ºC	1155ºC

Tabla 9. Temperatura en cada grupo y media.

Si calculamos la temperatura media de cada sector de grupo a grupo obtenemos los siguientes resultados:

Zona	gr11-gr13	gr13-gr15	gr15-gr17
T media	1054,5°C	1205°C	1255°C

Tabla 10. Pérdidas de calor por m^2 en cada sección.

Del grupo 13 al 17 la Temperatura media de trabajo es de más de 1200 °C y por lo tanto los refractarios verán muy penalizado su funcionamiento. En cambio para grupo 11 al 13 el déficit de funcionamiento es menor. Con lo cual es más acertado, en base a un primer análisis, escoger una temperatura de funcionamiento de acorde a la sufrida por la mayor parte de la sección (1200°C) en virtud de reflejar mejor el comportamiento de los aislantes. A la hora de analizar los resultados habrá que tener en cuenta todas las estimaciones realizadas.

A continuación se muestran la tabla de temperaturas obtenidas y su representación gráfica.

Sección	01-12	12-21	21-27	27-33	33-45	45-64	64-69	69-75	75-93	93-105
Temperatura	185°C	420°C	590°C	728°C	950°C	1200°C	1265°C	1135°C	777°C	457°C

Tabla 11. Temperatura de cada sección de refractario.

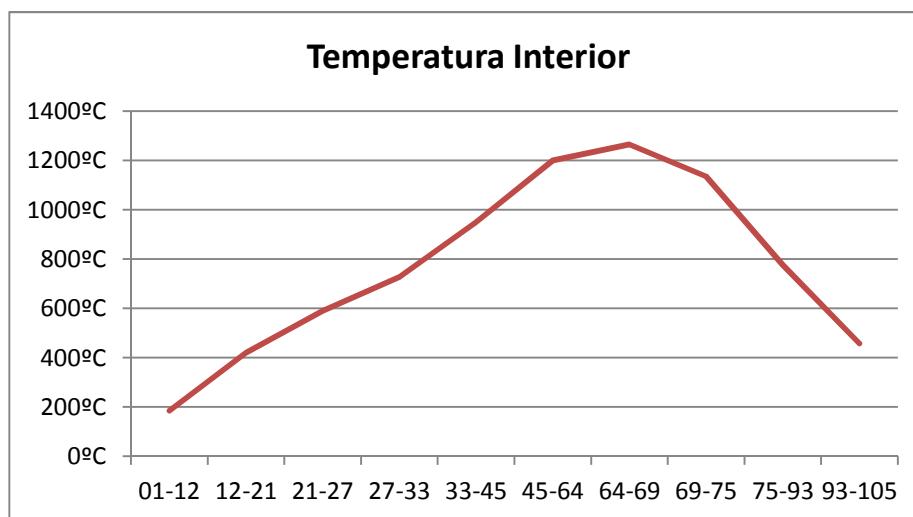


Figura 39. Gráfico de la temperatura interior por sección.

Cómo se puede observar la gráfica sigue la línea que se puede observar en la captura de pantalla de curvas de temperatura del horno. Una vez se comprueba que no hay ningún resultado extraño podemos seguir adelante con el estudio del horno.

9.4. Conductividad térmica (W/m*K) de los materiales del horno

Estos son los diferentes materiales refractarios empleados para el aislamiento térmico del horno. Por regla general cuanto mayor es la temperatura que soportan mayor es su conductividad térmica. También, cuanto menores la temperatura de funcionamiento menor es su conductividad térmica. Por ello son combinados según muestran los planos del horno túnel.

Los materiales refractarios típicos utilizados en los hornos son el carburo de silicio, cordierita, mullita, ladrillos refractarios con base de alúmina (JM, TC, TJM, Isolmos), fibras cerámicas, fibra y lana de vidrio.

