

GUÍA DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES
PARA EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE

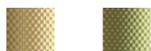
BALDOSAS CERÁMICAS

EN LA COMUNITAT VALENCIANA



El CTL es un elemento fundamental en la política medioambiental de la Comunitat Valenciana. Creado por la Generalitat Valenciana, a través de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, está al servicio de la administración autonómica y las empresas de nuestra comunidad, para el impulso, difusión e implantación de tecnologías limpias en todos nuestros procesos productivos. Su función es desarrollar el programa de prevención y control integrado de la contaminación, recogido en la Ley de Residuos de la Comunitat Valenciana.

GUÍA DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES
PARA EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE
BALDOSAS CERÁMICAS
EN LA COMUNITAT VALENCIANA



PRÓLOGO

Las empresas cerámicas, un ejemplo a seguir.

La Comunitat Valenciana es una de las que mayor número de empresas se encuentran afectadas por la Ley de Prevención y Control integrados de la Contaminación (IPPC) lo que significa que todas estas empresas deben obtener la Autorización Ambiental Integrada, un certificado exigente que supone una auténtica garantía de que la empresa empleará las mejores técnicas disponibles y por lo tanto las menos contaminantes

Del conjunto de todos los sectores industriales de la Comunitat Valenciana incluidos en esta Ley, el sector de la cerámica representa cerca del 50% del total.

Realmente, las empresas valencianas llevan años realizando un esfuerzo importante por adaptarse a la cada vez más exigente normativa ambiental, y entre ellas, las empresas cerámicas son un ejemplo a seguir. Actualmente más de 130 industrias de este sector ya han obtenido la Autorización Ambiental Integrada. Este esfuerzo se ve correspondido con un aumento de su competitividad y buena imagen.

Precisamente para contribuir a que puedan alcanzar este logro se ha puesto en marcha la guía de mejores técnicas disponibles para la empresa cerámica, con la que se pretende facilitar la labor de estas industrias por adaptar todavía más sus procesos productivos a las tecnologías más limpias, para conseguir una eficiencia productiva mucho mayor, reducir los consumos y consecuentemente minimizar los niveles de impacto ambiental.

Una guía promovida por la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, a través del Centro de Tecnologías Limpias que ha contado con la colaboración del Instituto de Tecnología Cerámica (ITC), cuya elaboración no hubiera sido posible sin la amplia colaboración y aportaciones de diversas asociaciones e instituciones implicadas en el sector de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana.

Con esta guía, que no pretende ser un listado cerrado y definitivo, pretendemos servir a las diferentes partes interesadas, es decir, empresas, ingenierías, consultores, administraciones, identificando las mejores técnicas a lo largo de todo el proceso para ayudarlas a mejorar su comportamiento ambiental y para que nuestras empresas continúen liderando la competitividad y contribuyan a lograr una Comunitat productiva y verde que todos queremos.

Juan Cotino
Conseller de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda
y Vicepresidente tercero

Esta publicación se ha llevado a cabo en el Marco del Convenio
Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge - REDIT 2009

Elaboración

Instituto de Tecnología Cerámica y Comisión de Trabajo

Edición

Centro de Tecnologías Limpias
Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge
Generalitat Valenciana

Diseño y maquetación

efectiva.net

Primera edición

ISBN: 978-84-482-5099-7

COMISIÓN DE TRABAJO

Generalitat Valenciana

- **Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda**
 - **Dirección General para el Cambio Climático**
JOAQUÍN NICLÓS FERRAGUT
RUTH GARCÍA LARA
YOLANDA MARQUÉS GIMÉNEZ
ÚRSULA MENESES RUIZ
ENRIQUE SÁNCHEZ JIMÉNEZ
M^ª CARMEN MARTÍNEZ LLINARES
LAURA GALISTEO GARZÓN
EVA FORNES MARTÍNEZ
ENRIQUE LÓPEZ BALAGUER
 - **Dirección General de Gestión del Medio Natural**
M^ª FRANCISCA CALAFAT ROMERO
 - **Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales**
FRANCISCO ESCRIBANO ROMERO
- **Conselleria de Industria, Comercio e Innovación**
 - **D.G. Industria e Innovación**
PAULA LAGARTO SERNA

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

- **Confederación Hidrográfica del Júcar**
MIGUEL POLO CEBELLÁN
M^ª JOSÉ VALVERDE LÓPEZ
BEATRIZ FONDEVICA GARCINUÑO

Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER)

VICTORIA ZAERA HIDALGO
MANUEL GONZÁLEZ CUDILLEIRO
BALMA GODES PAVÓN

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales - Castellón

JOSÉ LUIS QUINTELA CORTES

Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales - Castellón

JOSÉ LUIS GINÉS PORCAR

Confederación Empresarial Valenciana (CEV)

ELISA A. DEL RÍO PÉRIS
BEATRIZ ESLAVA CARBONERAS

Consejo Superior de Cámaras de Comercio

- **Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Castellón**
VICTORIA RUBIO CALDUCH

Federación Valenciana de Municipios y Provincias

ROBERT BERMELL MELIÀ

Instituto de Tecnología Cerámica

IRINA CELADES LÓPEZ
VICENTA SANFÉLIX FORNER

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
1. LEGISLACIÓN DERIVADA DE LA DIRECTIVA IPPC.....	13
1.1. La ley IPPC y las actividades afectadas.....	13
1.1.1. Los documentos de referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles	13
1.2. Ley 2/2006 de prevención de la contaminación y calidad ambiental de la Comunitat Valenciana y Decreto 127/2006.....	14
1.2.1. Autorización Ambiental Integrada.....	14
1.2.2. Licencia Ambiental.....	15
1.2.3. Comunicación Ambiental.....	15
2. FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS EN LA COMUNITAT VALENCIANA	19
2.1. Introducción	19
2.2. Estructura de la industria y contexto geográfico.....	19
2.2.1. Contexto económico y social.....	20
2.3. Contexto sectorial. La industria española en el mundo.....	21
2.3.1. España, primer productor europeo y tercero mundial	21
2.3.2. El consumo mundial.....	21
2.3.3. El comercio mundial.....	22
2.3.4. La exportación española.....	22
2.3.5. La importación española	23
2.4. Tipos de productos.....	23
2.4.1. Por la coloración de la pasta.....	23
2.4.2. Por el uso al que va destinado.....	24
2.4.3. Por las características del proceso de fabricación	25
2.5. Descripción del proceso de fabricación de baldosas cerámicas	27
2.5.1. Azulejo	27
2.5.2. Gres esmaltado	27
2.5.3. Gres porcelánico	28
2.5.4. Gres rústico	29
3. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS.....	33
3.1. Emisiones atmosféricas.....	33
3.1.1. Emisiones de material particulado	34
3.1.2. Emisiones de contaminantes gaseosos	34
3.2. Efluentes líquidos	36
3.2.1. Características de las aguas residuales y pluviales	37
3.3. Residuos.....	38
3.3.1. Residuos no peligrosos.....	38
3.3.1. Residuos peligrosos.....	38
3.3.3. Residuos asimilables a urbanos.....	39
3.4. Contaminación acústica	39
4. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES	43
4.1. Emisiones a la atmósfera	43
4.1.1. Emisiones de partículas	43
4.1.2. Emisiones de compuestos gaseosos.....	45
4.2. Consumos y vertidos de agua.....	48
4.2.1. Optimización del proceso	48
4.2.2. Sistemas de tratamiento de las aguas residuales y pluviales contaminadas.....	48
4.3. Residuos: lodos y suspensiones cerámicos.....	49
4.4. Residuos sólidos generados en el propio proceso.....	50
4.5. Ruido	50
4.6. Energía.....	51
4.7. Gestión medioambiental	51
4.7.1. EMAS	52
4.7.2. Etiqueta Ecológica Europea	53
5. CONTENIDO DE LAS AUTORIZACIONES AMBIENTALES INTEGRADAS CONCEDIDAS EN LA COMUNITAT VALENCIANA.....	57
5.1. Emisiones atmosféricas.....	57
5.1.1. Emisiones canalizadas	57
5.1.2. Control de la emisión de contaminantes por focos canalizados	58
5.1.3. Control de la emisión de partículas por fuentes difusas	58
5.2. Ruido	60
5.3. Vertidos	60

5.4. Protección del suelo y de las aguas subterráneas	61
5.5. Procedimientos y métodos de gestión de residuos	62
5.5.1 Producción de residuos	62
5.5.2 Gestión de residuos	62
5.6. Sistemas y procedimientos para el tratamiento de emisiones y residuos, con especificación de la metodología de precisión, su frecuencia y los procedimientos para evaluar las mediciones	62
5.6.1. Control de residuos	62
5.7. Medidas a adoptar en situaciones distintas de las normales que puedan afectar al medio ambiente	63
5.8. Otras condiciones	64
5.9. Obligación de suministro de información	64
6. ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE PROCESO MÁS IMPLANTADAS	67
6.1. Molturación	67
6.1.1. Molturación por vía seca / humectación	67
6.1.2. Molturación por vía húmeda y secado por atomización	69
6.1.3. Sistemas de cogeneración	73
6.2. Prensado	75
6.3. Secado	76
6.3.1. Secadero vertical	76
6.3.2. Secadero horizontal	77
6.4. Esmaltado y decoración	80
6.4.1. Técnicas de esmaltado	80
6.4.2. Técnicas de decoración	86
6.5. Hornos de cocción	92
7. TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN	97
7.1. Tecnologías en sistemas de depuración de emisiones de material particulado a través de focos canalizados	97
7.1.1. Filtros de mangas	97
7.1.2. Filtros de láminas	98
7.1.3. Separadores centrífugos. Ciclones	99
7.1.4. Separadores de partículas vía húmeda	99
7.1.5. Precipitadores electrostáticos (EPS)	100
7.1.6. Ventajas e inconvenientes	101
7.1.7. Niveles de emisión alcanzados mediante la implantación de las tecnologías propuestas respecto a los niveles establecidos por la legislación	103
7.1.8. Costes de implantación de las tecnologías	104
7.1.9. Grado de implantación	105
7.2. Tecnologías en sistemas de depuración de emisiones de contaminantes gaseosos a través de focos canalizados	105
7.2.1. Adsorbedores de lecho tipo cascada	106
7.2.2. Adsorbedores de módulos	106
7.2.3. Filtros de mangas o precipitadores electrostáticos + reactivo	107
7.2.4. Ventajas e inconvenientes	108
7.2.5. Niveles de emisión alcanzados mediante la implantación de las tecnologías propuestas respecto a los niveles establecidos por la legislación	110
7.2.6. Costes de implantación de las tecnologías propuestas	111
7.2.7. Grado de implantación	112
7.3. Tecnologías en el tratamiento de efluentes líquidos	112
7.3.1. Homogenización	113
7.3.2. Aireación	113
7.3.3. Sedimentación	114
7.3.4. Filtración	116
7.3.5. Adsorción en carbón activo	119
7.3.6. Intercambio iónico	120
7.3.7. Ósmosis inversa	121
7.3.8. Neutralización	122
7.3.9. Precipitación química	123
7.3.10. Coagulación y floculación	123
7.3.11. Costes de inversión	124
8. TENDENCIAS FUTURAS	129
9. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES	133
10. EXPRESIONES ÚTILES EN CÁLCULOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	135
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
12. DIRECCIONES DE INTERÉS	139

INTRODUCCIÓN

El 81% por ciento aproximadamente de todas las empresas españolas fabricantes de baldosas y recubrimientos cerámicos se encuentra en la Comunitat Valenciana, principalmente en Castellón (datos ASCER 2006). Esta concentración geográfica, que afecta además a las industrias afines, como los fabricantes de esmaltes, fritas y colores y los fabricantes de maquinaria, permite la interrelación entre ellas, la acumulación y el desarrollo de conocimientos, así como servicios de apoyo comunes.

El término Mejores Técnicas Disponibles (MTD o BAT, del inglés Best Available Techniques) se utiliza en la Directiva 1/2008 de IPPC, siglas en inglés de Integrated Pollution Prevention and Control, así como en la ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación (publicada en el BOE en fecha 2 de julio de 2002), y en la ley 2/2006 de prevención de la contaminación y calidad ambiental (publicada en el DOGV en fecha 11 de mayo de 2006).

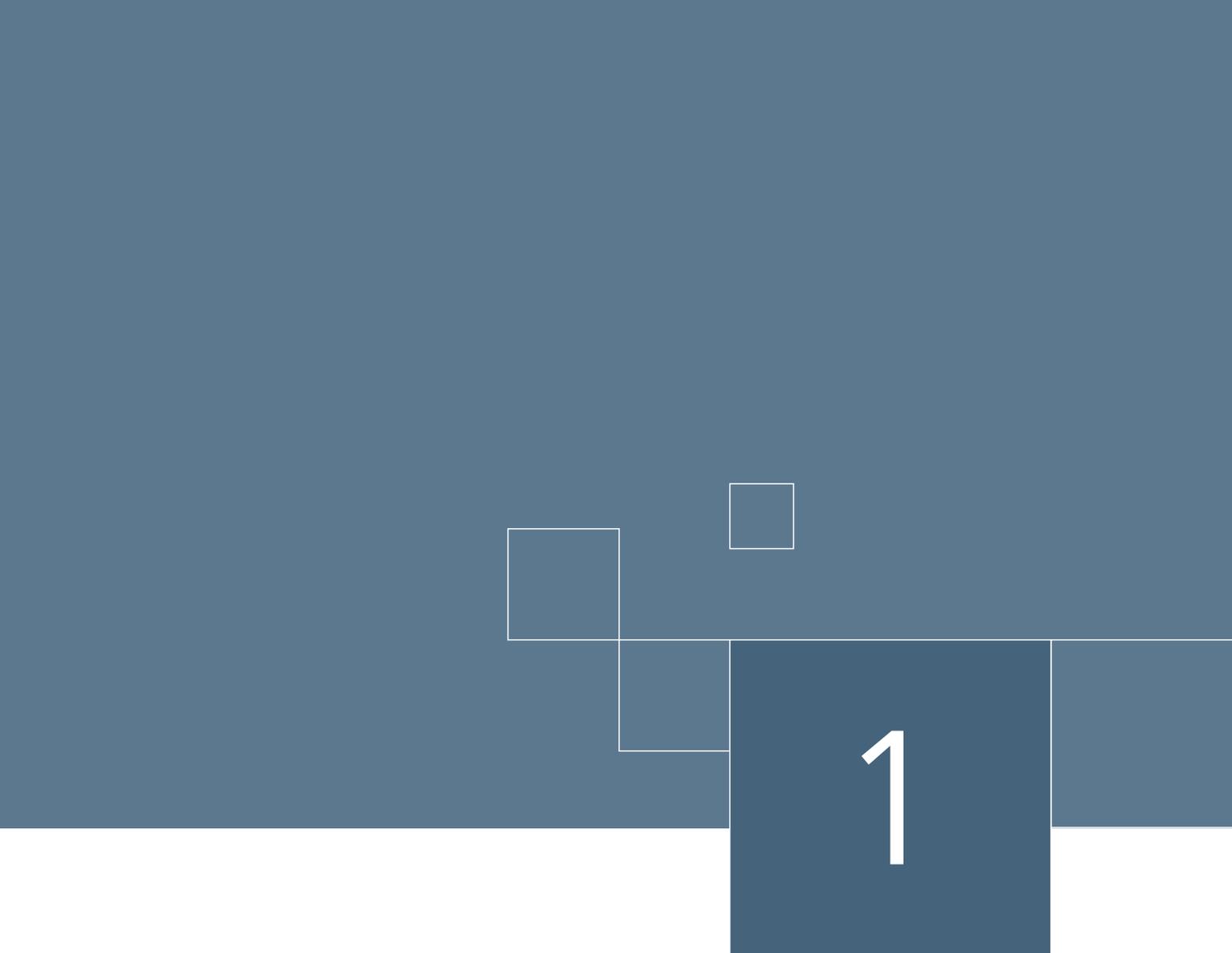
Las MTD hacen referencia a las mejores técnicas, disponibles y viables técnica y económicamente para reducir los impactos ambientales. La filosofía de aplicación de esta Directiva es que en las Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI) se tengan en cuenta dichas MTD a la hora de su concesión, así como las características locales de la instalación y del entorno. Este documento tiene en cuenta el "Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry" (BREF), desarrollado por el IPTS (The Institute for Prospective Technological Studies), el conocimiento técnico del Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) y de las diferentes asociaciones que han participado en el grupo de trabajo, así como la experiencia adquirida por las administraciones competentes, sobre todo tras la publicación de la ley 2/2006.

Esta guía no pretende ser un listado cerrado y exhaustivo de tecnologías. Su objetivo es servir a las diferentes partes interesadas (empresas, ingenierías, consultoras, administraciones, etc.) para identificar cuales son las actuales tecnologías, técnica y económicamente viables, que minimizan los impactos ambientales a lo largo del proceso productivo de baldosas cerámicas.

Esta guía sirve de orientación a las autoridades ambientales en las competencias que tienen asignadas en el establecimiento de Valores Límites de Emisión (VLE) y de prescripciones técnicas de carácter general para las instalaciones industriales de fabricación de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana.

Para cada una de las tecnologías limpias de mayor implantación en el sector, se han analizado sus ventajas e inconvenientes medioambientales y económicos, y los VLE ofrecidos por la tecnología respecto de los establecidos por la actual legislación.

Incluye, por último, referencias a los contenidos de las últimas AAI concedidas a industrias del sector, que pueden servir también de referencia a los diferentes agentes interesados.



1

LEGISLACIÓN
DERIVADA DE LA
DIRECTIVA IPPC

1. LEGISLACIÓN DERIVADA DE LA DIRECTIVA IPPC

1.1. La ley IPPC y las actividades afectadas

La publicación de la ley 16/2002, de prevención y control integrados de la contaminación, de 1 de julio de 2002, que transpone la Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación, ha modificado de forma sustancial la legislación en materia de medio ambiente industrial en España. Tanto la Directiva como la ley son conocidas por sus siglas en inglés IPPC, por lo que en adelante se utilizará esta nomenclatura.

Esta legislación prevé que las instalaciones de las industrias incluidas en su Anejo I deban disponer de la Autorización Ambiental Integrada (AAI), que pretende integrar en un solo acto de intervención administrativa todas las autorizaciones en materia de residuos y de vertidos a las aguas continentales, al mar o a la atmósfera.

Concretamente, la fabricación de baldosas cerámicas se incluye en el apartado 3 (industrias minerales) de dicho Anejo I, fijándose un valor umbral de capacidad productiva superior a 75 toneladas por día, y/o una capacidad de horneado de más de 4 m³ y de más de 300 kg/m³ de densidad de carga por horno.

El texto literal del citado epígrafe de la normativa es el siguiente:

ANEJO I. CATEGORÍAS DE ACTIVIDADES E INSTALACIONES

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

Los aspectos novedosos que introduce esta legislación con respecto a la anterior se pueden resumir en tres puntos:

- Exige la coordinación administrativa, una especie de “ventanilla única” para tramitar un permiso único considerando el medio ambiente en su conjunto.
- Establece criterios para definir los Valores Límite de Emisión (VLE) basándose en las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) o también denominadas Best Available Techniques (BAT).
- Asegura la transparencia informativa, haciendo pública la información de autorizaciones, inventario de emisiones, etc.

Asimismo, la Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación, obliga a las instalaciones afectadas a:

- Obtener y renovar periódicamente, al menos cada 8 años, la AAI.
- Declarar anualmente las emisiones contaminantes de determinadas sustancias (registro PRTR).

1.1.1. Los documentos de referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles

Los documentos en los que se recogen las MTD para cada sector industrial afectado por la IPPC son los denominados BREF (BAT Reference Documents). Por tanto, son los documentos que se toman como base a la hora de establecer los VLE basándose en las MTD.

La Unión Europea ha adoptado formalmente el documento final del BREF del sector de fabricación de productos cerámicos (que incluye a las baldosas cerámicas como un subsector). Este documento es público y puede consultarse visitando la página web: <http://eippcb.jrc.es> (Ceramics).

Es importante destacar que los documentos BREF no fijan los VLE a incluir en las AAI, sólo establecen los valores de emisión asociados o alcanzables con el uso de las MTD, y que se tendrán en cuenta por el organismo competente a la hora de otorgar la AAI de cada actividad, junto con otras consideraciones locales o particulares de la instalación.

1.2. Ley 2/2006 de prevención de la contaminación y calidad ambiental de la Comunitat Valenciana y Decreto 127/2006

En el marco de la citada legislación básica estatal, y con un carácter más ambicioso en lo que se refiere a la protección preventiva del medio ambiente, la Generalitat aprobó la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de prevención de la contaminación y calidad ambiental, que redefine todo el sistema de autorizaciones de las actividades e instalaciones industriales de la Comunitat Valenciana (CV), ampliando el número de actividades que se someten al procedimiento de AAI, incrementando el carácter integrador del mismo, y regulando y mejorando también otros instrumentos de intervención para el resto de actividades de menor incidencia ambiental. El Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, desarrolla la Ley 2/2006.

El objeto de esta ley es definir y regular los instrumentos de intervención administrativa ambiental a los que deben sujetarse las instalaciones o actividades que puedan afectar a la seguridad, a la salud de las personas o al medio ambiente.

Esta ley somete a las instalaciones en que se desarrolle alguna de las actividades comprendidas en su ámbito de aplicación según el grado de potencial incidencia sobre el medio ambiente, la seguridad y la salud, a alguno de los siguientes instrumentos de intervención ambiental:

1.2.1. Autorización Ambiental Integrada

Para las instalaciones en que se desarrolle alguna de las actividades contenidas en los Anexos I (coincide íntegramente con el Anejo I de la Ley 16/2002) y II de la Ley 2/2006. Cabe mencionar respecto al ámbito de aplicación de la industria cerámica el punto 2 del Anexo II de la ley 2/2006, donde se incluyen las instalaciones de atomización de productos minerales, y la disposición adicional segunda del Decreto 127/2006, en la que se modifica el Anexo II de la Ley 2/2006, para incluir las instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW.

La AAI es emitida por el organismo ambiental competente en materia de medio ambiente de la Comunitat Valenciana, y tiene un periodo de vigencia máximo de ocho años, excepto si se realizan modificaciones sustanciales de la actividad autorizada.

Respecto a los plazos, se debe diferenciar entre instalaciones existentes e instalaciones nuevas de la siguiente forma:

1.2.1.1. Instalaciones incluidas en el Anejo I de la Ley 16/2002

- Para instalaciones nuevas se debe solicitar la AAI, desde la entrada en vigor de la ley IPPC (3/07/2002).
- Para instalaciones ya existentes en las que se desarrolle alguna de las actividades comprendidas en el Anexo I de la Ley 2/2006, se deberá contar con la AAI.
- La tramitación y resolución corresponden a la Dirección General para el Cambio Climático.

1.2.1.2. Instalaciones incluidas en el Anexo II de la Ley 2/2006, (CV)

- Para las instalaciones existentes en las que se desarrolle alguna de las actividades comprendidas en el

Anexo II, deberán contar con la AAI en el plazo de tres años, desde la entrada en vigor de la Ley 2/2006, el 29 de junio de 2006.

En uno y otro caso será necesaria una nueva AAI para modificar la clase de actividad, siempre que ésta se encuentre entre las comprendidas en los Anexos I y II de esta Ley.

La AAI fija para cada instalación los VLE de sustancias contaminantes, teniendo en cuenta las MTD, las características técnicas de la instalación, su localización geográfica, condicionantes locales o particulares de la instalación, posibles tratados internacionales, etc.

La tramitación y resolución de la AAI para actividades incluidas en el Anexo II corresponde a las Direcciones Territoriales de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda.

1.2.2. Licencia Ambiental

Para las instalaciones en que se desarrolle alguna de las actividades no sometidas a AAI y que figuren en la relación de actividades que se aprobará reglamentariamente.

Mientras no se publique esa relación de actividades sujetas a licencia ambiental, seguirá siendo de aplicación el Nomenclátor de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas aprobado por el Decreto 54/1990, de 26 de marzo, del Consell de la Generalitat Valenciana.

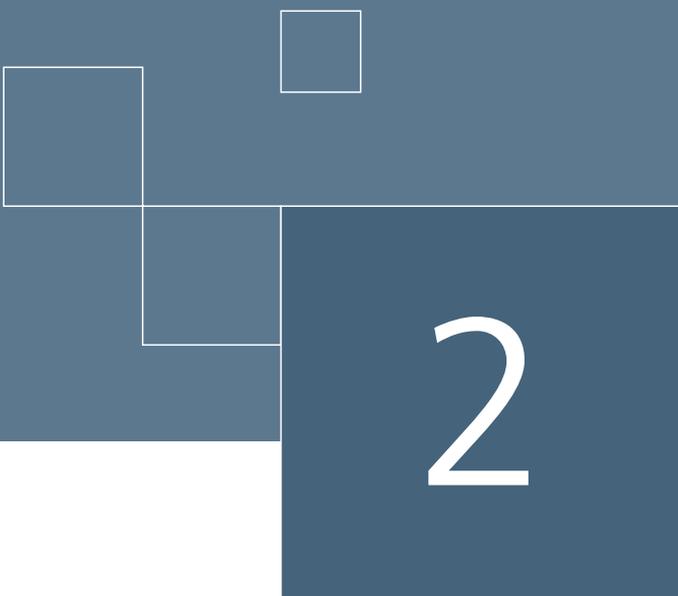
La tramitación y resolución de la licencia ambiental corresponde al ayuntamiento en cuyo territorio vaya a ubicarse la actividad y será necesaria una nueva licencia para modificar la clase de actividad.

1.2.3. Comunicación Ambiental

Para las instalaciones en que se desarrolle alguna de las actividades no sometidas a AAI ni a licencia ambiental conforme a lo dispuesto en la Ley 2/2006 (CV).

El régimen de licencia ambiental y el de comunicación ambiental sustituyen íntegramente el hasta ahora vigente en materia de actividades clasificadas, salvo la mencionada aplicación transitoria del Decreto 54/1990 (CV).

La tramitación y resolución de la comunicación ambiental, como en el caso de la licencia ambiental, corresponde al ayuntamiento correspondiente.



2

FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

2. FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

2.1. Introducción

Según las normas UNE-EN y las normas ISO, las baldosas cerámicas son placas de poco grosor, generalmente utilizadas para revestimiento de suelos y paredes, fabricadas a partir de composiciones de arcilla y otras materias inorgánicas, que se someten a molienda y/o amasado, se moldean y seguidamente son secadas y cocidas a temperatura suficiente para que adquieran establemente las propiedades requeridas para su uso.

El empleo de las baldosas cerámicas como revestimiento de paredes o como pavimento, ha dependido tradicionalmente de sus características técnicas, aunque también depende de sus características estéticas.

Las baldosas esmaltadas de elevada porosidad (10-18%) suelen ser empleadas para revestimientos de paredes. A este producto se le conoce con el nombre de azulejo, mientras que las baldosas con soporte de baja porosidad (<3%) se destinan normalmente a pavimentos, producto denominado "pavimento de gres" o simplemente "gres". Debido a la creciente demanda de productos con mejores prestaciones técnicas (resistencia mecánica, a la abrasión, a la helada y baja porosidad), en los últimos años se ha desarrollado un nuevo tipo de producto denominado "gres porcelánico", caracterizado por ser de baja porosidad (absorción de agua <0,5%).

Algunas características de las baldosas producidas en la Comunitat Valenciana (en el periodo 2003-2007) son:

- Piezas esmaltadas y prensadas en seco de baja porosidad con tamaños incluso de grandes formatos superiores a 60x120 cm, y baldosas porosas (revestimiento), con formatos desde 15x15 cm hasta superiores a 30x60 cm. Esta peculiaridad es consecuencia del dominio del proceso de fabricación que han alcanzado las industrias españolas.
- El 92,5% se obtiene por monococción (utilizado para fabricar azulejo, gres esmaltado, gres porcelánico, gres rústico, etc.) y sólo un 7,5% mediante bicocción tradicional (se usa básicamente para fabricar azulejos).
- En 2007 el 68,5% de las baldosas se fabrica con soporte de coloración roja, mientras que el 31,5% son de soporte blanco, aunque la tendencia apunta a un crecimiento progresivo de estas.
- Más del 90% de las baldosas son esmaltadas.

2.2. Estructura de la industria y contexto geográfico

Como ya se ha comentado, una de las principales características del sector azulejero español es el elevado grado de concentración industrial existente, formando lo que en términos económicos se denomina un "cluster industrial" 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. Aproximadamente el 94,5% de la producción nacional tiene origen en esta provincia, donde está ubicado el 81% de las empresas del sector, de las que el 85% corresponde a pequeñas y medianas empresas.

En 2007 la industria contaba con 204 empresas fabricantes de baldosas cerámicas. A esta cifra hay que sumar 19 empresas dedicadas a la atomización de arcillas y a la fabricación de bizcocho (en el cómputo no se incluyen las pequeñas empresas o talleres dedicados a la fabricación artesanal).

En los últimos años se aprecia un paulatino descenso del número de fabricantes de baldosas, tanto por fusión o adquisición como por el cierre de algunas de ellas.

TABLA 1. CENSO DE EMPRESAS POR ACTIVIDAD										
Actividad	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Baldosas cerámicas	209	204	204	204	203	200	196	192	190	179
Piezas especiales	24	26	27	27	27	27	26	26	25	25
Total fabricantes baldosas	233	230	231	231	230	227	222	218	215	204
Atomizadoras	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13
Fabricantes de bizcocho	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Total otros fabricantes	17	18	19							
Total sector	250	248	250	250	249	246	241	237	234	223

Fuente: ASCER

TABLA 2. CENSO DE EMPRESAS POR PROVINCIAS										
Provincias	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Castellón	203	199	202	201	203	201	196	194	190	182
Valencia	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Barcelona	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10
Teruel	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
Zaragoza	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
Gerona	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
Granada	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sevilla	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1
Toledo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Jaén	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Alicante	1									
Córdoba	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Huelva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lugo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Madrid	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Pontevedra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Valladolid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tarragona	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total España	250	248	250	250	249	246	241	237	234	223

Fuente: ASCER

2.2.1. Contexto económico y social

La gran expansión experimentada por las industrias de baldosas cerámicas, las ha convertido en uno de los sectores más dinámicos y competitivos del Estado Español.

Se estima que el sector da empleo directo a unos 22.300 trabajadores e indirecto a más de 5.000, casi en su totalidad en la provincia de Castellón.

El sector cerámico es el segundo que más riqueza genera en la Comunitat Valenciana, de un total de 104 sectores analizados, sólo superado por el sector de la distribución de mercancías (grandes superficies y detallistas), según el estudio Ardán 2004 del Impiva⁽¹⁾. Con datos de 2002, el sector azulejero generó el 6,8% del total de la riqueza creada en la Comunitat. Con datos de 2003 y 2004, representa el 13% del PIB de la provincia de Castellón y el 1,8% de la Comunitat Valenciana.

(1) IMPIVA. Informe Económico y financiero de la competitividad. Comunitat Valenciana. Ardán. 2004. p. 35.

Durante años el sector cerámico ha sido el primer sector inversor en toda la Comunitat Valenciana, con el 15,7% de la inversión industrial en 2005 y el 47% de la provincia de Castellón.

Miles de euros	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Sector baldosas cerámicas	122.311	180.484	91.140	46.482	40.921	49.382
Total industria	535.727	861.678	520.133	411.411	352.066	314.220
% sector cerámico sobre total ind.	22,8	20,9	17,5	11,3	11,6	15,7

Fuente: Elaboración propia a partir de las cifras facilitadas por la Conselleria de Empresa, Universidad y Ciencia.

2.3. Contexto sectorial. La industria española en el mundo

El sector azulejero es el segundo exportador de la Comunitat Valenciana (sólo por detrás de la industria del automóvil), y se sitúa entre los 12 primeros de España.

2.3.1. España, primer productor europeo y tercero mundial

España es el primer productor europeo de baldosas cerámicas, por delante de Italia. La cuota española en la producción de la UE-27 en 2007 fue del 38%. China, de manera destacada, es el primer productor internacional, seguido de Brasil. Los diez primeros países producen más del 78% del total mundial.

País (millones de m ²)	2005	2006	2007	07/06	cuota	cuota acum.
China	2.500	3.000	3.200	6,7%	39,4%	39,4%
Brasil	568	594	637	7,3%	7,8%	47,2%
España	609	608	585	-3,9%	7,2%	54,4%
Italia	570	569	559	-1,8%	6,9%	61,3%
India	298	340	385	13,2%	4,7%	66,0%
Turquía	261	265	260	-1,9%	3,2%	69,2%
Vietnam	176	199	254	28,0%	3,1%	72,4%
Irán	190	210	250	19,0%	3,1%	75,4%
México	196	210	215	2,6%	2,7%	78,1%
Indonesia	175	170	170	0,0%	2,1%	80,2%
Tailandia	138	139	139	0,0%	1,7%	81,9%
Egipto	112	122	130	6,6%	1,6%	83,5%
Rusia	100	115	127	10,4%	1,6%	85,1%
Polonia	108	110	112	1,8%	1,4%	86,4%
Emiratos Árabes	68	75	76	1,3%	0,9%	87,4%
Malasia	71	75	75	0,0%	0,9%	88,3%
Portugal	72	74	74	-0,8%	0,9%	89,2%
Alemania	62	64	67	3,6%	0,8%	90,0%
Argentina	48	54	60	11,1%	0,7%	90,8%
Taiwán	53	54	54	0,0%	0,7%	91,4%
Resto mundo	674	677	696	2,8%	8,6%	100%
Total mundo	7.050	7.725	8.125	5,2%	100%	

Fuente: Ceramic World Review.

2.3.2. El consumo mundial

España es el primer consumidor europeo y el que tiene el mayor consumo per cápita mundial. Los grandes productores son a su vez grandes consumidores. Destaca EEUU como un país de baja producción pero alto consumo.

El crecimiento del consumo mundial está garantizado por el incremento de la riqueza, el avance de la cerámica respecto a otros materiales sustitutivos (en especial en países sin tradición cerámica, como EEUU), las nuevas aplicaciones de las baldosas que abren nuevos mercados y el aumento del parque de viviendas susceptibles de ser reformadas.

2.3.3. El comercio mundial

Desde 2005 China se ha colocado al frente de la exportación mundial en volumen de baldosas cerámicas, abasteciendo principalmente a los países de su entorno y a los mercados de bajo precio. España, tercer exportador muy cerca de Italia, tiene una cuota del 17,4% del comercio mundial. Estos tres países junto a Brasil y Turquía son responsables de 3 de cada 4 baldosas exportadas en el mundo.

TABLA 5. PRINCIPALES PAÍSES EXPORTADORES						
País (millones de m ²)	2005	2006	2007	07/06	cuota	cuota acum.
China	342	450	500	11,1%	26,2%	26,2%
Italia	390	396	379	-4,2%	19,9%	46,0%
España	341	336	333	-1,0%	17,4%	63,5%
Turquía	97	93	104	11,8%	5,4%	68,9%
Brasil	114	115	102	-10,8%	5,3%	74,2%
México	46	55	56	1,8%	2,9%	77,2%
Emiratos Árab.	25	32	38	18,8%	2,0%	79,2%
Portugal	34	36	37	2,8%	2,0%	81,1%
Polonia	19	21	30	41,9%	1,6%	82,7%
Indonesia	31	33	28	-15,9%	1,5%	84,1%
Alemania	21	24	26	7,9%	1,4%	85,5%
Tailandia	25	27	25	-7,4%	1,3%	86,8%
Vietnam	12	15	25	66,7%	1,3%	88,1%
Egipto	16	17	22	29,4%	1,2%	89,3%
Malasia	18	22	18	-16,7%	0,9%	90,2%
Resto mundo	184	194	187	-3,4%	9,8%	100%
Total mundo	1.715	1.865	1.910	2,4%	100%	

Fuente: Ceramic World Review.

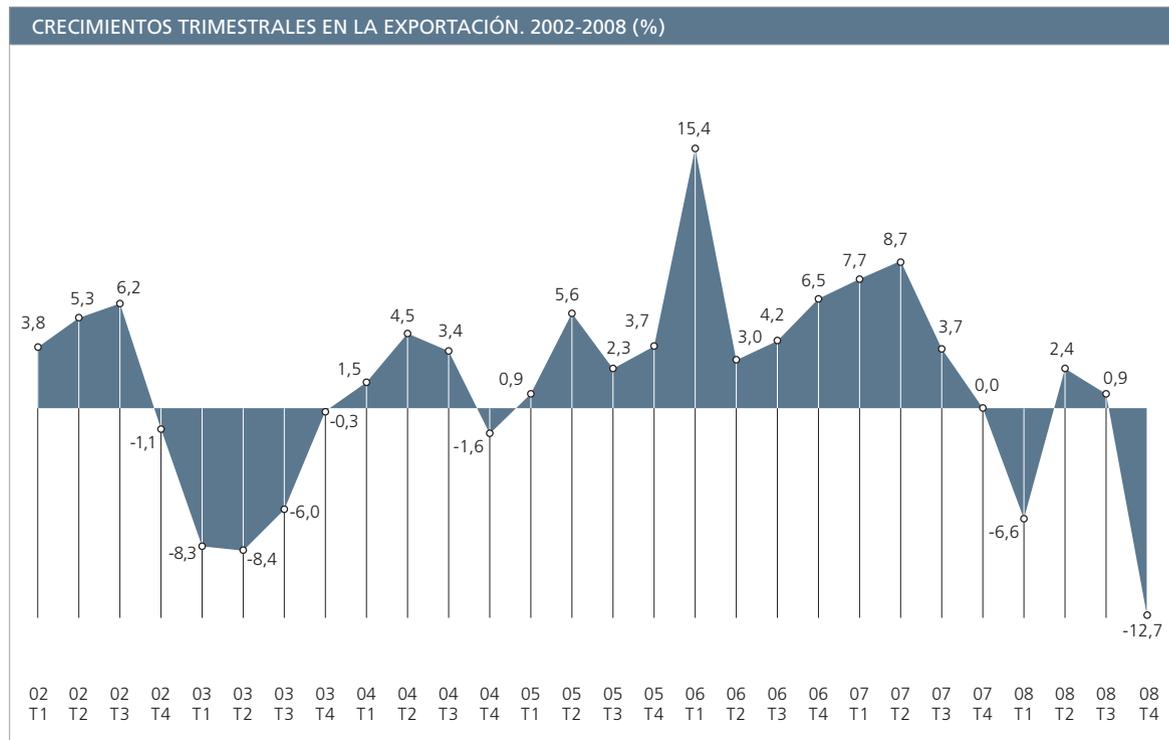
EEUU es con diferencia el primer importador mundial. En la lista de los primeros destinos de la exportación aparecen países de la Europa Occidental y del Este, de Oriente Próximo, Este asiático, Canadá y Australia.

2.3.4. La exportación española

La exportación del sector en 2008, realizada a 179 países, fue de 2.210 millones €, un 3,7 % menos que en 2007.