JM 23	T (°C)	K
	400	0,14
	600	0,16
	800	0,18
	1000	0,2
	1200	

JM 26	T (°C)	K
	400	0,27
	600	0,29
	800	0,31
	1000	0,33
	1200	0,35

GMP 100	T (°C)	K
	200	0,15
	400	0,15
	600	0,15
	800	0,15
	1000	0,15

CBK96	T (°C)	K
	200	0,06
	400	0,11
	600	0,16
	800	0,23
	1000	0,32

Firelite BM	T (°C)	K
	200	0,11
	400	0,14
	600	

TJM B5	T (°C)	K
	350	0,23

JM 28	T (°C)	K
	400	0,32
	600	0,34
	800	0,36
	1000	0,38
	1200	0,51

Isolmos 450	T (°C)	K
	200	0,1
	400	0,12
	600	0,14
	800	
	1000	

V1100	T (°C)	K
	200	0,15
	400	0,15
	600	0,15
	800	0,15
	1000	0,15

SW Blok 800	T (°C)	K
	200	0,1
	400	0,12
	600	0,14
	800	
	1000	

Cerablank96	T (°C)	K
200	0,06	
400	0,11	
600	0,16	
800	0,23	
1000	0,32	

TC 26	T (°C)	K
400	0,53	
600	0,53	
800	0,53	
1000	0,53	
1200	0,53	

Ceraboard 85	T (°C)	K
300	0,07	
400	0,08	
600	0,11	
800	0,15	

Conductividad térmica (W/m*K)

Cordierita	1,5	mulita	4,5
SiSiC	40	Arenero	0,5

Tabla 12. Conductividades térmicas de los diferentes materiales refractarios utilizados.

(Los datos sobre conductividad térmica han sido aportados por la empresa o consultados en la página web del fabricante)

9.5. PÉRDIDAS DE CALOR EN EL HORNO

A continuación, en las siguientes tablas son calculadas las resistividades térmicas de los diferentes tramos a partir de las conductividades térmicas, los espesores y la superficie aislada. Las conductividades térmicas son escogidas estimándolas según sea su posición interior o exterior y las temperaturas exterior e interior. Además gracias a la diferencia de temperaturas obtenemos el valor de las pérdidas de calor.

Como ejemplo del cálculo: En el tramo de pared 33m-45m la disposición de los refractarios empezando desde el interior es:

1. JM26
2. JM23
3. Isolmos 450
4. Cerablancket96
5. V11000

La temperatura interior es de 950°C y la exterior de 66. A partir de aquí estimamos la conductividad térmica a escoger en función de la temperatura. Para ello suponemos un descenso de la temperatura aproximadamente lineal:

1. JM26: T= 1000°C Cond. Térm.= 0.33 (W/m*K)
2. JM23: T= 800°C Cond. Térm.= 0.18 (W/m*K)
3. Isolmos 450: T= 400°C Cond. Térm.= 0.12 (W/m*K)
4. Cerablancket96 : T= 200°C Cond. Térm.= 0.06 (W/m*K)
5. V11000: T= 200°C Cond. Térm.= 0.15 (W/m*K)

Una vez ya hemos obtenido la conductividad térmica para cada uno de los refractarios se calcula la resistividad térmica de cada tramo como indica la siguiente expresión:

$$\Sigma \frac{\text{Espesor}}{\text{Conductividad térmica}} = \text{Resistividad Térmica Tramo (w}^{-1} \times {^{\circ}\text{C}})$$

$$\text{Área sección}$$

Finalmente a partir de la resistividad térmica del tramo y la diferencia de temperaturas interior y exterior obtenemos las pérdidas por calor:

$$\frac{T_{interior} - T_{exterior}}{Resist. Term. Tramo} = \dot{Q} (W)$$

Este flujo de calor obtenido son las pérdidas de cada tramo del Horno en watios.

Hay que destacar que el valor de la resistividad térmica de cada tramo no es indicativo del aislamiento ya que es un valor por tramo y no por unidad de superficie.

9.5.1. PÉRDIDAS PAREDES HORNO

Posición	01-12		12-21		21-27		27-33		33-45		45-64		64-69		69-75		75-93		93-105	
	E (mm)	pos.																		
JM23							65	2	115	2	115	3	115	2	77	2				
JM26	115	1	115	1	115	1	115	1	115	1	115	2								
JM28											115	1								
Isolmos 450	115	2	155	2	180	2	115	3	115	3			77	3	115	3				
GMP 100	60	3	60	3												100	2	75	2	
Cerablanket96	10	4	10	4	5	3	5	4	15	4	15	4	23	4	23	4				
V1100	40	5	40	5	40	4	40	5					40	5	40	5				
SW Blok 800											40	5								
TC 26													115	1	115	1				
TJM B5																115	1	115	1	

	01-12	12-21	21-27	27-33	33-45	45-64	64-69	69-75	75-93	93-105
Tmedia interior	185°C	420°C	590°C	728°C	950°C	1200°C	1265°C	1135°C	777°C	457°C
T exterior	40	55	58	62	66	68	64	62	56	46
Area (m2)	9.252	6.939	4.974	5.574	12.348	19.551	3.895	5.922	17.55	10.92

9.5.2. PÉRDIDAS TECHO HORNO

Posición	00-12		12-21		21-27		27-33		33-45		45-64		64-69		69-75		75-93		93-105		
	E (mm)	posición																			
Cerablanket 96	25	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	
Firelite BM	60	3	60	3	60	3	60	3	60	3	60	3	60	3	60	3	140	3	100	3	
GMP 100																					
Ceraboard 85																		25	1	25	1
JM 26	230	1	230	1	230	1	230	1	230	1	230	1	230	1	230	1	230	1			

	01-12	12-21	21-27	27-33	33-45	45-64	64-69	69-75	75-93	93-105
Tmedia interior	185ºC	420ºC	590ºC	728ºC	950ºC	1200ºC	1265ºC	1135ºC	777ºC	457ºC
Tmedia exterior	60,0	70,0	70,0	75,0	80,0	96,0	85,0	75,0	65,0	60,0
Área	54,0	40,5	27,0	27,0	54,0	85,5	22,5	27,0	81,0	54,0

R. T	1950,11	1730,64	1520,38	1352,33	1250,54	1172,67	616,07	616,07	1348,48	1554,92
R. T tramo	0,04	0,04	0,06	0,05	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03
q (W)	3461,34	8190,61	9234,56	13037,55	37567,74	80493,18	43095,65	46455,65	42768,00	13787,17
Total										

9.5.3. PÉRDIDAS VAGONETAS HORNO

	E (mm)	posición	Resist Term
Soporte (mul)	540	4	0,99
Capuchón2 (mul)	30	3	0,28
Capuchón2 (mul)	30	3	0,06
Barra1 (SiSiC)	40	2	0,01
Barra 2 (SiSiC)	40	2	0,02
Placas 1 (Cor)	60	1	0,01
Placas 2 (Cor)	60	1	0,06
Aire (puente term)	250	3	0,93
Arenero	270	5	0,12
	Total		2,47

	Area por vagoneta (m2)	Area por m de horno (m2)
Soporte (mul)	0,40	0,12
Capuchón2 (mul)	0,08	0,02
Capuchón2 (mul)	0,38	0,12
Barra1 (SiSiC)	0,26	0,08
Barra 2 (SiSiC)	0,18	0,05
Placas 1 (Cor)	12,25	3,71
Placas 2 (Cor)	2,33	0,71
Aire (puente term)	14,23	4,31
Arenero	14,63	4,43

Posición	1 - 12	12 - 21	21 - 27	27 - 33	33 - 45	45 - 64	64 - 69	69 - 75	75 - 93	93 - 105
Tmedia interior	185°C	420°C	590°C	728°C	950°C	1200°C	1265°C	1135°C	777°C	457°C
Tmedia ext	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C	50°C
q (W)	655,67	1347,77	1311,34	1646,46	4371,14	8843,47	2458,77	2634,83	5296,37	1976,73

Total (W)	Total (kW)
30543	30,543

9.6. Resumen pérdidas en el horno

Las pérdidas totales en cada zona son:

- Paredes Horno: **84,70 kW**
- Techo Horno: **298,09 kW**
- Suelo Horno: **30,543 kW**

Como se puede observar, la mayor pérdida de energía se produce en el techo del horno. Su valor es más de tres veces superior al de las paredes y unas 10 veces superior al suelo.