En el cuarto trimestre el descenso fue del 12,7%.

La exportación se sostiene principalmente por la positiva evolución de las ventas en el mercado del Este de Europa (+15,9%) y por la búsqueda constante de nuevos mercados por parte del sector. Las ventas internacionales a Rusia, como país más representativo, han aumentado en 2008 cerca de un 35%. Destaca en positivo la evolución de los países de las zonas de Oriente Próximo (+12,1%) y África (+16,5%). Por el contrario, las ventas en EEUU y en América mantienen su acusado descenso, fruto de su situación económica e inmobiliaria local, el tipo de cambio del euro y la competencia de los países productores de la zona. En algunos países de la UE se aprecia una contracción significativa en sus importaciones (con Reino Unido y Portugal como principales ejemplos), aunque en conjunto el descenso es moderado (-6,6%).



2.3.5. La importación española

El valor de las importaciones en 2008 fue de 120,5 millones €, un 23,2% menos que en 2007. En el cuarto trimestre el descenso fue del 35,5%. En volumen fueron 13,3 millones de m² (-26,2%). Los principales orígenes fueron Italia (55,6 millones €, -21,3%), China (37,7 millones €, -20,9%), y Portugal (14,3 millones €, -25,0%). Se estima que las importaciones cubren el 5-6% del consumo nacional.

2.4. Tipos de productos

Los productos cerámicos utilizados para recubrir paredes y suelos se pueden clasificar en función de su aspecto, uso al que van destinados y características del proceso de fabricación. Estos criterios de clasificación no son excluyentes, estando incluidos los distintos productos en cada una de las clasificaciones realizadas.

2.4.1. Por la coloración de la pasta

Es usual distinguir los productos en dos grandes grupos dependiendo del color en cocido del soporte:

- Productos con soporte de color rojo en cocido o de «pasta roja»
- Productos con soporte de color blanco en cocido o de «pasta blanca»

El color del soporte no influye en otras características o en las prestaciones del producto, que vienen determinadas por otros factores.

Las baldosas de pasta roja se fabrican con materias primas de canteras situadas en las cercanías de la industria, que tienen unas características particularmente adecuadas para las técnicas de producción más avanzadas, usuales en la industria española.

La diferencia de color en cocido del soporte resulta del contenido en óxidos colorantes, principalmente de

hierro, que pueden presentar las materias primas que integren la pasta. El color de las piezas cocidas depende del nivel de ese contenido, aunque también es de gran importancia la forma en que se encuentre presente en las materias primas (integrado en la estructura arcillosa, en forma de distintos compuestos de hierro, como sales solubles de hierro, o en forma de hierro metálico).

Por otra parte, la intensidad de la coloración también depende de la presencia de otros óxidos colorantes, como el óxido de titanio que proporciona una coloración amarillenta, del tipo y cantidad de fase vítrea formada en la pieza cocida, que puede hacer que una mayor o menor proporción de hierro pase a formar parte de ésta, y de la facilidad de formación de fases cristalinas, que en ocasiones pueden ocluir el óxido de hierro en su estructura decolorando las piezas. Las fases cristalinas que se desarrollan con más frecuencia en estos productos son la mullita, a partir de los minerales arcillosos caoliníticos en productos obtenidos a mayor temperatura (gres porcelánico), y la anortita y pseudowollastonita, a partir de los minerales arcillosos y del óxido de calcio.

Como criterio muy general, se puede considerar que las arcillas con un contenido en óxido de hierro menor del 3% (en peso) y los desgrasantes con un contenido inferior al 0,5% pueden ser utilizados en los productos de cocción blanca.

Hay que destacar que, generalmente, las diferencias no sólo se encuentran en el color del soporte sino también en el tipo de composición utilizada.

Como un caso aparte se pueden considerar las pastas empleadas para la fabricación de productos rústicos, en las que se introducen arcillas de características similares a las usadas en las baldosas de pasta blanca aunque con un contenido en hierro superior; así mismo, con el objeto de reducir la contracción de secado y cocción de las piezas, en estas pastas se suelen añadir desgrasantes inertes.

2.4.2. Por el uso al que va destinado

Las baldosas cerámicas se utilizan mayoritariamente para revestir paredes y pavimentar suelos. En líneas generales las pastas utilizadas para fabricar pavimentos y revestimientos cerámicos presentan características especiales en función de las propiedades exigidas para cada uso y, en cierto modo, en función de algunas peculiaridades de su colocación.

■ Gres esmaltado y gres porcelánico

Los productos de gres esmaltado y gres porcelánico, inicialmente utilizado como pavimento, aunque su uso como revestimiento es cada vez más frecuente, se caracterizan por presentar una alta resistencia mecánica y, en muchos casos, por un buen comportamiento frente a la helada, especialmente el porcelánico. Estas propiedades se consiguen normalmente con la reducción de la porosidad de las piezas. Para ello, durante la cocción debe formarse una cantidad suficiente de fase vítrea, lo cual se logra habitualmente mediante la introducción de materias primas que aportan óxidos alcalinos (arcillas, feldespatos, etc.).

La reducción de la porosidad va normalmente acompañada de una alta contracción de cocción, que será superior cuanto más baja sea la porosidad requerida en el producto final.

Las materias primas para fabricar estos productos deberán aportar óxidos alcalinos en mayor o menor medida, en función de la temperatura de cocción del producto. Por otro lado, el aporte de óxidos alcalinotérreos reduce normalmente el intervalo de cocción y aumenta las deformaciones, por lo que las arcillas con un contenido en carbonato cálcico superior al 5% no se consideran aptas para su uso en estas composiciones.

Tradicionalmente, la fabricación española de baldosas cerámicas ha estado orientada a la producción de azulejos para revestimiento, sin embargo, con la introducción del sistema de monococción al inicio de los

80, la producción de baldosas para pavimento ha aumentado notablemente, tanto que la producción es superior a la de azulejos.

■ Azulejo

En general, a los azulejos, normalmente utilizados como revestimiento, se les exige una alta estabilidad dimensional, que se obtendrá mediante el uso de una pasta con una baja contracción de cocción, unida a una alta porosidad, que además supone una mayor facilidad en su colocación.

Por otra parte, la pieza al ser porosa es muy accesible al agua, hidratándose las fases amorfas y vítreas presentes, lo que lleva consigo un aumento del tamaño del soporte cocido que puede llegar a producir curvaturas de las piezas e incluso cuarteos en la capa vidriada. Debido a esto, es necesario que las piezas cocidas presenten una elevada proporción de fases cristalinas con una mínima presencia de fases amorfas.

La estabilidad dimensional, la alta porosidad y la formación de fases cristalinas se consiguen normalmente con la introducción de carbonatos cálcicos y/o magnésicos en la composición. Los óxidos de calcio y magnesio reaccionan con las fases amorfas, provenientes de la deshidroxilación de los minerales arcillosos, para formar silicatos de aluminio cálcicos y cálcico-magnésicos estables frente a la acción de la humedad.

Por estos motivos, en estas composiciones se introducen arcillas u otras materias primas aportadoras de óxidos alcalinotérreos. Las arcillas con una proporción de carbonato cálcico superior al 5% se consideran típicas para los productos de revestimiento.

2.4.3. Por las características del proceso de fabricación

Atendiendo a las distintas etapas del proceso de fabricación, se pueden realizar las siguientes divisiones:

■ Etapa de preparación de las materias primas del soporte

Esta etapa está constituida predominantemente por un proceso de molienda de las materias primas, que en función de que se realice en presencia de agua o no, se clasifica en preparación por «vía seca» o por «vía húmeda».

La operación de reducción de tamaño se efectúa para aumentar la reactividad entre los materiales y disminuir la incidencia de las impurezas presentes en las materias primas. A esta operación siempre va asociado un tamizado posterior para la separación de las partículas de mayor tamaño.

Un primer aspecto a considerar es la dureza de las materias primas o la dificultad existente para desintegrarlas. Algunas materias primas, como pegmatitas, talcos, dolomitas, e incluso algunas arcillas compactas, son poco adecuadas para procesar en seco, debido a la alta abrasión que producen en los molinos, la generación de gran cantidad de impurezas y la dificultad de obtener tamaños de partícula pequeños.

La molienda vía húmeda permite una molienda más fina y realizar un mejor tamizado para la eliminación de impurezas. Esto supone que la utilización de arcillas con impurezas de difícil molienda, como calizas, dolomitas, piritas, carbón, etc., sea más problemática en los procesos por vía seca.

Otro aspecto a considerar es la dificultad para desflocular la composición, bien sea porque alguna de las arcillas presentes tenga una plasticidad excesiva o bien por la presencia de sales solubles floculantes tales como sulfatos. Este hecho condiciona que una arcilla, a no ser que se utilice en muy pequeñas proporciones, pueda ser apta o no para su procesamiento por vía húmeda. El uso de composiciones difícilmente desfloculables supondrá un coste adicional por el incremento en la cantidad de desfloculante a utilizar, o por el bajo contenido en sólidos utilizable en las etapas de molienda y atomización.

El proceso de molienda vía seca y humectación tradicional ha evolucionado hacia la granulación, mientras que la molienda vía húmeda se ha introducido en gran medida, sobre todo, cuando los requerimientos de calidad son altos. En estos momentos, en España, se utiliza la molienda vía húmeda en una proporción superior al 90% del total de la producción.

■ Etapa de conformado

El conformado de las piezas se realiza mayoritariamente mediante procesos de prensado y extrusión, y en pequeña proporción mediante colado u otros procedimientos.

El prensado es el proceso de moldeo utilizado mayoritariamente para la fabricación de baldosas cerámicas, debido a la mayor estabilidad dimensional que se consigue en el producto final. En España la fabricación de baldosas por prensado se sitúa alrededor del 95% del total producido.

■ Cocción

En la etapa de cocción, se pueden realizar dos clasificaciones distintas. La primera de ellas es función de la duración de la etapa:

- Rápida
- Lenta

La segunda hace referencia al número de cocciones al que se somete el producto:

- Cocción única (baldosas no esmaltadas) o monococción (cocción del esmalte y del soporte conjuntamente).
- Bicocción (cocción del esmalte y del soporte por separado).

En los procesos de monococción pueden existir interacciones entre las desgasificaciones que experimenta el soporte en el transcurso de la cocción y la capa de esmalte fundida, por lo que deben utilizarse preferentemente pastas con una baja proporción de compuestos que sufran descomposiciones, sobre todo si éstas son a alta temperatura y si el tamaño de partícula es grueso. Por este motivo, se suelen emplear pastas con una proporción en carbonatos algo más baja que en bicocción, y son más problemáticas algunas impurezas como los sulfatos o el carbón ya que se descomponen a alta temperatura.

Así mismo, el contenido en materia orgánica es más limitante en los procesos de monococción, debido a que la accesibilidad del oxígeno necesario para oxidarla se reduce en el momento en que el esmalte impermeabiliza la pieza.

En cuanto a la duración del ciclo de cocción se pueden considerar dos aspectos. El primero de ellos hace referencia a la materia orgánica presente en la pasta, la cual se ha de oxidar en el transcurso de la cocción. En los procesos de cocción rápida, esta reacción de oxidación limita en ocasiones la velocidad máxima permisible del ciclo de cocción. Se puede estimar que no es aconsejable utilizar en los procesos de cocción rápida composiciones con un contenido en materia orgánica, expresada como carbono, superior al 0,2% en peso.

El segundo aspecto concierne al tamaño de partícula de las materias primas que componen la pasta, el cual debe ser menor en los procesos de cocción rápida para que se completen las distintas transformaciones fisicoquímicas que se desarrollan durante la cocción y se eliminen las impurezas presentes. Por este motivo, no serán aconsejables para los procesos de cocción rápida arcillas con impurezas, sobre todo si se han de procesar vía seca.

La evolución de esta etapa se ha dirigido hacia la máxima reducción de los ciclos (incremento de la productividad) y la realización de una única cocción. En la fabricación de los productos de pavimento, se ha asimilado con mayor facilidad y rapidez esta tecnología, como consecuencia de la menor desgasificación que presentan los soportes de pavimento respecto a los de revestimiento.

En España, la casi totalidad de la producción de los pavimentos y revestimientos cerámicos es esmaltada. La oferta de baldosas no esmaltadas, aproximadamente el 5% de la producción total, se compone únicamente de gres porcelánico técnico o no esmaltado, la parte de la producción de gres rústico extrudido, y el llamado baldosín catalán.



2.5. Descripción del proceso de fabricación de baldosas cerámicas

Dentro de los distintos tipos de baldosas cerámicas existentes en el mercado, podemos considerar como más significativos, atendiendo a las distintas propiedades del producto final, los siguientes:

- Azulejo
- Gres esmaltado
- Gres porcelánico
- Gres rústico

Los procesos de producción varían en función del tipo de baldosa, del método de conformado y de las características físicas de las materias primas empleadas. A continuación se detallan las distintas secuencias de fabricación en cada uno de los casos.

2.5.1. Azulejo

El procedimiento de conformado de pieza que se utiliza es exclusivamente el prensado, debido a la alta estabilidad dimensional requerida en este tipo de productos. Cuando se emplea la molienda vía seca, la cocción del soporte y del esmalte se realiza generalmente de forma independiente, en un proceso de bicocción, debido al retraso en las desgasificaciones de las materias primas e impurezas de mayor tamaño presentes; tras una primera cocción lenta del soporte, con piezas apiladas, se aplica el esmalte y las piezas se someten a una segunda cocción que puede ser lenta o rápida.

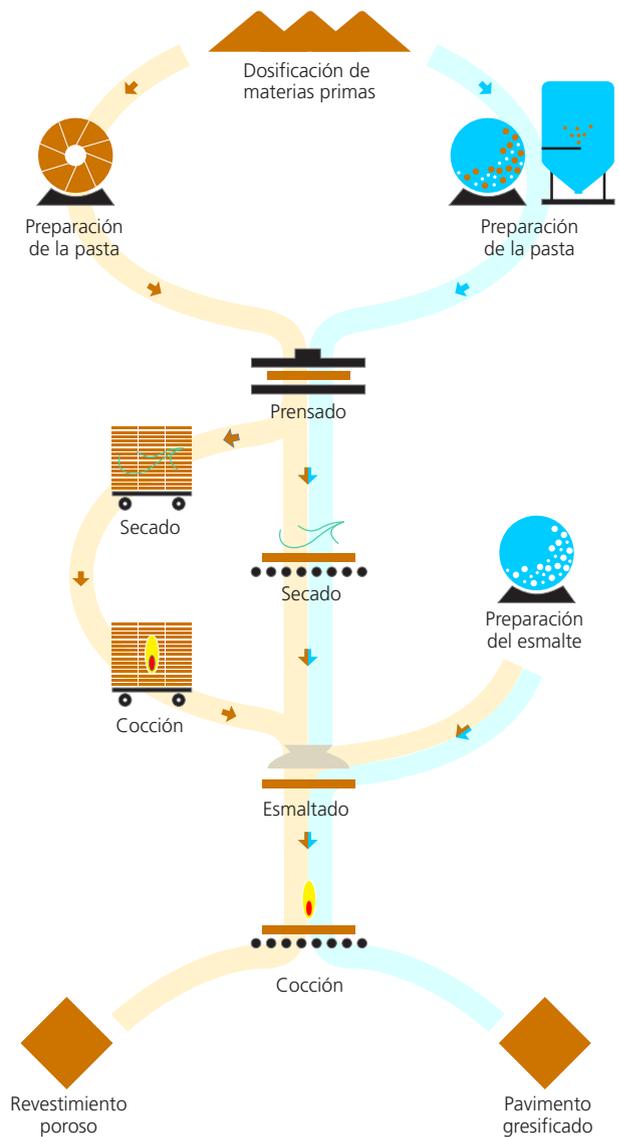
Cuando la preparación de la pasta se efectúa por vía húmeda, la cocción del soporte y del esmalte suele ser simultánea (monococción), debido a la menor incidencia de las impurezas sobre la calidad del producto acabado, y que son de menor tamaño. No obstante, en algunos casos la fabricación se realiza mediante un proceso de bicocción, en el cual la primera cocción puede ser rápida o lenta, siendo la segunda cocción rápida en la mayoría de las ocasiones.

2.5.2. Gres esmaltado

En este tipo de productos la molienda se realiza mayoritariamente por vía húmeda, ya que el gránulo atomizado que se obtiene es más apto para la carga de prensas. La extrusión se emplea poco debido a los problemas de estabilidad dimensional que se derivan de la elevada contracción de secado del producto extruido y, cuando se utiliza, va precedida por molienda vía seca.

En todos los casos se utiliza una cocción simultánea de esmalte y soporte, debido a los problemas que ocasiona el esmaltado de una pieza cocida poco porosa.

En la siguiente figura se resumen los procedimientos seguidos para la fabricación de baldosas de pavimento gresificado y revestimiento poroso.



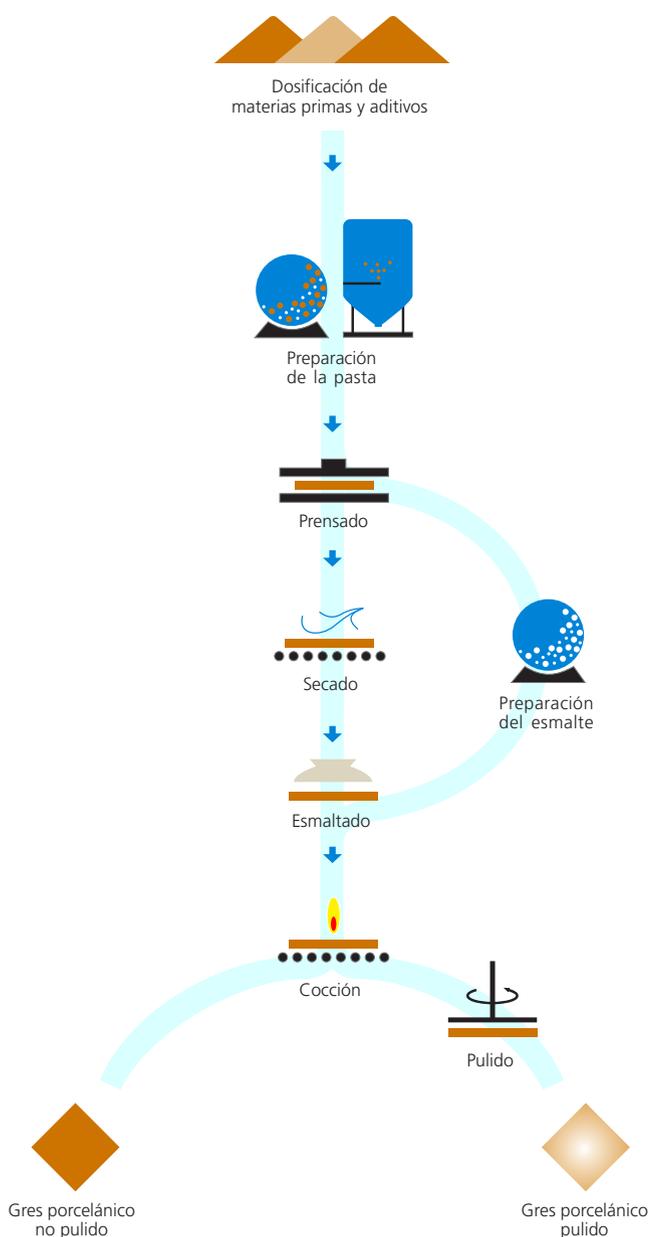
© ITC-AICE, 2008

Figura 1. Esquema del proceso de fabricación de azulejo y gres esmaltado.