Claramente es una zona con mucho potencial de mejora, aunque habría que estudiar la forma de mejorar el aislamiento térmico dada la estructura del techo del horno.

Por otro lado es conveniente estudiar las pérdidas en W/m^2 de cada una de las secciones del techo y paredes (en el suelo la sección no cambia) para poder realizar un mejor examen de las mejoras posibles. En la siguiente tabla se recogen las pérdidas de calor en W/m^2 en el techo y en las paredes.

	01-12	12-21	21-27	27-33	33-45
Paredes	60,18	151,50	236,81	310,69	359,00
Techo	64,10	202,24	342,02	482,87	695,70

	45-64	64-69	69-75	75-93	93-105
Paredes	625,62	638,28	564,98	618,00	411,00
Techo	941,44	1915,36	1720,58	528,00	255,32

Tabla 13. Pérdidas de calor por m^2 en cada sección.

Para mostrar mejor la diferencia de pérdidas de cada tramo nos ayudamos de un gráfico con el cual detectaremos mejor las zonas con mayor problema.

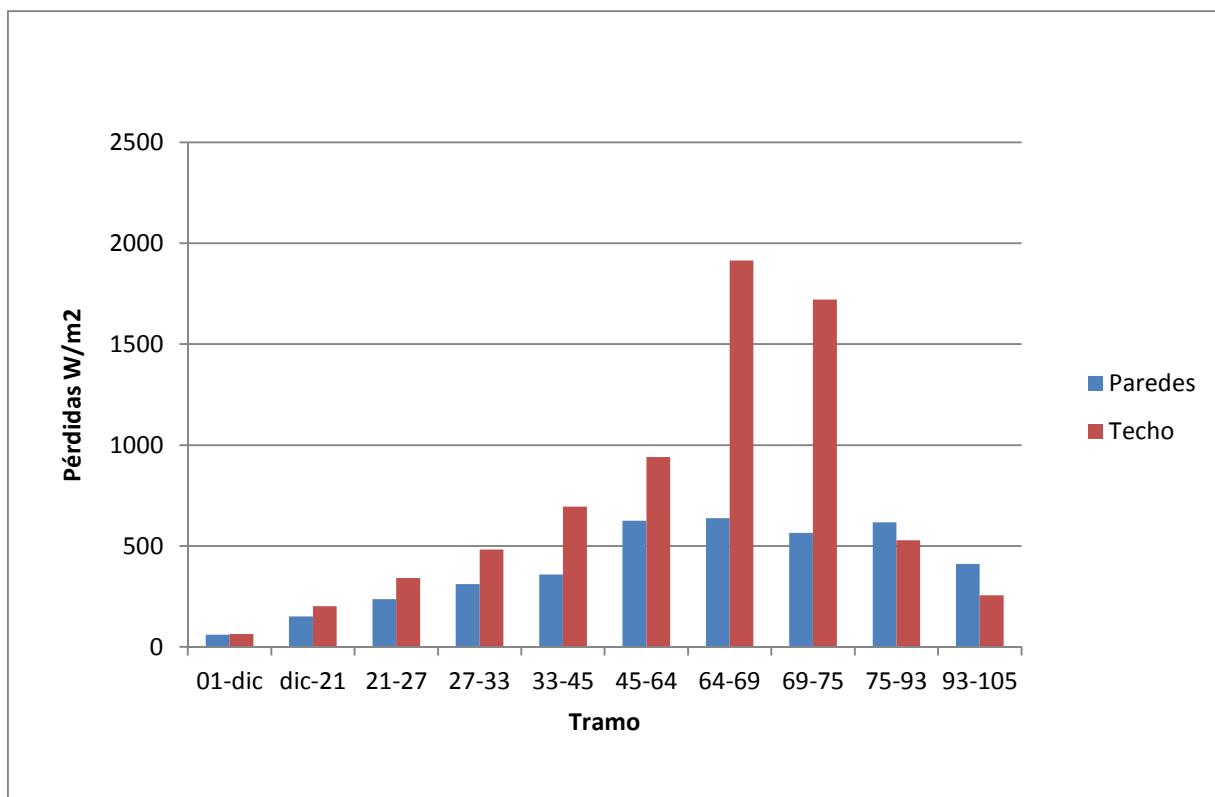


Figura 40. Gráfico de las pérdidas por m^2 en cada sector.

Al observar el gráfico llama la atención el gasto excesivo de los tramos 64-69 y 69-75. A parte de ser los datos más grandes en cuanto a pérdidas tampoco siguen la pauta de aumento de las pérdidas que indican los valores anteriores. Si nos fijamos en la configuración de los aislantes observamos que el tramo 45-64 tiene un aislamiento mejor a pesar de sufrir unas temperaturas un poco menores. Esta diferencia de aislamiento produce que se disparen las pérdidas en esos dos tramos. También cabría la posibilidad de que tal diferencia esté producida por algún fallo en el aislamiento ya sea por no estar bien colocado, por deterioro o algún defecto del horno.

También son destacables las pérdidas que tienen lugar en las paredes de la zona de enfriamiento siendo de igual importancia que las más altas de la zona de cocción.

Dejando de lado los casos extraordinarios comentados, este gráfico nos indica qué zonas habría que priorizar a la hora de mejorar el aislamiento, siendo éstas las de mayores pérdidas por metro cuadrado.

10.CONCLUSIONES

Una vez analizada la empresa sacamos numerosas conclusiones tanto en el aspecto de mejora de la empresa como de la realización de la auditoría como herramienta, la manera de llevarla a cabo y el diseño de aislamientos térmicos.

Auditoria energética

La auditoría energética es la primera herramienta a la que hay que acudir cuando se quiere obtener una mejora de la eficiencia. Su característica principal es la flexibilidad a la hora de hacer inversiones y momento en el que se finaliza. De hecho en un primer lugar, las primeras fases de la auditoria o las auditorias más sencillas indican los posibles puntos de mejor y la necesidad de seguir con la auditoría y realizar más inversiones.

En cualquier momento el cliente de la auditoria puede decidir en qué momento finaliza está en función del dinero disponible o simplemente su propio criterio. Además se pueden fijar los términos que se crean necesarios personalizando cada actuación. Esta es la gran ventaja de la auditoria energética, su versatilidad y personalización en todo momento.

Desarrollo de la auditoría energética

Dentro de la auditoría energética hay que hacer hincapié en el análisis termográfico, del cual podemos decir que es una herramienta muy útil. Su uso es obtener datos de temperaturas de superficies y mediante su procesamiento mediante programas informáticos podemos refinar esa información. Pero a pesar ello, su utilidad está en poder detectar *in situ* las zonas de mayores pérdidas puesto que las zonas de mayor temperatura coinciden con las de mayores pérdidas. Esto se podría aprovechar para valorar en un principio si merece la pena hacer un estudio más exhaustivo y en tal caso qué zonas deberían ser objeto de ello. De este modo se podría llevar a cabo unos análisis más rápidos y eficientes.

Por otro lado la mejor forma de procesar los resultados es mediante su comparación mediante gráficos. A pesar q los resultados numéricos nos puedan dar

lugar a unas conclusiones claras, al compararlos mediante gráficos podemos ver la importancia relativa de muchos datos a la vez y saber priorizar mejor las distintas soluciones y la magnitud de estas con mayor celeridad.

Aislamientos térmicos

En el aspecto del aislamiento objeto que ha sido estudio de esta auditoría hay que centrarse en dos puntos, primero los materiales escogidos (su conductividad térmica en función de la temperatura) y la posición de colocación en el aislamiento.