2.5.3. Gres porcelánico

En este producto, la molienda es siempre vía húmeda, debido al tamaño de partícula tan fino y al riguroso tamizado requerido para alcanzar las características deseadas. El procedimiento de conformado utilizado es el prensado como consecuencia de la mayor estabilidad dimensional que proporciona. El producto puede decorarse en la propia prensa mediante aplicaciones en seco, o como el resto de baldosas cerámicas, tras el secado en la línea de esmaltado. Una parte del gres porcelánico denominado técnico (no esmaltado) se somete a un proceso de pulido con el objeto de abrillantar la superficie de la pieza.

El esquema de fabricación utilizado es el correspondiente a la figura siguiente.



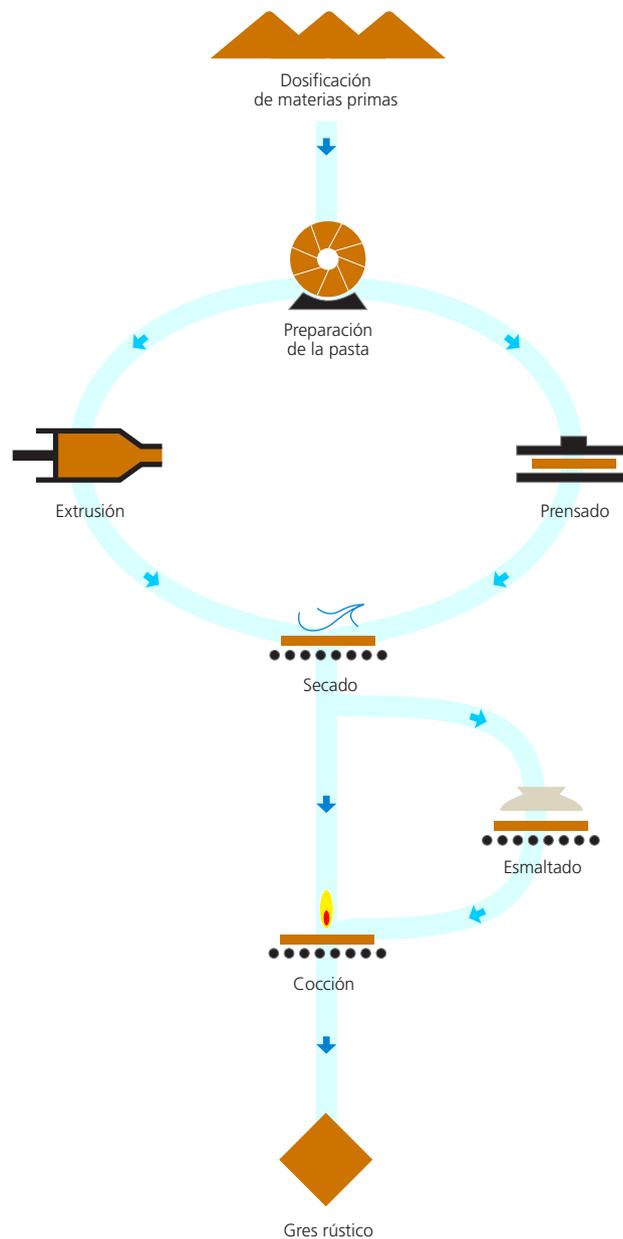
© ITC-AICE, 2008

Figura 2. Esquema del proceso de fabricación de gres porcelánico.

2.5.4. Gres rústico

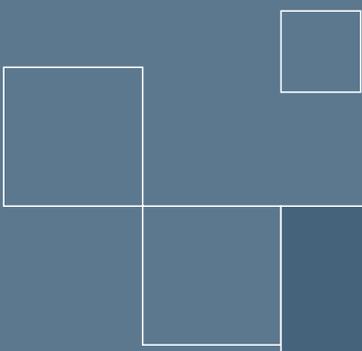
Para la fabricación de este producto se utiliza normalmente la molienda vía seca. Este hecho unido a la necesidad de añadir chamotas de tamaño de partícula gruesa, da a las baldosas el aspecto rústico requerido. La extrusión es el procedimiento mayoritariamente utilizado para el moldeo, debido a la superficie más áspera y rústica que se obtiene en la pieza cocida, al ser menor la estabilidad dimensional requerida y a la gran productividad que es posible alcanzar. La piezas pueden esmaltarse o no, aunque en ambos casos se fabrican por monococción.

El esquema más habitual de fabricación se resume a continuación.



© ITC-AICE, 2008

Figura 3. Esquema del proceso de fabricación del gres rústico.



3

ASPECTOS
MEDIOAMBIENTALES
ASOCIADOS

3. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS

La industria de baldosas cerámicas tiene asociadas las siguientes afecciones ambientales:

- Sobre la atmósfera (emisiones de gases y partículas a la atmósfera).
- Vertidos en las aguas y el suelo.
- Generación de residuos, la mayoría no peligrosos y valorizados.
- Generación de ruidos y vibraciones.
- Consumo de materias primas, procedentes en su mayor parte de zonas muy localizadas y próximas a la industria.
- Consumo de energía térmica (casi totalmente gas natural) y eléctrica (autogenerada entorno al 50% del total consumido).
- Consumo de agua.

3.1. Emisiones atmosféricas

Las emisiones atmosféricas generadas a lo largo del proceso productivo, dependiendo de la etapa de proceso donde se generen, tienen unas características más o menos definidas. En la tabla 6 se describen las características generales de las principales emisiones de la industria cerámica.

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LAS EMISIONES EN PLANTAS CERÁMICAS Y AFINES				
Etapa de proceso	Nivel de emisión	Caudal de emisión	Tipo ⁽¹⁾	Contaminante emitido
Almacenamiento, manipulación y transporte interior de materias primas (arcillas)	Variable	Continuo / Discontinuo	Difusas	Partículas
Molienda en seco	Variable	Continuo / Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Molienda en húmedo	Variable	Continuo / Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Secado por atomización	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ⁽²⁾
Conformado	Variable	Continuo	Canalizadas	Partículas
Secado	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ⁽²⁾
Preparación de esmaltes	Variable	Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Esmaltado	Variable	Continuo	Canalizadas	Partículas
Cocción	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ^{(2) (3)}

⁽¹⁾ Emisión canalizada: emisión a través de una conducción (chimeneas). Emisión difusa: emisión que llega a la atmósfera, desde una superficie o volumen, sin haber sido canalizada a través de una conducción.

⁽²⁾ Gases: CO₂, CO, SO_x, NO_x, etc.

⁽³⁾ Otros contaminantes gaseosos.

Fuente: BLASCO, A. et al. Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica. [Castellón]: Instituto de Tecnología Cerámica: AICE, [1992].

3.1.1. Emisiones de material particulado

La emisión de material particulado por la industria cerámica está considerada como uno de los impactos ambientales más significativos de su proceso de fabricación, ya que se trata de un tipo de actividad industrial que procesa materiales de naturaleza pulverulenta.

Este material particulado se emite a partir de focos canalizados o difusos. Las emisiones difusas de materiales pulverulentos son un aspecto medioambiental con un impacto significativo, que dependiendo de las instalaciones puede ser tanto o más importante que el de las canalizadas, y que puede afectar tanto al medio ambiente (calidad del aire principalmente) como a la salud humana.

En el caso de la fabricación de productos cerámicos tradicionales (baldosas cerámicas, ladrillos, tejas, etc.), la naturaleza o composición de las partículas emitidas por chimeneas, vienen determinadas por las de las materias primas empleadas y la etapa del proceso en que se origina la emisión. Por ejemplo, la composición de las partículas procedentes de los puntos de aspiración será diferente si se generan en la etapa de preparación de materias primas, prensado y secado, donde las partículas emitidas son restos de: arcillas, cuarzo, feldespato, etc., que si proceden de las aspiraciones de las líneas de esmaltado, donde se puede encontrar también plomo, otros elementos metálicos, boro, etc. Por lo tanto, a la hora de definir las características de las partículas es muy importante tener en cuenta la etapa de proceso donde se originan.

3.1.2. Emisiones de contaminantes gaseosos

Estos tipos de contaminantes son característicos de actividades o procesos industriales de alta temperatura y/o donde tienen lugar procesos de combustión.

En el caso de fabricación de productos cerámicos estas etapas son principalmente, operaciones de secado y cocción, entre los que destacan:

- Secado de suspensiones en secaderos por atomización.
- Secado de piezas conformadas (crudas).
- Cocción de productos cerámicos.

Los contaminantes gaseosos se pueden agrupar en:

- Gases generados en los procesos de combustión (CO_2 , CO , NO_x , SO_x , etc.), como por ejemplo en el caso del secado por atomización, secado de piezas conformadas, cocción, etc.
- Gases producidos por descomposición de materias primas (CO_2 , HF , HCl , SO_x , metales pesados, COV , etc.). Estos contaminantes son característicos de procesos a alta temperatura (etapas de cocción), en el que se producen transformaciones físico-químicas importantes en los materiales procesados.

3.1.2.1. Compuestos de flúor

Los compuestos de flúor se encuentran presentes en las emisiones de la industria cerámica, fundamentalmente en forma de compuestos gaseosos en la etapa de cocción. En general, el flúor en los hornos de cocción de productos cerámicos, se genera como consecuencia de la descomposición de minerales arcillosos que contienen impurezas de flúor en su estructura, a partir de temperaturas del orden de 400-600 °C. Los compuestos mayoritarios que se forman son ácido fluorhídrico, tetrafluoruro de silicio y en menor medida fluoruros alcalinos en forma de partículas, pudiendo considerarse la presencia de estos últimos prácticamente despreciable.

En las emisiones de los hornos de fabricación de baldosas cerámicas (o productos cerámicos similares) la

presencia de partículas sólidas es relativamente baja, partículas que además presentan un pequeño porcentaje de flúor en su composición, hecho que justifica que prácticamente en todas las referencias bibliográficas consultadas, el flúor emitido en forma de partículas sólidas se considera despreciable frente a los compuestos gaseosos.

3.1.2.2. Compuestos de azufre (SO_x)

La formación del SO_x artificial se genera principalmente por oxidación del azufre contenido en ciertos combustibles fósiles (carbón y petróleo) durante el proceso de combustión. En el caso concreto del sector cerámico y afines, cabe destacar una clara tendencia a disminuir la utilización de dichos combustibles, utilizando la gran mayoría de industrias españolas como combustible gas natural. Éste está considerado dentro del grupo de los denominados “gases limpios”, ya que la presencia de azufre e impurezas en su composición es prácticamente despreciable.

No obstante, se debe tener en cuenta que en la fabricación de productos cerámicos se utilizan en algunos casos materias primas (fundamentalmente arcillas) que introducen azufre en su composición a través de impurezas; básicamente pirita (FeS₂) y yeso (CaSO₄·2H₂O), que provocan emisiones de compuestos de azufre (SO_x), particularmente SO₂- SO₃, durante la etapa de cocción.

La emisión de azufre en el proceso de cocción de materiales cerámicos se produce en dos periodos, una primera se detecta alrededor de los 450°C y se debe a la oxidación de pirita (FeS₂) y al azufre asociado a materia orgánica. La segunda emisión tiene lugar por encima de los 750°C hasta el final del ciclo de cocción, en este caso se debe a la descomposición de los sulfatos (yeso), estando limitada por el proceso de vitrificación de la pieza (cierre de poros); si estos sulfatos no son completamente eliminados durante el proceso de cocción pueden dar lugar a eflorescencias en el producto final.

3.1.2.3. Compuestos de cloro (HCl)

La emisión de compuestos de cloro (expresados como HCl) en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas viene originada principalmente, por la presencia del ión cloro en el agua utilizada como materia prima. Estos niveles de cloro en dichas aguas pueden verse incrementados cuando el agua utilizada es agua industrial tratada, ya que es habitual que en el tratamiento de las mismas se adicione cloro como elemento desinfectante. Por otra parte, la gran mayoría de arcillas y aditivos utilizados contienen niveles traza de cloro.

La emisión de compuestos de cloro se produce durante el proceso de cocción cuando se alcanzan temperaturas superiores a 850 °C, debido a la descomposición de las sales minerales que contienen cloro. También la descomposición de compuestos orgánicos que contienen cloro provoca la emisión de HCl en el intervalo de 450 y 550 °C.

3.1.2.4. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Se denominan óxidos nitrosos (NO_x) al conjunto de óxidos de nitrógeno, básicamente NO y NO₂, presentes en una corriente gaseosa. Generalmente la proporción en la que se encuentran es de un 90% de NO y de un 10% de NO₂. El NO_x presente en las emisiones puede proceder de:

- La combustión de moléculas de nitrógeno presentes en el combustible. Normalmente a estos óxidos nitrosos se les denomina NO_x del combustible y la cantidad generada es baja si el combustible utilizado es gas natural.
- La reacción, a la temperatura de combustión, entre el nitrógeno y el oxígeno del aire, denominado NO_x térmico.
- La descomposición de materias primas.

En las emisiones de la industria cerámica la presencia de este contaminante se asocia a las etapas de cocción y de secado por atomización. En el proceso de cocción de materiales cerámicos tradicionales, el contenido en óxidos de nitrógeno es bajo, aunque mayor que el observado en las instalaciones de secado por atomización,

ya que como se ha comentado anteriormente este tipo de contaminante es característico de procesos a alta temperatura.

3.1.2.5. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Las materias primas cerámicas pueden contener materia orgánica, además en el propio proceso de fabricación, se utilizan materiales de naturaleza orgánica, que se adicionan como agentes ligantes, formadores de poros, adhesivos, etc.

Durante las etapas de proceso que requieren temperatura (secado, cocción, etc.), pueden emitirse COV como resultado de la descomposición de los materiales orgánicos utilizados.

3.1.2.6. Metales pesados

La presencia de estos contaminantes está asociada principalmente a la composición de las materias primas utilizadas en la etapa de preparación y aplicación de esmaltes.

3.2. Efluentes líquidos

El agua desarrolla un papel muy importante en la industria cerámica, pues es un elemento indispensable para una serie de procesos. El agua utilizada se puede clasificar en cuatro grandes grupos según la función que cumple en el proceso, que a su vez determina su destino final.

Los usos principales del agua son:

- Como materia prima en la preparación de pastas para soportes cerámicos (molienda vía húmeda, humectación vía seca), preparación de esmaltes y humectación de piezas para la posterior aplicación de esmaltes. Este consumo de agua, prácticamente no comporta generación de aguas residuales, puesto que se emite en su práctica totalidad a la atmósfera por evaporación, en las distintas fases del proceso: atomización, secado, esmaltado y cocción.
- Como agente reductor de emisiones de partículas en:
 - Emisiones difusas debidas al transporte por zonas no asfaltadas y al almacenamiento al aire libre de materiales pulverulentos (riego).
 - Emisiones canalizadas (sistemas de depuración de gases vía húmeda).
- Como vehículo de intercambio de calor en las operaciones de conformación de piezas (cuando se utilizan prensas hidráulicas) y en tratamientos mecánicos (pulido, biselado y rectificado). El agua utilizada en estos procesos puede ser reciclada en circuitos cerrados, tras operaciones simples de enfriamiento y/o depuración.
- Como agente de lavado de las instalaciones:
 - Sección de preparación de pastas.
 - Sección de preparación de esmaltes.
 - Líneas y equipos de esmaltado.

El agua de lavado de la sección de preparación de pastas por vía húmeda es cuantitativamente poco importante, pudiéndose recircular en la etapa de molienda de materias primas. Sin embargo, el agua de lavado de las secciones de preparación y aplicación de esmaltes constituye la principal fuente de generación de aguas residuales en la industria cerámica.

- Otros usos: en la industria cerámica también se emplea el agua en el lavado de colorantes calcinados, refrigeración y sellado de bombas, enfriamiento de compresores, etc.

En la tabla 7 se resumen para cada etapa de proceso los usos del agua y su destino:

TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS EN PLANTAS CERÁMICAS Y AFINES		
Etapa de proceso	Usos del agua	Destino del agua
Gestión de eras	Riego de suelos no asfaltados y de acopios de arcillas almacenadas al aire libre	Atmósfera (evaporación) Vertido
Molienda por vía húmeda	Materia prima Agente de lavado	Reutilización de aguas residuales en la preparación de materias primas (soporte)
Molienda por vía seca	Materia prima	Atmósfera (evaporación)
Secado por atomización	Agente de lavado Sistemas de depuración de gases vía húmeda	Atmósfera (evaporación) Reutilización de aguas residuales en la preparación de materias primas (soporte)
Conformado de las piezas	Vehículo de intercambio de calor	Reutilización en circuito cerrado con torre de refrigeración
Preparación de esmaltes	Materia prima Agente de lavado	Reutilización de aguas residuales en la preparación de materias primas (soporte) en el propio proceso o mediante gestión externa Agente de lavado después de un tratamiento físico-químico Vertido previa depuración
Esmaltado	Sistemas de depuración por vía húmeda Agente de lavado	Atmósfera (evaporación). Reutilización de aguas residuales en la preparación de materias primas (soporte) en el propio proceso o mediante gestión externa Agente de lavado después de un tratamiento físico-químico Vertido previa depuración
Pulido, rectificado y biselado	Vehículo de intercambio de calor y arrastre de residuos de las operaciones	Reutilización en circuito cerrado (previa depuración)

Fuente: BLASCO, A. *et al.* Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica. [Castellón]: Instituto de Tecnología Cerámica: AICE, [1992].

3.2.1. Características de las aguas residuales y pluviales

Las aguas residuales procedentes de las operaciones de limpieza, preparación y aplicación de esmaltes suelen presentar turbidez y color debido a las finísimas partículas de esmalte y mineral arcilloso en suspensión. Desde el punto de vista químico se caracterizan por la presencia de:

- Sólidos en suspensión: arcillas, restos de fritas, silicatos insolubles en general.
- Aniones en solución: sulfatos, cloruros, fluoruros, etc.
- Metales pesados en solución y/o suspensión, principalmente Pb y Zn.
- Boro.
- Materia orgánica: vehículos serigráficos y colas utilizadas en las operaciones de esmaltado.

La concentración de estos elementos dependerá del tipo y composición de los esmaltes utilizados y del volumen de agua que se emplee.

Cabe resaltar que también hay que considerar las aguas residuales domésticas y las aguas pluviales a la hora de la gestión de los efluentes líquidos de la empresa.

Las aguas residuales domésticas proceden de los aseos y comedores de las distintas zonas de producción, así como de los de las oficinas. Estas aguas se caracterizan, en general, por un alto contenido en materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal, cloruros, aceites y grasas, detergentes y una alta turbidez.

Las aguas pluviales pueden arrastrar elementos procedentes de las emisiones de la empresa que estén dispersos en la atmósfera o depositados en las superficies de las naves y terrenos.

3.3. Residuos

Como ocurre en el resto de los sectores industriales, los residuos que se generan en los procesos de la industria cerámica pueden agruparse básicamente en residuos peligrosos y no peligrosos. La consideración de un residuo como peligroso viene referida tanto en el artículo 1.4 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos como en el artículo 3.c de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos donde se establece que tendrán tal condición los residuos que hayan sido calificados como tales por la normativa comunitaria. En este sentido, la Decisión 2000/532/CE, de la Comisión, de 3 de mayo, incorporada a nuestro ordenamiento jurídico mediante la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, identifica a los residuos que tienen tal calificación en la Lista Europea de Residuos y establece los mecanismos pertinentes que resultan de aplicación para proceder a dicha identificación.

En el caso concreto de la industria cerámica, los residuos que se generan se pueden agrupar atendiendo a su naturaleza y a los criterios establecidos en la normativa en:

3.3.1. Residuos no peligrosos

Son los más numerosos generándose en todas las etapas del proceso productivo. Desde el punto de vista cuantitativo cabe destacar los siguientes:

- Restos de materias primas y aditivos, residuos de la depuración de gases y productos crudos (antes del proceso de cocción).
- Producto acabado de desecho o fuera de especificaciones o normas (después del proceso de cocción).
- Residuos de servicios auxiliares de proceso y mantenimiento, tales como chatarra, rodillos, elementos refractarios, abrasivos, etc.
- Residuos de envases.
- Lodos y suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos.

3.3.2. Residuos peligrosos

Se producen en los procesos que utilizan materias primas que, por su composición, les puede conferir este carácter. Son destacables:

- Restos de materias primas y aditivos, residuos de la depuración de gases y productos crudos (antes del proceso de cocción).
- Materiales depositados en el interior de los canales de recogida de aguas (interior de la fábrica) que contengan sustancias peligrosas, de acuerdo al criterio previsto en el punto 5 y 6 del apartado B del Anejo II de la Orden MAM/304/2002.
- Fangos procedentes de la depuración de aguas de proceso de acuerdo con el criterio anterior.

- Residuos de la depuración de boro y de fluor.
- Residuos de envases.
- Aceites usados y otros residuos de mantenimiento general (baterías, filtros usados, etc.).

Los residuos peligrosos, por sus características implican un mayor riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente, y por tanto requieren un tratamiento especial, así como un continuo control para su gestión.

3.3.3. Residuos asimilables a urbanos

Se corresponden con aquellos residuos que no son consecuencia directa del proceso productivo. Por ejemplo: los procedentes del comedor de empresa, servicios de administración, mantenimiento de jardines, lodos de la depuradora de aguas sanitarias, etc.

En la tabla 8 se resume la clasificación de los residuos generados en el proceso productivo, en función de las distintas etapas de proceso.

TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA CERÁMICA		
Etapa de proceso	Generación de residuos	
	Residuos no peligrosos	Residuos peligrosos
Preparación de pastas	■	
Conformado	■	■ (1)
Preparación de esmaltes	■	■ (2)
Esmaltado	■	■ (2)
Cocción	■	■ (1)
Clasificación	■	
Embalado y paletización	■	
Mantenimiento	■	■
Laboratorio	■	■

(1) Aceites usados.

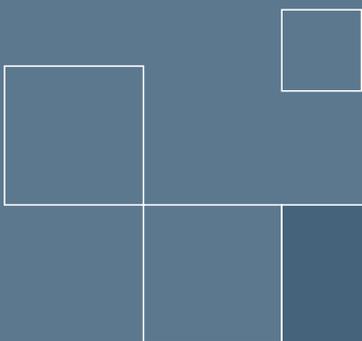
(2) La clasificación como peligroso o no peligroso está sujeto a la naturaleza y concentración de las materias primas utilizadas.

Fuente: BLASCO, A. *et al.* Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica. [Castellón]: Instituto de Tecnología Cerámica: AICE, [1992].

3.4. Contaminación acústica

Además del propio proceso, los principales focos generadores de ruido hacia el exterior de una industria cerámica son:

- Turbinas y motores de cogeneración.
- Chimeneas de salida de gases a velocidades elevadas.
- Motores ubicados en el exterior de la fábrica (por ejemplo, compresores, sistemas de depuración de gases, depuradora de aguas, sistemas de refrigeración de prensas, etc.).
- Actividades de carga y descarga de materias primas y producto acabado.



4

MEJORES TÉCNICAS
DISPONIBLES

4. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

A continuación, se resumen las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y los Valores Límite de Emisión (VLE) asociados que el organismo competente, junto con otras consideraciones locales o particulares de la instalación, utilizará como referencia a la hora de otorgar la Autorización Ambiental Integrada (AAI) a las industrias fabricantes de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana afectadas.

Para mayor claridad, se indicará en cada punto cuales son las MTD incluidas en el BREF del sector cerámico; el "Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry".

4.1. Emisiones a la atmósfera

4.1.1. Emisiones de partículas

Para prevenir tanto las emisiones difusas, como las emisiones canalizadas de partículas generadas en una instalación se pueden utilizar medidas individuales o una combinación de diferentes técnicas.

En el BREF propio de la fabricación de productos cerámicos, se citan además una serie de BREF horizontales, tales como los correspondientes a "Emissions from Storage" y a "Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector", donde se puede encontrar información relevante para reducir el impacto medioambiental asociado a este tipo de emisiones.

4.1.1.1. Emisiones difusas

En este apartado se describen las MTD identificadas para la reducción de las emisiones difusas de partículas generadas en las operaciones de almacenamiento y manipulación de materiales pulverulentos, como son materias primas (arcillas, feldespatos, caolines, etc.) y semielaborados (gránulo atomizado, arcilla molturada en seco, etc.).

Las medidas correctoras propuestas se dividen en: medidas para operaciones con materiales de naturaleza pulverulenta y medidas para las zonas de almacenamiento de dicho tipo de materiales a granel:

■ Medidas para operaciones con materiales de naturaleza pulverulenta:

- Cerramiento de las operaciones realizadas con materiales pulverulentos, como por ejemplo, las operaciones de molturación y mezclado.
- Filtración del aire aspirado en la carga y dosificación de materias primas.
- Utilización de silos con una capacidad adecuada y dotados con sistemas de filtración del aire aspirado en operaciones de llenado.
- Cubrimiento de las cintas transportadoras que trabajen con materias primas pulverulentas.
- Utilización de sistemas de transporte neumático (siempre que técnicamente sea posible).
- Realización de las operaciones de manipulación en naves cerradas con sistemas de aspiración y posterior depuración de la corriente gaseosa.
- Reducción de escapes y derrames, realizando un buen mantenimiento de las instalaciones.

■ Medidas para las zonas de almacenamiento de materiales pulverulentos a granel:

- Vallado de la zona mediante pantallas cortavientos, muros, barreras vegetales (naturales o artificiales), etc.
- Control de la altura de los puntos de descarga de materiales, automáticamente cuando sea posible, o disminución de la velocidad de descarga.
- Limpieza y humectación mediante sistemas de pulverización.

En el capítulo 5 de la presente Guía se recogen las medidas correctoras, contenidas en las AAI de la Comunitat Valenciana, para la disminución de las emisiones difusas de partículas en las operaciones de manipulación y almacenamiento y también en el transporte interno de materiales pulverulentos en las empresas.

4.1.1.2. Emisiones canalizadas de partículas

Para reducir las emisiones canalizadas de partículas en el documento BREF se citan, como MTD, varios sistemas de separación y filtración. Los dos primeros sistemas mencionados a continuación son considerados en el capítulo 5 del BREF como MTD genéricas, mientras que la última es considerada como una MTD específica para la industria de fabricación de baldosas cerámicas. Cualquiera de las medidas correctoras deberán contar con un sistema de control y seguimiento que asegure el correcto funcionamiento de la medida correctora.

- Filtros de mangas, en estos sistemas la corriente de gases a limpiar pasa a través de unas mangas filtrantes (que pueden ser de diferentes materiales como por ejemplo, poliéster, Nomex, teflón, etc.), de forma que las partículas se retienen en la superficie de las mangas formando a su vez una capa filtrante. Los filtros de mangas alcanzan una alta retención de partículas, generalmente por encima del 96% y hasta un 99% dependiendo del tamaño de partícula. Cabe destacar que este sistema de depuración es el más extendido en la industria valenciana de fabricación de baldosas cerámicas.
- Filtros de láminas, los principales elementos de este filtro son los medios filtrantes rígidos, que se montan como elementos compactos en el sistema y que consisten normalmente en polietileno sinterizado recubierto de teflón. Las principales ventajas de este sistema son la alta eficiencia de limpieza de partículas de una corriente gaseosa, la alta resistencia contra el desgaste abrasivo que producen las partículas y un menor volumen de los equipos comparado con los filtros de mangas.
- Separadores de partículas vía húmeda, en estos sistemas se pone en contacto la corriente gaseosa a depurar con un líquido, generalmente agua, que retiene las partículas que se encuentran suspendidas en ella. Según el diseño se pueden distinguir varios tipos, por ejemplo tipo Venturi.

A continuación, en la figura 4 se muestra un esquema de un ciclón y un depurador vía húmeda instalados en serie para el tratamiento de las emisiones de un secadero por atomización:

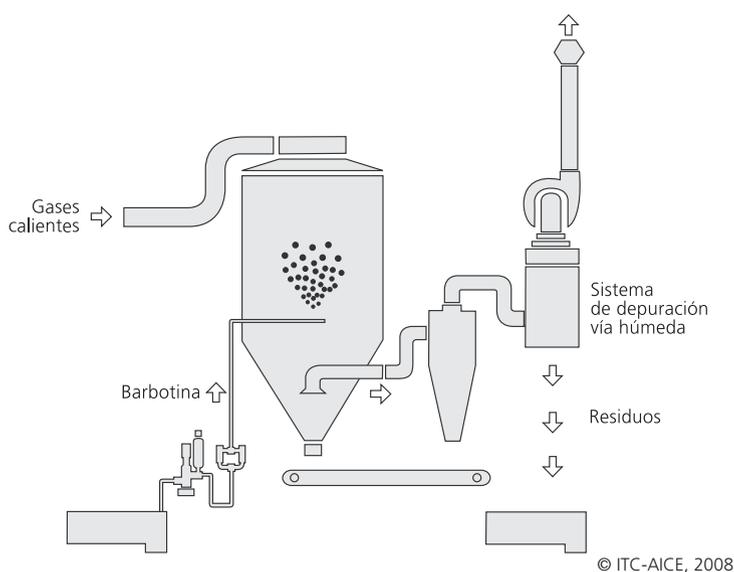


Figura 4. Sistema de depuración vía húmeda instalado después de un ciclón en la etapa de atomización.

En el BREF se indica que los VLE asociados a la aplicación de filtros de mangas o filtros de láminas, MTD genéricas, son 1-10 mg/Nm³ de partículas (en todos los casos los citados valores se expresan como promedio de los valores tomados en media hora).

Para el caso concreto de la industria cerámica, se especifica que en la industria de fabricación de baldosas en las emisiones provenientes de la etapa de atomización, la aplicación de filtros de mangas tiene un VLE asociado de 1-30 mg/Nm³ de partículas para instalaciones nuevas, mientras que en el caso de instalaciones existentes los VLE asociados a la aplicación de un separador vía húmeda con ciclón son de 1-50 mg/Nm³ de partículas. Cabe destacar que en las actuales AAI otorgadas en la Comunitat Valenciana, se especifica para focos de origen en atomizadores que tengan en la actualidad sistemas correctores vía húmeda instalados, el límite de partículas a cumplir será de 50 mg/Nm³ hasta el 30 de octubre de 2015. A partir de esa fecha se deberá cumplir con el límite genérico de 30 mg/Nm³.

En la etapa de secado de piezas conformadas los VLE asociados a la aplicación de buenas prácticas son de 1-20 mg/Nm³ de partículas (sin uso de sistemas de depuración) y en la etapa de esmaltado de 1-10 mg/Nm³ de partículas (asignados al uso de filtros de mangas o de láminas).

4.1.2. Emisiones de compuestos gaseosos

El documento BREF distingue entre medidas primarias y medidas secundarias.

4.1.2.1. Medidas Primarias

- Para reducir la emisión de compuestos gaseosos (como HF, HCl, SO_x, metales pesados, etc.) procedentes de los gases de salida de procesos de combustión, se propone la adopción de varias medidas primarias:
 - Reducción del uso de precursores de estos contaminantes en las materias primas.
 - Optimización de la curva de cocción y reducción de vapor de agua en los gases del horno.
 - Selección del combustible.
- Para la reducción de la emisión de NO_x procedente de los gases de salida del horno de cocción hasta unos VLE de 250 mg/Nm³ (T^a gas horno < 1.300° C) ó 500 mg/Nm³ (T^a gas horno ≥ 1.300° C), expresado como NO₂ como valor medio diario, se debe reducir el uso de compuestos de nitrógeno como materia prima y aditivos.

4.1.2.2. Medidas secundarias y combinación de medidas primarias

El documento BREF menciona los siguientes sistemas de depuración de gases como medidas secundarias para reducir las emisiones gaseosas de compuestos inorgánicos: adsorbedores de lecho tipo cascada, adsorbedores de módulos, sistemas de depuración de gases vía seca mediante filtración y sistemas de limpieza de gases vía húmeda. Todos estos sistemas consisten en poner en contacto los gases con una sustancia o reactivo que retenga los contaminantes y de esta forma emitir un gas con una menor concentración de las sustancias contaminantes.

Los reactivos más frecuentes son Ca(OH)₂, NaHCO₃, CaCO₃ o Na₂CO₃ generalmente utilizados en forma de sólidos secos. El rendimiento en la eliminación depende mucho del contaminante que se quiere eliminar, del sistema utilizado, de la temperatura, de la presencia de otros contaminantes, del tipo de reactivo, etc.

En el documento BREF titulado "Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector" se puede encontrar más información sobre este tipo de sistemas.

A la aplicación combinada de las medidas primarias y secundarias, anteriormente mencionadas, se pueden asociar los VLE expresados en la tabla 9, para los compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de salida generados en la etapa de cocción.

TABLA 9. VLE PARA LOS COMPUESTOS INORGÁNICOS GASEOSOS PROCEDENTES DE LOS GASES DE SALIDA DEL HORNO DE COCCIÓN

Proceso / Técnica depuración: Cocción / Filtro de mangas con adsorbente		
Parámetro	Unidades, como valor medio diario	VLE
Flúor expresado como HF	mg/Nm ³	1-5
Cloro expresado como HCl	mg/Nm ³	1-30 ⁽¹⁾
NO _x expresado como NO ₂	mg/Nm ³	1-250 ⁽²⁾
SO _x expresado como SO ₂	mg/Nm ³	<500 ⁽³⁾
		500-2.000 ⁽⁴⁾

(1) El VLE-MTD del HCl se podría revisar atendiendo al contenido de Cl en las arcillas y en las aguas utilizadas. El cumplimiento de dicho límite no debería limitar la valorización de las aguas residuales en el propio proceso.

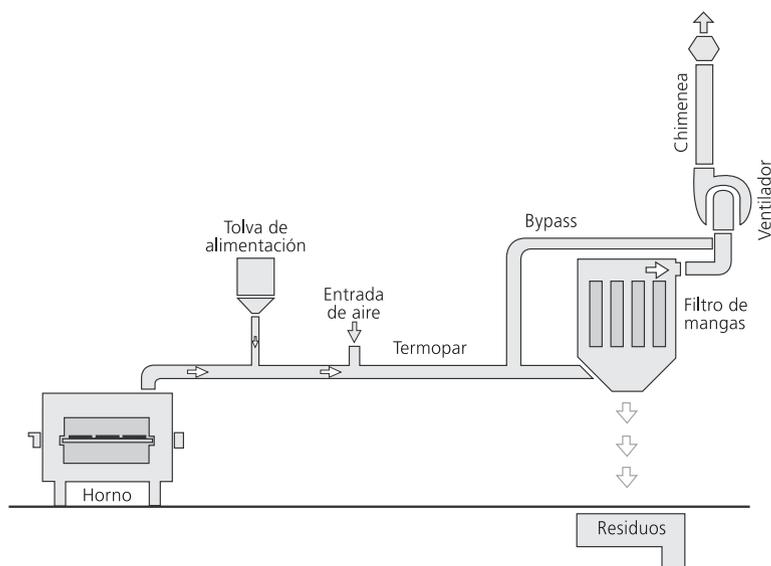
(2) T^o gas horno < 1.300°C.

(3) Si el contenido de azufre en materia prima < 0,25%.

(4) Si el contenido de azufre en materia prima >0,25%.

Como consecuencia de la utilización de reactivos en estado sólido para la depuración de los contaminantes gaseosos procedentes de la etapa de cocción, se generan partículas en la corriente de gases tratada; por este motivo, el VLE para partículas asociado a la aplicación de adsorbentes de lecho tipo cascada o sistemas de limpieza de gases secos mediante un filtro de gases es de 1-5 mg/Nm³ (expresados como promedio de los valores tomados en un día).

A modo de ejemplo en la figura 5, se presenta un esquema de la instalación de un sistema de depuración de gases con sistema de adición de reactivos y un filtro de mangas en un horno monoestrato de cocción de baldosas.



© ITC-AICE, 2008

Figura 5. Esquema de una instalación de depuración de ácidos en un horno monoestrato de cocción de baldosas con sistema de adición de reactivos y filtro de mangas.

4.1.2.3. Resumen de las MTD en emisiones a la atmósfera

En la tabla 10 se resumen las MTD incluidas en el BREF de la industria cerámica para la actividad de fabricación de baldosas cerámicas.

TABLA 10. MTD EN EMISIONES A LA ATMÓSFERA INCLUIDOS EN EL BREF		
Tipo de emisión	MTD	
Emisiones difusas de partículas	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Cerrar los dispositivos o zonas de las operaciones donde se genere polvo y dotarlas de aspiraciones <input type="checkbox"/> Filtrar el aire aspirado en la carga y dosificación de materias primas <input type="checkbox"/> Almacenar en silos dotados con sistemas de filtración <input type="checkbox"/> Cubrir las cintas transportadoras que operan con materias primas pulverulentas <input type="checkbox"/> Usar sistemas de transporte neumáticos o cerrados que operen en depresión <input type="checkbox"/> Reducir los escapes y derrames, realizando un buen mantenimiento de las instalaciones <input type="checkbox"/> Cerrar los acopios de materias primas o rodearlos con paredes <input type="checkbox"/> Reducir la altura de las descargas o realizar estas operaciones por medios automáticos <input type="checkbox"/> Utilizar sistemas de pulverización de agua en las fuentes de polvo localizadas y en las zonas de almacenamiento <input type="checkbox"/> Instalar sistemas de limpieza para los bajos y neumáticos de los camiones 	
Emisiones canalizadas de partículas	Filtros de mangas Filtros de láminas Separadores de partículas vía húmeda	
	Medidas primarias	Medidas secundarias
Emisiones de compuestos gaseosos (como HF, HCl, SO _x , NO _x metales pesados, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Selección de materias primas <input type="checkbox"/> Optimización del proceso <input type="checkbox"/> Selección del combustible 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Adsorbedores de lecho tipo cascada y de módulos <input type="checkbox"/> Sistemas de limpieza de gases secos mediante adición de un adsorbente y posterior filtración

4.1.2.4. Resumen de los VLE a la atmósfera

En la tabla 11 se resumen los VLE asociados a las MTD aplicables a la fabricación de baldosas cerámicas, detallados en el BREF de la industria cerámica.

TABLA 11. VLE A LA ATMÓSFERA ASOCIADOS A LAS MTD					
Proceso / MTD	VLE (mg/Nm ³)				
	Partículas	HF	HCl	NO _x	SO _x
General (aspiraciones de polvo) <input type="checkbox"/> filtro de mangas	1-10				
Atomización ⁽⁴⁾ <input type="checkbox"/> filtro de mangas (inst. nuevas) <input type="checkbox"/> depurador vía húmeda con ciclón (inst. existentes) <input type="checkbox"/> si se usa cogeneración	1-30 1-50			1-500	
Secado <input type="checkbox"/> buenas prácticas	1-20				
Esmaltado <input type="checkbox"/> filtro de mangas o de láminas	1-10				
Cocción ⁽⁴⁾ <input type="checkbox"/> filtro de mangas con adsorbente	1-5	1-5	1-30 ⁽¹⁾	1-250 ⁽²⁾	1-500 / 500 -2.000 ⁽³⁾

(1) El VLE-MTD del HCl se podría revisar atendiendo al contenido de Cl en las arcillas y en las aguas utilizadas. El cumplimiento de dicho límite no debería limitar la valorización de las aguas residuales en el propio proceso.