En las zonas más exigentes hay que poner los aislamientos que consigan soportar correctamente las temperaturas y tengan la menor conductividad térmica posible. Generalmente cuanto mayores temperaturas resiste un material más alta es su conductividad. Por ello hay que tener especial cuidado de colocar la suficiente cantidad de ese material para que el siguiente aislante trabaje a una temperatura adecuada. Pero también es necesario poner una siguiente capa de otro aislante mejor en cuanto este sea capaz de soportar las temperaturas de trabajo en condiciones óptimas de funcionamiento. Una elección errónea puede resultar en unas condiciones de trabajo de los aislantes en las q su funcionamiento está lejos del deseado.

En cuanto a la selección de los materiales refractarios según la zona hay que asegurarse de cuáles son las condiciones de trabajo de estas zonas. Una mala identificación de esas condiciones puede derivar en dos casos:

- Un aislamiento excesivo: las pérdidas son más bajas pero no lo suficientemente significativas La inversión de aportar ese aislamiento resultará más cara de lo necesario.
- Un aislamiento deficiente: mayores pérdidas que contribuyen a una menor eficiencia y por lo tanto mayor gasto.

Mejoras aplicables en la empresa

Del análisis termográfico, se desprende que la zona de mayor temperatura media es la bóveda del horno, a través del puente térmico que provoca la instalación de los ganchos “del jamón” para la sujeción para los ladrillos de cordierita de dicha bóveda, tal y como puede verse en la siguiente termografía de la zona del horno. El valor medio de las pérdidas por dicha bóveda suma 298 kW, siendo las pérdidas laterales tan sólo de 84 kW. El diagrama de Sankey informa por zonas y por módulos de las pérdidas calculadas en el horno túnel.