(2) Tª gas horno <1.300°C.

(3) 1-500 mg/Nm³ si el contenido de azufre en materia prima <0,25%. 500-2.000 mg/Nm³ si el contenido en azufre >0,25%.

(4) VLE en combustión referidos al 18% de O₂.

Un aspecto muy importante en la determinación de los VLE, cuando estos se expresan como concentraciones en la corriente gaseosa emitida, son las condiciones de referencia, para poder comparar los resultados de las medidas de las emisiones independientemente del grado de dilución de los gases y de la temperatura de los mismos. En la tabla 12, se detallan las condiciones de referencia recogidas en el BREF para la expresión de dichos valores en las industrias de fabricación de baldosas.

TABLA 12. CONDICIONES DE REFERENCIA PARA EXPRESAR LOS VLE	
Concentración (mg/Nm ³)	Condiciones normales y gases secos (273 K, 1.013 hPa) En gases de combustión referir al 18% (en volumen) de oxígeno

4.2. Consumos y vertidos de agua

Los objetivos que se mencionan en el documento BREF, respecto al consumo de agua, consisten en alcanzar un bajo consumo y reducir los vertidos de agua. Para conseguir estos objetivos, se han de emplear medidas de optimización del proceso y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.2.1. Optimización del proceso

Optimizar el consumo de agua es importante, y para conseguirlo se pueden tomar diferentes medidas:

- Instalación de válvulas automáticas que prevengan escapes de agua.
- Instalación de sistemas de alta presión en planta para limpieza.
- Sustitución de sistemas de depuración de gases vía húmeda por sistemas que no requieran agua.
- Reutilizar el agua residual en el propio proceso.

El documento BREF indica varios ratios de reutilización del agua residual en la fabricación de baldosas cerámicas, que puede ser de un 10% de la requerida para porcelánico no esmaltado hasta un 70% de la requerida para baldosas esmaltadas.

En general, salvo para ciertos productos, en la fabricación de baldosas cerámicas el ratio de reutilización del agua residual del proceso del 50-100% se considera MTD.

4.2.2. Sistemas de tratamiento de las aguas residuales y pluviales contaminadas

Para tratar las aguas residuales existen varias alternativas:

- Con respecto a las aguas residuales domésticas.
 - Conexión a una red de alcantarillado que conduzca dichas aguas residuales a una EDAR.
 - Depuración por sistemas convencionales con los que se consiga una calidad adecuada para su reutilización, valorización o para su vertido, previa autorización de la administración competente.
 - Almacenamiento en depósito impermeable y posterior retirada por gestor autorizado.
- Con respecto a las aguas residuales de proceso.
 - Conexión a una red de alcantarillado que conduzca dichas aguas residuales a una EDAR, previo tratamiento que sea necesario para cumplir las exigencias del titular de la red de saneamiento.
 - En el documento BREF aparecen una serie de técnicas de depuración de aguas residuales: depuración por sistemas de homogeneización, aireación, sedimentación, filtración, absorción por carbono activo,

precipitación química, coagulación y floculación, intercambio iónico y ósmosis inversa, con los que se consiga una calidad adecuada para su reutilización o para su vertido a Dominio Público Hidráulico, previa autorización de la administración competente.

- Valorización de agua por parte de gestor autorizado (que puede ser la propia empresa, si está acreditada para ello).

En el documento se especifican los siguientes contaminantes con sus respectivos VLE asociados para vertidos:

TABLA 13. VLE ASOCIADOS PARA CONTAMINANTES EN VERTIDOS		
Contaminantes	Unidades	VLE
Sólidos en suspensión	mg/l	50
AOX (halogenados orgánicos)	mg/l	0,1
Pb	mg/l	0,3
Zn	mg/l	2
Cd	mg/l	0,07

En el documento BREF titulado “Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector” se puede encontrar más información referente a estas técnicas.

Cuando se recicle más de un 50% de agua en el proceso, seguirán considerándose VLE asociados a MTD valores más elevados de concentración en los vertidos, siempre y cuando la carga contaminante por unidad de producción no supere a la alcanzada en la situación de que se recicle un 50%.

4.3. Residuos: lodos y suspensiones cerámicos

Los lodos y suspensiones generados en la fabricación de baldosas cerámicas, como consecuencia de las operaciones de limpieza de las secciones de preparación y aplicación de esmaltes, pueden ser tratados de diferentes modos: valorizados en el propio sistema o en la fabricación de otros productos.

En el año 2002 se firmó un acuerdo entre la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda y ASCER con el objeto de mejorar la gestión de los residuos no peligrosos del proceso de fabricación de baldosas cerámicas, estableciendo un control adecuado. Se pretendía con ello buscar vías que facilitasen la mejora medioambiental en diferentes aspectos, entre ellos la prevención, reducción y valorización de residuos de proceso, respondiendo así a la política de la Generalitat Valenciana que centraba sus esfuerzos en evitar la eliminación de los residuos susceptibles de valorización. Gran parte de estos residuos son valorizados al ser utilizados como materia prima en alguna de las fases del proceso productivo, en particular en la preparación de composiciones para la molienda por vía húmeda o seca, o en la fase de amasado. Asimismo se conseguía una reducción importante del consumo de materias primas, atenuando a la vez uno de los impactos de la actividad.

Como muestra de los resultados obtenidos con esta iniciativa, los datos del año 2007 reflejan una amplia respuesta y concienciación, ya que se consiguieron valorizar 321.168,16 toneladas de lodos acuosos (080202) y 945.538,63 toneladas de suspensiones acuosas (080203). Asimismo resulta importante mencionar la recuperación del tiesto cocido, con cerca de 40.000 toneladas de residuos de cerámica, después del proceso de cocción (101208), valorizadas.

La valorización de lodos y suspensiones consiste en reintroducir en el proceso de fabricación del soporte

cerámico las suspensiones acuosas y los lodos que contienen materiales cerámicos, incorporándolos junto a las materias primas cuando estas son molturadas vía húmeda, ya que pueden ser utilizados directamente o después de un tratamiento físico o físico-químico. En casos en que el proceso sea en vía seca el lodo se ha de secar previamente.

Se considera MTD la valorización de lodos y suspensiones, en la composición del soporte en un rango de 0,4 a 1,5% en peso. El ratio habitual de reciclado de este residuo en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas se indica en la siguiente tabla.

TABLA 14. RATIO DE RECICLADO DE LODOS Y SUSPENSIONES	
Valorización de lodos y suspensiones	Rango
MTD	0,4 - 1,5% (en peso)
Fabricación baldosas cerámicas ⁽¹⁾	0,4 - 1,0% (en peso)

(1) Suponiendo una cantidad de residuo de 0,09-0,15 kg/m² de producto acabado y un producto de 15-20 kg/m².

Los lodos pueden ser reutilizados en el proceso de atomización (en instalaciones propias si las posee o de terceros). Sin embargo, de acuerdo con la Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunitat Valenciana, queda prohibida la mezcla o dilución de residuos que dificulte su gestión. Por tanto, los residuos generados en la instalación, distintos de los propios del proceso productivo (residuos del mantenimiento de las instalaciones, residuos de laboratorio, lodos de fosas sépticas, aguas sanitarias, etc.), en ningún caso podrán mezclarse para posterior gestión con los lodos y suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos.

4.4. Residuos sólidos generados en el propio proceso

En el documento BREF aparecen varias medidas para prevenir o reducir la producción de residuos sólidos generados en el propio proceso:

- Realimentación de materias primas que se han recuperado en diferentes etapas del proceso, antes de haber sufrido cualquier tipo de tratamiento (térmico, mezclado con aditivos, etc.) que modifique sus propiedades.
- Realimentación de las piezas rotas en crudo que pueden ser reintroducidas fácilmente como materia prima.
- Reutilización de las piezas rotas cocidas por otras industrias.
- Reducir bajas en cocido: introducir medidas de control automático en los hornos y optimizar la distribución de la carga.

4.5. Ruido

En este punto se tratan las MTD para reducir las emisiones de ruido que se dan durante algunas de las etapas del proceso de producción de baldosas cerámicas:

- Insonorización de las unidades generadoras de ruido.
- Aislamiento de los equipos que generan vibraciones.
- Uso de silenciadores y de ventiladores de baja velocidad de rotación.
- Situar ventanas, puertas y equipos ruidosos, si es posible, en la dirección más alejada de los núcleos habitados.

- Mejora del aislamiento acústico de ventanas y paredes.
- Mantener siempre las ventanas y las puertas cerradas.
- Realizar las actividades más ruidosas durante el día.
- Realizar un buen mantenimiento en la planta.



4.6. Energía

El BREF dedica todo un apartado a energía, ya que se requiere un importante aporte en el proceso de fabricación de las baldosas cerámicas.

Las principales medidas propuestas en el BREF, con carácter general, para cualquier instalación de fabricación de productos cerámicos, especialmente para baldosas cerámicas, son las siguientes:

- **Mejorar el diseño de los hornos y secaderos**, mejorando el sellado y el aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor, usar quemadores de alta velocidad para una mejor eficiencia de la combustión y mejorar la transmisión de calor, sustituir hornos viejos por hornos nuevos que permitan un ahorro de energía específica o por unidad de producto, optimizar el paso del secadero al horno (usando zonas de precalentamiento del horno para finalizar el proceso de secado), etc.
- **Recuperar el exceso de calor de los hornos**, en particular el exceso de calor en forma de aire caliente de la zona de enfriamiento de los hornos puede ser utilizado en los secaderos. En algunos casos también se pueden utilizar intercambiadores de calor para recuperar el calor procedente de los gases de salida del horno y precalentar el aire de combustión, pero esta aplicación está limitada por causa de los problemas de corrosión que pueden dar los contaminantes presentes en los gases de combustión.
- **Uso de sistemas de cogeneración**, que consisten en generar energía eléctrica y aprovechar los gases residuales para el proceso de fabricación. En la industria valenciana de azulejos y pavimentos estos sistemas se encuentran muy implantados en la etapa de secado por atomización mediante el uso de turbinas.
- **Sustitución del fuel y de los combustibles sólidos por combustibles más limpios**, como el gas natural, los gases licuados del petróleo (GLP) e incluso el gas natural licuado (GNL). Hay que decir que todas las empresas de fabricación de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana y la gran mayoría de las españolas actualmente ya utilizan estos tipos de combustibles, generalmente gas natural.
- **Modificación de los soportes cerámicos**, pues mejorando el diseño y composición se pueden reducir los tiempos de secado y de cocción de las baldosas cerámicas. Por otro lado, una reducción en la cantidad de agua en la etapa de mezclado ayuda a ahorrar energía en el secado.



4.7. Gestión medioambiental

Hay numerosas técnicas de gestión medioambiental que se consideran como MTD. El alcance y naturaleza de la gestión ambiental en una actividad determinada, depende generalmente de la complejidad de la instalación a la que se aplica, así como del impacto ambiental que está pueda tener.

Una herramienta de ayuda para aquellas empresas que quieren mejorar en materia de medio ambiente de modo sistemático y eficiente, es la implantación en su actividad de un Sistema de Gestión Ambiental (en adelante SGMA).

Estos sistemas pueden ser normalizados y de gran reconocimiento como el Reglamento 761/2001 (EMAS) de aplicación en la Unión Europea y las series de normas EN ISO 14000 de ámbito internacional o pueden ser sistemas no normalizados.

No obstante, según el BREF, para que un SGMA sea considerado como MTD debe cumplir una serie de requisitos que comprendan la estructura organizativa, las responsabilidades, las prácticas, los procesos y los recursos para determinar y llevar a cabo la política medioambiental.

Por otro lado se recoge en el BREF la posibilidad de certificar un SGMA a través de procedimientos normalizados, proceso que dota de mayor credibilidad al sistema.

Hay un documento AENOR UNE 150102:2002 "Guía para la implantación de sistemas de gestión medioambiental conforme a UNE-EN ISO 14001 en el sector de baldosas cerámicas, y requisitos adicionales para el registro en el reglamento EMAS".

4.7.1. EMAS

Conocido por sus siglas en inglés EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), es un instrumento europeo que permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditorías medioambientales, permitiendo a las organizaciones participantes evaluar y mejorar su comportamiento ambiental y difundir la información pertinente al público y otras partes interesadas.

Este instrumento, reconocido en todos los estados miembros UE, fue creado mediante el Reglamento (CEE) nº 1836/93 del Consejo, de 29 de junio de 1993. Su revisión dio lugar al Reglamento (CE) nº 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, en vigor actualmente, aunque modificado parcialmente por el Reglamento (CE) nº 196/2006 de la Comisión, de 3 de febrero de 2006.

EMAS pretende promover la mejora continua del comportamiento ambiental de las organizaciones, estableciendo y aplicando políticas, programas y sistemas de gestión ambiental en los centros de producción, y llevando a cabo evaluaciones sistemáticas, objetivas y periódicas del funcionamiento de esos elementos, adquiriendo compromisos cada vez más exigentes para reducir el impacto ambiental de acuerdo a las MTD.

El logotipo de EMAS es el siguiente:



4.7.1.1. Principales beneficios de EMAS para las organizaciones registradas

Como principales ventajas de la implementación de EMAS en las organizaciones se encuentran:

- Ahorro de costes a medio/largo plazo principalmente al detectar y solventar ineficiencias.
- Mejora de la imagen corporativa, aumento de la credibilidad y diferenciación positiva respecto a la competencia. EMAS es el sistema con más credibilidad de los actualmente existentes y está supervisado y respaldado por las administraciones de los estados miembros.
- Aumento de la motivación y sensibilización de los trabajadores por su participación en procesos de mejora continua.
- Cumplimiento de la legislación y mejora de las relaciones con la Administración.
- Exención o disminución de inspecciones, controles periódicos y simplificación de procedimientos relativos al cumplimiento de la normativa medioambiental. Ejemplos de esta flexibilidad reguladora con aplicación en las empresas de fabricación de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana se encuentran:

□ En el marco de la IPPC, el Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell por el que se desarrolla la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de prevención de la contaminación y calidad ambiental, en su artículo 45, apartado 2, en referencia a la Renovación de la AAI indica que “la instalación o actividad se adecúa a los condicionamientos ambientales vigentes, si, de acuerdo con el Reglamento (CE) 761/2001, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), tiene implantado el referido sistema en los términos del citado Reglamento, o de aquella norma que lo sustituya”, estableciendo la aplicación de un procedimiento simplificado para la obtención de la renovación de la AAI para las empresas registradas en EMAS.

□ En la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, el apartado b) de su artículo 28, recoge que estarán exentos de la obligación de constitución de garantía financiera obligatoria, “los operadores de actividades susceptibles de ocasionar daños cuya reparación se evalúe por una cantidad comprendida entre 300.000 y 2.000.000 de euros que acrediten mediante la presentación de certificados expedidos por organismos independientes, que están adheridos con carácter permanente y continuado, bien al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), bien al sistema de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001:1996.”

■ Acceso a nuevos mercados y cumplimiento de criterios en la compra pública verde.

□ La Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público, en su artículo 70 sobre la acreditación del cumplimiento de las normas de gestión medioambiental, en su apartado 1 recoge que “en los contratos sujetos a una regulación armonizada, los órganos de contratación podrán exigir la presentación de certificados expedidos por organismos independientes que acrediten que el empresario cumple determinadas normas de gestión medioambiental, remitiéndose al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) o a las normas de gestión medioambiental basadas en las normas europeas o internacionales en la materia, y certificadas por organismos conformes a la legislación comunitaria o a las normas europeas o internacionales relativas a la certificación”.

4.7.1.2. EMAS e ISO 14001

El Reglamento EMAS y la norma internacional UNE-EN ISO 14001 constituyen dos herramientas de gestión ambiental relacionadas, hasta el punto de que el reglamento EMAS remite a la norma ISO 14001 para definir los requisitos del sistema de gestión ambiental.

Las empresas certificadas de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14001 que quieran adherirse a EMAS, deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

CONSIDERACIONES ADICIONALES DE ORGANIZACIONES CON UNE-EN ISO 14001 PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE EMAS	
Información Pública	El requisito de transparencia se materializa en la Declaración Medioambiental.
Cumplimiento de la legislación	La empresa debe haber adoptado todas las disposiciones oportunas para su cumplimiento.
Mejora del comportamiento ambiental	La organización elaborará informes utilizando indicadores ambientales que permitan comparar la evolución de su comportamiento ambiental.
Participación de los trabajadores	La organización debe involucrar a los trabajadores en la mejora continua del comportamiento ambiental.

4.7.2. Etiqueta Ecológica Europea

La etiqueta ecológica de la UE, también conocida como “la flor”, creada en 1992, constituye un sistema de certificación cuyo objetivo es ayudar a los consumidores europeos a identificar los productos y servicios más

ecológicos y respetuosos del medio ambiente. Todos los productos que llevan la flor han sido verificados por organismos independientes, supervisados por los organismos competentes de los diferentes estados miembros, garantizando el cumplimiento de criterios estrictos relativos al medio ambiente y a las prestaciones del producto.

La etiqueta ecológica de la UE implica el cumplimiento de unos determinados criterios ambientales selectivos, transparentes y con suficiente información y base científica. Con su elección, los consumidores se aseguran de que reducen efectos ambientales adversos y de que contribuyen al uso eficaz de los recursos.

Es interesante destacar que la etiqueta ecológica y EMAS son herramientas voluntarias completamente compatibles, que las empresas de producción de baldosas cerámicas pueden utilizar para mejorar su comportamiento ambiental y consecuentemente su imagen.

En la actualidad hay 23 grupos de productos diferentes y ya se han concedido más de 250 licencias para cientos de productos.

Entre las distintas categorías de productos que pueden optar a esta ecoetiqueta se encuentran las “baldosas rígidas para suelos”. Los criterios ecológicos establecidos para la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria a las baldosas rígidas para suelos se recogen en la Decisión de la Comisión de 25 de marzo de 2002 (2002/272/CE), prorrogada por la Decisión de la Comisión de 14 de octubre de 2005 (2005/783/CE) y por la Decisión de la Comisión de 20 de diciembre de 2007 (2008/63/CE) hasta el 31 de marzo de 2010. Sin embargo, recientemente se han aprobado nuevos criterios ecológicos, los cuales se publicarán próximamente.

El logotipo de la Etiqueta Ecológica Europea es el siguiente:





5

CONTENIDO DE LAS
AUTORIZACIONES AMBIENTALES
INTEGRADAS CONCEDIDAS EN
LA COMUNITAT VALENCIANA

5. CONTENIDO DE LAS AUTORIZACIONES AMBIENTALES INTEGRADAS CONCEDIDAS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

En las Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI), emitidas por el organismo competente en materia medioambiental, se establecen unos límites de emisión, tanto para emisiones atmosféricas como para emisiones sonoras y vertidos. De la misma forma se autoriza a estas empresas para la producción y, si es el caso, la gestión de residuos, especificando qué tipo y qué cantidad podrán producir y gestionar.

El contenido de estas AAI da una útil orientación sobre el que pueden tener futuras AAI, salvo lo que resulte de las diferencias de instalación y de circunstancias locales.

Seguidamente se resumen los principales puntos que aparecen en las AAI otorgadas hasta el momento de publicación de la presente guía:

5.1. Emisiones atmosféricas

5.1.1. Emisiones canalizadas

Los Valores Límite de Emisión (VLE) para focos canalizados serán los especificados en la tabla 15:

Origen foco	Contaminante	Límite de emisión	Periodicidad
Corrientes de aspiración	Partículas	30 mg/Nm ³	Q<10.000 Nm ³ /h: Trienal 10.000<Q<30.000 Nm ³ /h: Bienal Q>30.000 Nm ³ /h: Anual
Hornos ⁽⁵⁾	Partículas	30 mg/Nm ³	Q<30.000 Nm ³ /h: Bienal Q>30.000 Nm ³ /h: Anual
	NO _x (como NO ₂)	250 mg/Nm ³	
	SO ₂	200 ⁽⁴⁾ mg/Nm ³	
	Fluoruros ⁽¹⁾ (como HF) (en gases y partículas)	10 mg/Nm ³	
Presecadero ⁽⁷⁾ y Secadero	Partículas ⁽⁶⁾	30 mg/Nm ³	Q<10.000 Nm ³ /h: Trienal 10000<Q<30.000 Nm ³ /h: Bienal Q>30.000 Nm ³ /h: Anual
	NO _x (como NO ₂)	250 mg/Nm ³	
	SO ₂	200 mg/Nm ³	
Cogeneración	Partículas ⁽²⁾	30 mg/Nm ³	Trienal
	NO _x (como NO ₂)	800 mg/Nm ³	
	SO ₂	200 ⁽⁴⁾ mg/Nm ³	
Atomización	Partículas ⁽³⁾	30 mg/Nm ³	Anual
	NO _x (como NO ₂)	250 mg/Nm ³	
	SO ₂	200 ⁽⁴⁾ mg/Nm ³	

⁽¹⁾ Para los focos de origen en hornos cuyo caudal de gases sea inferior a 3.000 Nm³/h, el valor límite de fluoruros podrá ser de 30 mg/Nm³, siempre y cuando el caudal másico de dicho contaminante sea inferior a 0,1 kg/h.

⁽²⁾ Quedan excluidos de medición de emisión de partículas, los focos de emisión directa de turbinas y motores de cogeneración que usen gas como combustible.

⁽³⁾ Para focos de origen en atomizadores que tengan en la actualidad sistemas correctores vía húmeda instalados, el límite de partículas a cumplir será de 50 mg/Nm³ hasta el 30 de octubre de 2015. A partir de esa fecha se deberá cumplir con el límite genérico de 30 mg/Nm³.

⁽⁴⁾ En los casos en que se prevea la superación de este valor por el uso de determinadas materias primas o combustibles, se deberá entregar al organismo competente en materia medioambiental un estudio técnico justificativo que incluya balances de masa y una propuesta de valor límite.

⁽⁵⁾ Quedan excluidos de medición de emisión de contaminantes los focos de evacuación del aire de enfriamiento de los hornos de cocción de baldosas.

⁽⁶⁾ Quedan excluidos de medición de emisión de partículas los focos de presecado y secado de piezas cerámicas que utilicen como combustible gas natural o propano, siempre y cuando en condiciones habituales de operación y sin sistema de depuración, hayan obtenido una emisión inferior a 10 mg/Nm³ de partículas.

⁽⁷⁾ En las turbinas de cogeneración y presecaderos sólo será necesario realizar mediciones siempre que existan emisiones esporádicas con una frecuencia media superior a doce veces por año, con una duración individual superior a una hora o con cualquier frecuencia, cuando la duración global de las emisiones sea superior al 5% del tiempo de funcionamiento de la planta.

Se deberá llevar a cabo un Plan de Acción que permita caracterizar de forma representativa los Niveles de emisión de cloro y plomo de los focos que evacuen gases procedentes de hornos de cocción, así como los niveles de emisión de flúor y boro de los focos que evacuan gases procedentes de procesos de atomizado.

5.1.2. Control de la emisión de contaminantes por focos canalizados

Deberá notificar al organismo competente, una vez al año, los datos sobre las emisiones al aire de la instalación, mediante el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, cumpliendo con el Reglamento (CE) 166/2006 E-PRTR

5.1.2.1. Sistemas de depuración de partículas

Deberán disponer de sistemas correctores de depuración de partículas, al menos, los focos que evacuen corrientes de gases provenientes de atomizadores y aspiraciones de material pulverulento. Asimismo, dispondrán también de dichos sistemas correctores los focos asociados a los hornos de cocción, siempre y cuando sean necesarios para el cumplimiento de los límites de emisión de partículas establecidos por esta resolución.

El correcto funcionamiento de estos sistemas correctores se asegurará mediante el control y registro en continuo de, al menos, un parámetro de operación del sistema, a opción de la empresa entre los técnicamente reconocidos o fundamentados, como la pérdida de carga del sistema de depuración, la concentración de partículas en la corriente gaseosa, o cualquier otro debidamente justificado. La representatividad y calibración de dicho parámetro deberá ser verificada por entidades colaboradoras de la administración en materia de calidad ambiental y estar a disposición de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda.

5.1.2.2. Condiciones de toma de muestras y expresión de resultados

- Puntos de toma de muestra: Los focos canalizados, deberán tener la situación, disposición, dimensión y accesos correspondientes de acuerdo con la Orden de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial. En particular, las características y distribución de los focos emisores a la atmósfera será tal que garantice una correcta dispersión de los contaminantes emitidos. Más concretamente, su altura no solamente deberá cumplir lo establecido en la Orden 18 de octubre de 1976, sino que se recomienda que ésta sea tal que en una distancia equivalente a diez veces la altura del punto de vertido de un foco, no existan otras estructuras de altura superior a la del propio foco menos dos metros, que produzcan un apantallamiento, que dificulte la dispersión, justificando técnicamente la influencia del efecto down-wash (turbulencia o rebufo).
- Preferiblemente, la temperatura de los gases en el punto de muestreo será menor de 200°C.
- Las medidas se realizarán en condiciones normales de operación de las instalaciones, registrando los parámetros que las determinen, y cubrirán todas las diferentes tipologías o grupos de productos que se fabriquen en cada instalación.
- Las concentraciones medidas siempre estarán referidas a condiciones normales de presión y temperatura (101,3 kPa, 273,16 K), para los gases de combustión en base seca y un contenido de oxígeno del 18% de O₂.
- Las medidas de flúor se realizarán con sondas de material resistente al ataque ácido, acordes con la norma ISO 15.713:2006.

5.1.3. Control de la emisión de partículas por fuentes difusas

En las AAI se mencionan varias medidas para evitar la emisión difusa de polvo. A continuación se resumen las medidas exigidas en todas las AAI revisadas para la redacción de esta guía:

5.1.3.1. Almacenamiento y manipulación de materiales pulverulentos

El almacenamiento y manipulación de materiales pulverulentos se realizará en las siguientes condiciones:

- Cerramiento de todos los sistemas de transporte de materias primas pulverulentas (cintas transportadoras, cangilones, etc.).
- Todas las operaciones indicadas a continuación se llevarán a cabo en naves cerradas dotadas de sistemas de aspiración con depuración posterior:
 - Operaciones de carga y trituración de materias primas a granel.
 - Operaciones de carga y descarga de gránulo atomizado.
 - Operaciones de almacenamiento del material pulverulento recuperado en los sistemas correctores de materiales molidos y de finos.
- Todas las operaciones de almacenamiento y manipulación de materiales pulverulentos entrantes en el complejo deberán realizarse en naves cerradas y en depresión.

En el plazo máximo de un año desde la obtención de la AAI, la empresa deberá presentar un Plan de Adaptación para su aprobación por parte del órgano medioambiental competente. La fecha límite para la ejecución de dicho plan será la primera renovación o modificación sustancial de la AAI de la instalación. No obstante, hasta la completa implantación del Plan de Adaptación se exigirá para el desarrollo de operaciones a cielo abierto el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- Se dispondrá de un sistema de control y seguimiento del correcto funcionamiento de las medidas correctoras, que consistirá en un plan de medida de la concentración de partículas en el aire ambiente en el entorno de la instalación. Este sistema deberá desarrollarse de acuerdo con los criterios fijados por la Dirección para el Cambio Climático y precisará de su aprobación.
- Mantener constantemente humedecida la superficie del material acopiado al aire libre mediante un sistema de aspersores o equipos móviles de riego por pulverización que eviten encharcamientos. Como medida de control se deberá disponer de un sistema de registro de los caudales de agua empleados. Como alternativa, mientras los acopios no están siendo manipulados podrán ser cubiertos por lonas.
- El parque de almacenamiento estará distribuido en compartimentos o celdas formadas como mínimo por tres muros de contención. La altura de las celdas será siempre superior a la altura del acopio, al menos, en una distancia equivalente al 10% del lado mayor de su base. Asimismo, la zona de acceso a la celda deberá estar libre de material, al menos, en una distancia equivalente al 10% del ancho de acceso a la misma. Para facilitar el cumplimiento de estas restricciones se deberán marcar de forma clara en paredes y suelo las distancias mínimas establecidas, debiendo ser fácilmente medibles en todo momento.

La orientación del acceso a la celda estará preferiblemente a sotavento del viento predominante. Se podrá practicar el enterramiento parcial de las eras para incrementar la capacidad del acopio.

5.1.3.2. Transporte de materiales pulverulentos

El transporte de materiales pulverulentos se realizará en las siguientes condiciones:

- Reducción de la resuspensión de polvo debida a la circulación interna de vehículos. Para ello se pavimentarán los circuitos adecuados, se mantendrán limpias las zonas de circulación y se limitará la velocidad en las mismas.
- Control a la entrada y salida del complejo de que los camiones van cubiertos y cerrados para evitar derrames y reboses. No se permitirá el acceso o salida de la instalación a vehículos que no circulen cubiertos o cerrados.
- Se instalarán sistemas de limpieza vía húmeda para los bajos y neumáticos de los camiones a la salida de las empresas, empleando sistemas de presión cuando sea necesario. No se permitirá la salida de la instalación a los vehículos que no hayan procedido a limpiar los bajos y neumáticos en el sistema de vía húmeda correspondiente.

5.2. Ruido

Se adoptarán las medidas necesarias en la instalación para evitar que se transmitan al entorno niveles superiores a los establecidos en la Ley 7/ 2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de protección contra la contaminación acústica, y en el decreto 266/2004, de 3 de diciembre del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.

En particular, se cumplirán los límites sonoros externos establecidos para zonas de uso industrial, que son los siguientes:

TABLA 16. VALORES LÍMITE DE EMISIONES SONORA	
Diurno	Nocturno
70 dB(A)	60 dB(A)

Estos límites pueden ser diferentes si existe alguna ordenanza municipal más estricta.

Cada cinco años se deberá realizar una auditoría acústica, con objeto de comprobar que no se superan los niveles sonoros en los puntos donde se sitúa el receptor más cercano, es decir, en el perímetro de la instalación. Dicha auditoría deberá ser realizada por una entidad colaboradora en materia de contaminación acústica de acuerdo con lo establecido en el Decreto 229/2004, de 15 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen las funciones de las entidades colaboradoras en materia de calidad ambiental y se crea y regula su registro.

El titular deberá disponer del Libro de Control, que estará constituido por los certificados de los resultados obtenidos de las auditorías acústicas, y de los informes completos de las mismas.

5.3. Vertidos

Con respecto a los vertidos producidos por las industrias del sector cerámico, los requisitos que se piden por parte de las administraciones competentes son:

- Si existe vertido a Dominio Público Hidráulico, el titular debe presentar un proyecto de depuración y rellenar los modelos oficiales de solicitud y declaración de vertidos, emitiéndose un informe, por parte del Organismo de cuenca, que recoge todo el condicionado habitual de una autorización de vertido, tal como se establece en el artículo 251 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Si el titular alega ausencia de vertido por acumulación en depósito impermeable y posterior retirada por gestor autorizado, se exige que se demuestre tal ausencia de vertido presentado:
 - Certificación de la impermeabilidad y estanqueidad de las balsas o depósitos de almacenamiento de aguas residuales.
 - Cálculo justificativo de sus dimensiones y características de los materiales con los que se han construido las mismas.
 - Justificación del volumen anual y caudales generados. Acorde con dichos volúmenes cálculo justificativo de las dimensiones del depósito o balsa de acumulación y régimen de evacuación.
 - Medidas de control y de emergencia, respecto de los vertidos accidentales.
- Si el titular alega ausencia de vertido por recirculación de las aguas residuales, se exige que se demuestre tal ausencia de vertido presentado:

- Justificación de la reutilización total del agua (vertido cero), con descripción de la línea de agua de la instalación industrial y destino del lodo residual industrial teniendo en cuenta los procesos fabriles y las instalaciones de depuración disponibles.
 - Memoria técnica descriptiva de las instalaciones de depuración necesarias para la reutilización total de las aguas residuales, con justificación de los volúmenes y caudales a procesar, así como reducción de los parámetros contaminantes presentes en el agua residual, que posibilite la reutilización de las mismas.
 - Justificación del destino de las aguas residuales una vez agotadas en el proceso de recirculación.
 - Medidas de control y de emergencia, respecto de los vertidos accidentales.
 - Si las aguas residuales están conectadas a una red de alcantarillado se exige que se presente, certificado de conexión de los vertidos de aguas residuales emitido por el titular de la red de saneamiento, así como informe extendido por el Ente encargado de la gestión de la depuradora de destino, en el cual se pronuncie expresamente de manera favorable a la conexión del vertido de la citada actividad, con indicación expresa de que dichos vertidos son compatibles con el cumplimiento de los VLE fijados en la autorización de vertido de la depuradora, tanto desde el punto de vista del volumen como por calidad del influente, advirtiendo al titular que la línea o líneas de agua de la actividad, susceptibles de generar vertidos de aguas residuales, no dispondrán de ningún sistema de alivio capaz de generar vertido continuo o discontinuo, ni directo o indirecto a Dominio Público Hidráulico.
- Con respecto a las aguas pluviales se pide que:
- Si las aguas pluviales no están contaminadas, el titular deberá justificarlo aclarando la procedencia de las mismas, el sistema de recogida y la existencia o no de acopios o cualquier otro elemento susceptible de contaminar dichas aguas, recordando que, en cualquier caso las instalaciones se mantendrán limpias, libres de cualquier tipo de residuos, en particular de restos de grasas y aceites, y sin acopios a la intemperie de forma que no se pueda producir la contaminación de las aguas pluviales, las cuales serán recogidas y eliminadas por sistemas que aseguren la no alteración de sus características cualitativas y la inocuidad de su vertido al Dominio Público Hidráulico, en su caso.
 - Si las aguas pluviales están contaminadas, el titular deberá justificar el sistema de recogida y de depuración. Particularmente, en el caso de que existan acopios de materiales susceptibles de contaminar las aguas pluviales, deberá optar por alguna de las siguientes opciones:
 - Techar todos los acopios existentes.
 - Ejecutar una balsa de recogida de aguas pluviales, con capacidad de almacenamiento de al menos el tiempo de concentración de la cuenca vertiente más cinco minutos de resguardo, y periodo de retorno de al menos 25 años.
 - Cualquier otro sistema que asegure la inocuidad del vertido de aguas pluviales al Dominio Público Hidráulico, debiendo presentar la documentación que lo justifique.

5.4. Protección del suelo y de las aguas subterráneas

Para asegurar la protección del suelo y las aguas subterráneas, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 102 del R.D. legislativo 1/2001, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, siempre que haya un vertido susceptible de contaminar las aguas subterráneas, es necesaria la presentación de un estudio hidrogeológico que demuestre la inocuidad del vertido.

No se podrán ejecutar pozos, zanjas, galerías o cualquier otro dispositivo destinado a facilitar la absorción de las aguas residuales por el terreno.

En los casos en los que no exista vertido, para asegurar la protección del suelo y las aguas, tal y como se recoge en el apartado anterior, se exige la certificación de la impermeabilización de balsas y depósitos de almacenamiento de aguas residuales y el mantenimiento de estas condiciones por parte del titular, así como las medidas de control y de emergencia en caso de vertidos accidentales.

Además, y en cualquier caso, se recuerda que de acuerdo con el artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio), «queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa», incoándose, en su caso, expediente sancionador por infracción tipificada en la letra f) del artículo 116.3 de la citada ley.

Se estará a lo dispuesto en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

En este sentido, la empresa tendrá cumplimentado el informe preliminar de situación del suelo de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.1 del citado Real Decreto 9/2005.

5.5. Procedimientos y métodos de gestión de residuos

En las AAI se especifica que las actividades desarrolladas por estas empresas están sujetas a los requisitos establecidos en la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, en la Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunitat Valenciana, y en el Real Decreto 833/1988 de 20 de julio, sobre el reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, modificado por el Real Decreto 952/1997.

5.5.1 Producción de residuos

Las empresas serán inscritas en el Registro de Pequeños Productores de Residuos de Productos Peligrosos o en el Registro General de Productores Autorizados de Residuos de la Comunitat Valenciana, según el caso.

En algunos casos se especifican los tipos de residuos que se generarán, la etapa donde se producirán, la cantidad al año que se generará y su codificación correspondiente.

5.5.2 Gestión de residuos

Del mismo modo que en el apartado anterior, si la empresa tiene autorización para gestionar algún tipo de residuo se especifica, su código LER y la cantidad.

Asimismo se especifican las medidas que se han de aplicar para un correcto almacenamiento y etiquetado de todos los residuos generados.

5.6. Sistemas y procedimientos para el tratamiento de emisiones y residuos, con especificación de la metodología de precisión, su frecuencia y los procedimientos para evaluar las mediciones

5.6.1. Control de residuos

Los residuos podrán ser almacenados durante un periodo igual o inferior a seis meses, en el caso de peligrosos, y en el caso de residuos no peligrosos podrán almacenarse por un periodo de un año, cuando el destino final sea la eliminación, y de dos años cuando su destino final sea la valorización, debiendo ser entregados a gestor autorizado transcurrido ese periodo. Este almacenamiento temporal de residuos peligrosos se realizará segregado por tipo de residuo, deberá estar convenientemente señalizado y se realizará en lugar techado,

con suelo impermeable y sistemas de recogida de derrames accidentales, tales como arqueta ciega no conectada a la red de alcantarillado y bandejas de recogida. Asimismo la zona de almacenamiento deberá estar incluida en el sistema general de protección contra incendios de la industria.

Para el almacenamiento de residuos líquidos o que por su alto contenido líquido puedan generar vertidos, se contará con cubetos o recipientes de recogida de posibles derrames, que deben tener como mínimo el volumen del envase de mayor tamaño o el 10% del total (la mayor de ambas cantidades). Los cubetos deberán ser individuales para cada tipo de residuos cuya mezcla, en caso de derrame, suponga un aumento de su peligrosidad o dificulte su gestión.

Para la recogida de posibles fugas o derrames accidentales de líquidos, tanto de residuos como de materias primas, deberán disponer de material absorbente no inflamable en cantidad suficiente para tal fin. El absorbente una vez contaminado se gestionará como residuo peligroso o no peligroso, según corresponda.

El envasado y etiquetado de los residuos será conforme a lo expuesto en los artículos 13 y 14 del Real Decreto 833/1988, Reglamento de Residuos Tóxicos y Peligrosos. Asimismo dispondrá de un registro donde conste la cantidad, naturaleza, identificación, origen y fecha de generación y entrega a gestor autorizado, así como el número de documento de control y seguimiento utilizado, en su caso, y el gestor al que se entrega el residuo.

Entregará los residuos peligrosos y los no peligrosos a gestores que dispongan de la correspondiente autorización administrativa para la gestión de estos residuos.

Cada cuatro años se deberá elaborar un plan de Prevención y Reducción de Residuos Peligrosos que se presentará en la Dirección General para el Cambio Climático.