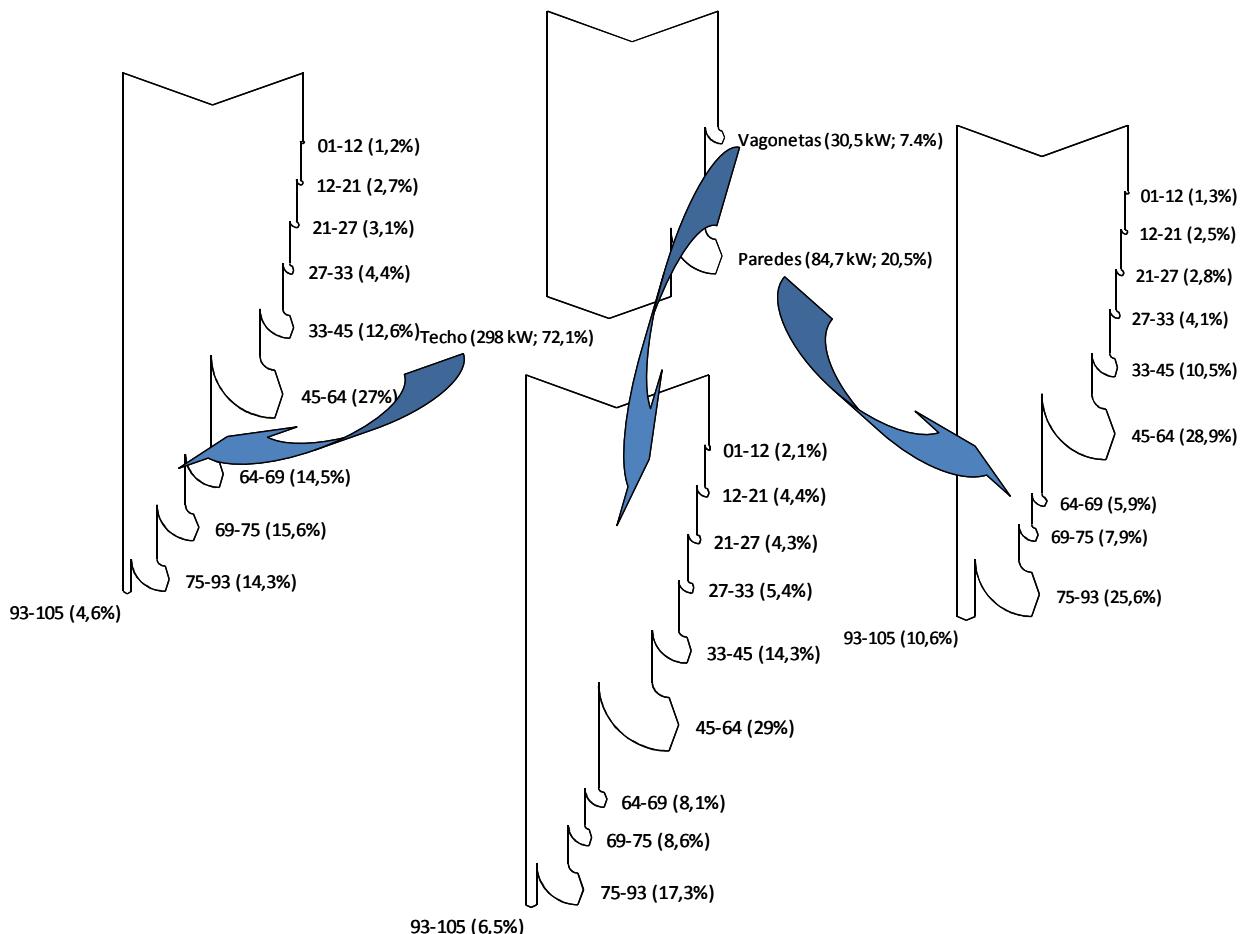


Figura 41. Diagrama de Sankey de las pérdidas de las paredes a lo largo de su longitud (módulos 1-105).

Por tanto, las actuaciones en este sentido deberían centrarse en el aislamiento de los puentes térmicos (se midieron temperaturas superficiales del horno por encima de 150°C en dichos puentes térmicos en forma romboidal) que comportan la sujeción en la bóveda de los ladrillos de cordierita.

Dentro de la zona del techo los tramos 64-69 y 69-75 son los que mayor pérdidas generan. Por lo tanto cualquier mejora en el refractario del horno debe tener como primer objeto esta zona.

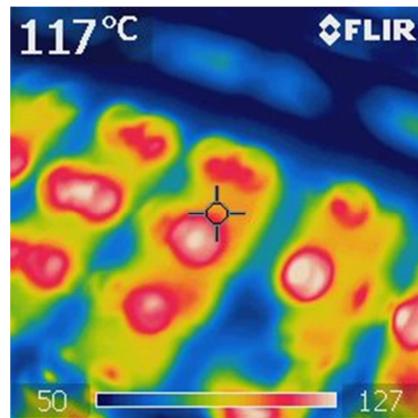


Figura 42. Termografía de la bóveda del horno túnel, zona de cocción.

En cuanto a las pérdidas hacia la solera del horno a través de las vagonetas, su estructura de doble piso con arenero incorporado en su parte baja no reporta grandes pérdidas de calor hacia el suelo, en total se han computado 30 kW de pérdidas.

Los gases de combustión del horno son liberados a la atmósfera llevándose con ellos una gran cantidad de energía que no es aprovechada. Mediante un intercambiador de calor se podría aprovechar esa energía en la medida de lo posible.

Finalmente, en cuanto al horno, el aislamiento en un espacio reducido de la extracción de gases y especialmente del aire caliente en la aspiración de los ventiladores permitiría una mayor temperatura aprovechable para el secadero, tal y como puede verse en los cálidos tonos de la termografía realizada en dicha zona.

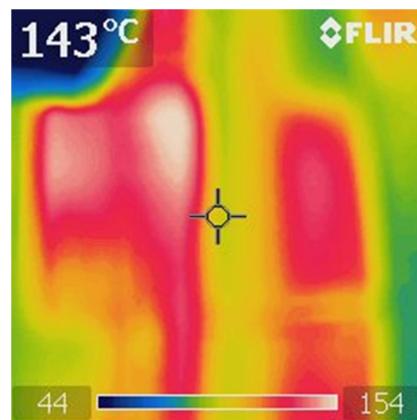


Figura 43. Termografía de la aspiración de aire caliente hacia secaderos.

A parte de las conclusiones sacadas a partir del análisis realizado del horno, se pueden extraer otras más generales del resto de las instalaciones:

Las empresas de este sector necesitan una gran cantidad de energía en forma de calor y de electricidad, por lo tanto un sistema de cogeneración podría aportar un beneficio considerable si la situación de las instalaciones lo permitiera. De hecho esta mejora esta citada como una de las fundamentales en el informe *BREF* de mejores técnicas aplicables.

También en cuanto a la generación de electricidad, la instalación de paneles solares podría resultar interesante en base a su rentabilidad de explotación y subvenciones de instalación y explotación.

Para una mejora de la planificación de la producción habría que tener en cuenta los requisitos de cada formato, los inconvenientes debidos al cambio de producción de formato y su demanda. La principal mejora que se obtendría de una mejor planificación es un mejor aprovechamiento en los secaderos del aire caliente procedente del horno.

Por último, en el aspecto de consumos eléctricos, una sustitución de los equipos menos eficientes y una mejora en los hábitos de consumo por parte del personal podría suponer también un ahorro significativo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- INFORME BREF DE MEJORES TÉCNICAS APLICABLES.
- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS NOVOKERAM.
- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS KERAMISCHER.
- PLANOS DE HORNO KERAMISCHER.
- PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN ARAKLINKER.
- <HTTP://WWW.ASCER.ES> ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS.
- "TÉCNICAS PARA LA ELABORACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL" ALFONSO ARANDA USÓN, FRANCISO BARRIO MORENO, IGNACIO ZABALDA BRIBIÁN Y SERGIO DÍAZ DE GARAIO. PRESAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA.
- <HTTP://WWW.MOSCONI.COM/INSULATINGBRICKS/PROFILE.HTML>
- <HTTP://WWW.ALDERO.COM>
- "FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA TÉCNICA" M.J MORAN, HOWARD N. SHAPIRO, TRADUCIDO POR JOSÉ A TURÉGANO, CARMEN VELASCO.
- MANUAL DE IDENTIDAD CORPORATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA HTTP://WWW.UNIZAR.ES/SG/DOC/3.MANUAL_ONCE_.PDF
- ESTUDIO SOBRE EL SECTOR DEL AZULEJO (2008-2004) KPMG.
- NORMATIVA UNE 216501 SOBRE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS.
- GUÍAS TECNOLÓGICAS. EPÍGRAFE 3.5 FABRICACIÓN DE AZULEJOS Y BALDOSAS CERÁMICAS. FUNDACIÓN ENTORNO EMPRESA Y MEDIOAMBIENTE. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA.
- EL SECTOR CERÁMICO ESPAÑOL: UN ENFOQUE DE MERCADO. VALENTÍN GALLART CAMAHORT
- THUMANN, ALBERT. (1998). HANDBOOK OF ENERGY AUDITS. EDIT. THE FAIRMONT PRESS.
- 24 DE FEBRERO DE 2011
- INE, NOTA DE PRENSA (24 DE FEBRERO DE 2011) ENCUESTA DE CONSUMOS ENERGÉTICOS 2009

- **PLAN DE ACCIÓN DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2011-2020**
- **PLAN DE ACCIÓN 2008-2012, ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2004-2012**



AGRADECIMIENTOS:

- **Gres Aragón:** Empresa que ha suministrado los datos con los que se ha trabajado en el proyecto.
 - **Luis Segura Miguel, Jefe de mantenimiento de Gres Aragón**
- **CIRCE:** Centro de la Universidad de Zaragoza que ha aportado material y ayuda para la realización de este proyecto.
 - **Amaya Martínez Gracia, Directora de proyecto**
 - **Javier Uche Marcuello, Director de proyecto**