Anualmente cumplimentará la declaración anual de productor de residuos peligrosos y no peligrosos, que será remitida a la Dirección General para el Cambio Climático antes del 1 de marzo de cada año, de acuerdo con el modelo establecido en el Anexo 3 del Real Decreto 833/1988.

En cuanto a la actividad de gestión de residuos no peligrosos, la empresa llevará un Registro documental en el que figuren cantidad, naturaleza, origen y destino de los residuos gestionados. Dicho registro será remitido a la Dirección General para el Cambio Climático antes del 1 de marzo de cada año.

Cualquier modificación relacionada con la producción de residuos peligrosos que implique un cambio en su caracterización, producción de nuevos residuos y/o cambios significativos en las cantidades habituales generadas de los mismos que pueda alterar lo establecido en las presentes condiciones, deberá ser comunicada.

Los requisitos establecidos en la legislación vigente en materia de envases y residuos de envases, y de manera especial lo establecido en el Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se desarrolla el Reglamento para el desarrollo de la Ley 11/1997, de Envases y Residuos de Envases, no quedan derogados por la Ley 16/2002, por lo que la concesión de la Autorización Ambiental Integrada no exime de su cumplimiento.

5.7. Medidas a adoptar en situaciones distintas de las normales que puedan afectar al medio ambiente

Se llevarán a cabo todas las medidas necesarias para que quede garantizada la protección del medio ambiente y salud de las personas ante cualquier situación fuera de la normalidad, en cuanto al funcionamiento de las instalaciones.

En caso de rotura de alguna manga de los filtros instalados, se detendrá la instalación y se procederá a la sustitución de la manga del filtro por una manga nueva y en perfecto estado.

Asimismo, cuando se determine el cese de alguna de las instalaciones, se procederá al desmantelamiento de las mismas, de acuerdo a la normativa vigente, de forma que el terreno quede en las mismas condiciones que antes de iniciar dicha actividad y no se produzca ningún daño sobre el suelo y su entorno.

5.8. Otras condiciones

Se estará a lo dispuesto en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

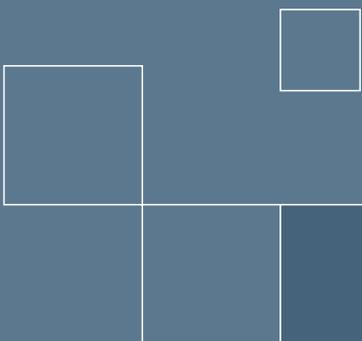
La industria y sus instalaciones se ajustarán a las condiciones indicadas en el proyecto técnico en los aspectos no fijados en esta resolución.

Se cumplirán todas las disposiciones aplicables para garantizar la seguridad, la salud de las personas y el medio ambiente.

Se comprobará en el control inicial que se han realizado las medidas previstas en el proyecto.

5.9. Obligación de suministro de información

Antes del 1 de marzo de cada año deberá notificar a la Dirección General para el Cambio Climático de acuerdo con el artículo 8.3 de la Ley 16/2002, los datos sobre las emisiones de la instalación relativos al año anterior, específicamente los que figuran en el artículo 3 del Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento EPER-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.



6

ANÁLISIS DE LAS
TECNOLOGÍAS DE
PROCESOS MÁS
IMPLANTADAS

6. ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE PROCESO MÁS IMPLANTADAS

En el presente apartado se evalúan cada una de las tecnologías de proceso disponibles en cada etapa de fabricación de baldosas cerámicas mencionadas en los apartados anteriores. Para ello, se han analizado las ventajas e inconvenientes de la aplicación de las mismas a partir de los siguientes criterios: medioambientales, tecnológicos y económicos.

6.1. Molturación

Cuando se habla de molienda de sólidos, se entiende toda una serie de operaciones tendentes a la reducción de las dimensiones de los materiales, que va desde la pre-trituración gruesa hasta una pulverización extrema. La molienda no pretende solamente obtener pequeñas partículas de un tamaño de partida aproximado, sino más bien de producir un material con un determinado diámetro medio de partícula y una distribución granulométrica adecuada para el producto que se quiere obtener.

6.1.1. Molturación por vía seca / humectación

Descripción de la tecnología

En general, los objetivos finales del proceso de reducción de las dimensiones de los sólidos son varios, pero se puede considerar que el aumento de la superficie específica de los materiales permite conseguir una elevada homogeneidad de la masa y, además la obtención, a continuación, de las reacciones químicas más completas en tiempos breves.

El material resultante del proceso de la molturación presenta unas características diferentes si se efectúa por vía seca o por vía húmeda. En líneas generales podemos decir que, se elige la molienda en húmedo para obtener una mayor reducción granulométrica de los materiales que componen la mezcla y para una mejor homogenización, mientras que la tecnología de molienda en seco puede utilizarse cuando se trata de materias primas muy homogéneas desde un punto de vista morfológico y de dureza, o cuando se deben elaborar materiales de calidad no excesivamente elevada o productos de bicocción en general.

La molturación vía seca, es más habitual en el caso de los productos de "cerámica estructural". Ésta se realiza mediante molinos de martillos o pendulares, con el fin de reducir las dimensiones de los materiales arcillosos y de las impurezas. A continuación, se pasa a la etapa de mezclado y humectación, cuyo objetivo es reunir elementos de diferentes características para formar una única pieza que sea en todo momento homogénea.

En la molturación por vía seca, se produce una fragmentación del material, manteniéndose tanto los agregados como los aglomerados de partículas, siendo el tamaño de la partícula resultante (existen partículas superiores a 300 μm) superior al obtenido por vía húmeda (todas las partículas son inferiores a 200 μm). Al elegir el tipo de molturación a emplear, un factor decisivo lo constituye el coste de inversión a realizar en cada caso.



Figura 6. Molino de martillos.

Ventajas e inconvenientes

■ Ventajas

- Bajo consumo de agua.
- Bajo consumo de energía.
- Baja inversión económica.
- Simplicidad del sistema.

■ Inconvenientes

- Tamaño de la partícula relativamente grande (existen partículas mayores de 300 μm), lo que implica tener limitaciones en el producto acabado (limitaciones en el conformado de piezas de grandes dimensiones, debido a la disminución de la resistencia mecánica).
- Baja fluidez, lo que implica dificultad en el llenado de los moldes de prensas y por tanto, limita el conformado por prensado de piezas de grandes dimensiones.
- Dificultad en el desarrollo de las siguientes etapas de fabricación.

Emisiones atmosféricas

Las emisiones que se generan en la etapa de molienda son mayoritariamente de material particulado, tanto por focos canalizados como difusos:

- Emisiones canalizadas de partículas recogidas por los sistemas de aspiración, situados en el interior de la planta procedente de las trituradoras y de la manipulación del material seco.
- Emisiones difusas generadas por las actividades de almacenamiento, transporte, trituración y manipulación de las materias primas.

Según los documentos de referencia de las Mejores Técnicas Disponibles (BREF) de cerámica, las características de las emisiones canalizadas en dicha etapa son:

TABLA 17. FACTOR DE EMISIÓN EN LA MOLTURACIÓN POR VÍA SECA			
Operación	Caudal específico (Nm ³ /kg)	Partículas (g/kg)	
		Sin depurar	Depurado
Molienda por vía seca	6	40 - 60	0,05 - 0,1

Estos factores dependen del diseño de la instalación y de los equipos auxiliares presentes, como por ejemplo las cintas neumáticas para el transporte interno del material.

El Valor Límite de Emisión (VLE) para esta etapa de proceso, según el contenido de las últimas Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI) concedidas a empresas fabricantes de baldosas cerámicas ubicadas en la Comunitat Valenciana, es de 30 mg/Nm³.

El sistema de depuración habitual para esta etapa de proceso son los filtros de mangas, por los elevados rendimientos alcanzados.

Consumo de agua

El consumo de agua en la molturación por vía seca depende del tipo de materia prima y del tipo de proceso de fabricación necesario para obtener las propiedades del producto deseado. En la molturación por vía seca el consumo de agua es el necesario para humectar la composición hasta un 7-12% en base seca.

Costes

El coste de operación en el caso de la molturación vía seca depende principalmente del consumo eléctrico de la maquinaria empleada (trituradores de mandíbulas, molinos de martillos y pendulares, cintas transportadoras, etc). El Consumo de la energía eléctrica durante la molturación por vía seca es aproximadamente de 0,04-0,07 GJ/t [2].

Si se comparan los costes asociados a la molturación vía húmeda (proceso alternativo), la molturación vía seca requiere una menor inversión económica y menores costes de operación y de mantenimiento, pero para determinados formatos de productos se puede generar más residuos en las etapas posteriores, puesto que las características del material particulado puede afectar a la calidad final del producto.

Destacar que en algunas de las empresas que realizan molturación por vía seca, utilizan el calor del sol para secar las materias primas, por lo que no requieren ningún consumo energético adicional, al contrario que la molturación por vía húmeda.

Grado de implantación

El grado de implantación de la molturación por vía seca es muy escaso. En la Comunitat Valenciana la molturación por vía seca se lleva a cabo sólo en dos instalaciones, el resto realizan la molturación por vía húmeda.

Es una forma de trabajo que se va quedando obsoleta en la fabricación de baldosas, pues el producto que se obtiene de este proceso puede dificultar el desarrollo de las siguientes etapas de fabricación y limitar las dimensiones del producto acabado. No obstante, sí es un proceso ampliamente extendido en la fabricación de cerámica estructural (ladrillos y tejas principalmente).

6.1.2. Molturación por vía húmeda y secado por atomización

Descripción de la tecnología

En el sector de fabricación de baldosas de Castellón la molturación por vía húmeda es el proceso de molturación más común y mayormente implantado.

En este proceso, las arcillas se introducen total o parcialmente en trituradoras de mandíbulas, y posteriormente se le añade agua. Esta composición se moltura en molinos de bolas o se deslíe directamente. A la suspensión resultante (barbotina) se le elimina parte del agua que contiene, hasta alcanzar el contenido en humedad requerido (secado por atomización).

En el secado por atomización, la barbotina es pulverizada en finas gotas y entra en contacto con una corriente de aire caliente para obtener un producto sólido granular de bajo contenido en agua. El tiempo de contacto entre la suspensión pulverizada y el gas caliente (proveniente de un quemador convencional o de los gases de escape de una turbina de cogeneración) es pequeño, por lo que se produce una evaporación violenta del agua que contiene cada gota.

En líneas generales, los secaderos por atomización (atomizadores) se pueden subdividir en tres grandes categorías:

- **Centrífugos:** la suspensión se introduce en una boquilla en forma de disco, la cual gira a una determinada velocidad. La fuerza centrífuga es la encargada de pulverizar la suspensión.
- **Neumáticos:** en la boquilla se inyecta la suspensión junto con aire a presión. Este aire consigue pulverizar la suspensión.
- **De presión:** En estos tipos de boquilla, la diferencia de presión entre la salida de la boquilla y su interior se encarga de realizar la pulverización.

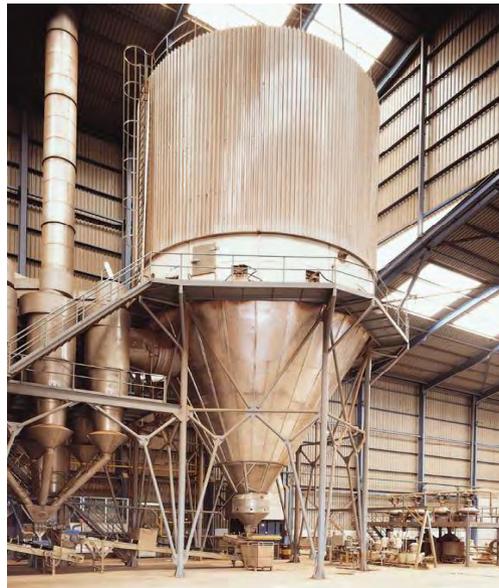


Figura 7. Vista de un atomizador. [1]

Otra clasificación puede ser en función del tipo de circulación de aire de secado.

- Tipo co-corriente descendente (suspensión y aire de secado en la misma dirección).
- Tipo co-corriente ascendente.
- Tipo contracorriente, aire ascendente (suspensión y aire de secado en diferente dirección).

De lo expuesto anteriormente, se observa que desde el punto de vista puramente tecnológico no existe ninguna cuestión de competitividad o dualismo entre la vía seca y la vía húmeda, sino que deben ser considerados planteamientos alternativos. Si las materias primas se eligen adecuadamente, teniendo en cuenta debidamente las características técnicas de los productos que se quieren obtener, existe simplemente una selección obligatoria, sin alternativa.

Los factores que condicionan la selección de los diferentes procesos (molienda en seco o húmedo) son:

- Características técnicas del producto acabado.
- Tipo de materia prima.
- Proporciones de los componentes complementarios.
- Características morfológicas de las materias primas disponibles.
- Coste del producto acabado.
- Inversión global.

Ventajas e inconvenientes

- Ventajas
 - Se obtiene un tamaño pequeño de las partículas (menores de $200\ \mu\text{m}$), lo que implica una menor probabilidad de defectos asociados a impurezas de gran tamaño.

- Favorece los fenómenos de transferencia energética y materia, disminuyendo el tiempo y la cantidad de energía necesaria para el secado de la suspensión.
 - A menor tamaño de la partícula, la superficie específica es mayor, lo que permite conseguir una mayor homogeneidad de la masa y la obtención de reacciones químicas más completas en tiempos breves.
 - Favorece el desarrollo de las siguientes etapas del proceso de fabricación.
 - Aumenta la fluidez, facilitando el llenado de los moldes de prensas y prensado de piezas de gran formato.
 - Aumenta la resistencia mecánica del producto acabado.
 - Pueden instalarse sistemas de cogeneración para aumentar la eficiencia energética.
 - Posibilidad de reciclar los fangos generados en otras etapas de proceso (como limpieza de las líneas de esmaltado), introduciéndolos en el proceso de molienda previo al secado por atomización.
- Inconvenientes
- Consumo de agua.
 - Consumo de energía térmica (gas natural) para el secado por atomización.
 - Aumento del coste energético, aunque pueden instalarse sistemas de cogeneración.
 - Elevada inversión económica inicial.
 - Operaciones de funcionamiento limitadas por las características geométricas y constructivas de la instalación.

Emisiones atmosféricas

Los procesos que dan lugar a las emisiones son:

- Emisiones difusas generadas en las operaciones de almacenamiento, transporte y manipulación de las materias primas en las eras.
- Sistemas de aspiración del ambiente interno del trabajo y de otros puntos, como por ejemplo, carga y descarga de molinos.
- Foco del propio proceso de atomización.

Según el documento de referencia de las Mejores Técnicas Disponibles (BREF) de cerámica, las características de las emisiones canalizadas en dicha etapa son:

TABLA 18. FACTOR DE EMISIÓN ASOCIADOS A LA IMPLANTACIÓN DE MTD EN LA MOLTURACIÓN POR VÍA HÚMEDA			
Operación	Caudal específico (Nm ³ /kg)	Partículas (g/kg)	
		Sin depurar	Depurado
Molienda por vía húmeda	6	10-20	0,02-0,1
Secado por atomización	5	5-10	0,1-0,2

Las sustancias emitidas identificadas como presentes en las emisiones generadas en el proceso de secado por atomización, según las referencias bibliográficas consultadas [2], se detallan en la tabla 19.

TABLA 19. SUSTANCIAS EMITIDAS EN LA ETAPA DE MOLTURACIÓN POR VÍA HÚMEDA

Especie	Intervalo de variación
Partículas (mg/Nm ³)	150-1.500
B (mg/Nm ³)	< 0,3
Cl como HCl (mg/Nm ³)	1 - 5
Pb (mg/Nm ³)	< 0,15
NO _x como NO ₂ (mg/Nm ³)	5 - 300
CO (mg/Nm ³)	2 - 50
CO ₂ (%)	1,5 - 4

El boro, cloro y plomo presentes en las emisiones provienen principalmente de las aguas de limpieza y de los materiales reciclados en la preparación de la barbotina, cuya reutilización está muy extendida actualmente. La mayor parte de estos elementos quedan retenidos en los gránulos de atomizado y el resto, que es el que se detecta en las emisiones, se arrastra en parte con el agua que se evapora en el secado por atomización.

Los contenidos en NO_x son bajos porque la temperatura en el secado por atomización es relativamente baja y no se favorece la formación de este compuesto (temperatura de formación de NO_x mayor de 1.400°C).

El contenido del NO_x aumenta cuando los gases calientes utilizados en el atomizado proceden de una turbina de cogeneración, debido a que la formación del NO_x se favorece al producirse la reacción de combustión a mayor presión y temperatura que en los quemadores convencionales utilizados en el atomizador.

Los niveles de CO son bajos porque el combustible utilizado es gas natural y este combustible genera, en una combustión con exceso de aire, poco CO.

Los VLE incluidos en las AAI otorgadas en la Comunitat Valenciana para la fabricación de baldosas cerámicas son:

TABLA 20. VALORES LÍMITE DE EMISIÓN

Operación	Contaminante	Valor límite ⁽¹⁾
Sistemas de aspiración (incluye la molturación)	Partículas	30 mg/ Nm ³
Secado por atomización	Partículas	30 ⁽²⁾ mg/Nm ³ 50 ⁽³⁾ mg/ Nm ³
	NO _x (referido a NO ₂)	250 mg/Nm ³
	SO ₂	200 mg/Nm ³

⁽¹⁾ Las concentraciones medidas siempre están referidas a condiciones normales de presión y temperatura (101,3 kPa, 273,16 K), para los gases de combustión en base seca y un contenido en oxígeno del 18% de O₂.

⁽²⁾ Filtros de mangas.

⁽³⁾ Sistemas de depuración vía húmeda. Hasta el 30/10/2015, posteriormente, se exigirá 30 mg/Nm³.

Consumo de agua

El consumo de agua en la molturación por vía húmeda depende del tipo de materia prima y del tipo de proceso de fabricación que es necesario para obtener las propiedades del producto deseado. De forma general, el consumo de agua es el necesario para humectar la composición hasta el 42-50 % en base seca.

Es posible observar que el consumo de agua en la molturación por vía húmeda es aproximadamente cuatro veces mayor que en la molturación por vía seca, sin embargo, la cantidad de agua que puede reutilizarse en el mismo proceso de molturación es mayor en la molturación por vía húmeda que por vía seca.

Costes

El consumo de energía eléctrica en la molturación por vía húmeda es de 0,05-0,35 GJ/t, en este valor se incluyen los costes asociados al uso de martillos mandíbulas y de bolas, y el transporte interno mediante cintas neumáticas [2].

El consumo de energía térmica en el secado por atomización es de 980-2.200 KJ/kg [11].

El consumo de energía eléctrica en el secado por atomización es de 0,01-0,07 GJ/t [11].

Se hace necesario destacar la posibilidad de instalar sistemas de cogeneración, sistema que se describe brevemente en puntos posteriores y que supone un ahorro energético. No obstante, este ahorro dependerá de otros factores de proceso y económicos, como tipo de producción, coste de energía eléctrica, coste de gas natural, etc, que dependen de cada empresa.

Grado de implantación

El grado de implantación de la molienda por vía húmeda es muy amplio. Hay empresas de baldosas que incluyen en su proceso la etapa de preparación de materias primas; sin embargo, hay empresas que sólo se dedican a la molienda y venden la arcilla atomizada a aquellas que no poseen dicha etapa.

6.1.3. Sistemas de cogeneración

La cogeneración se define como la producción conjunta, en proceso secuencial, de electricidad (o energía mecánica) y energía térmica útil (habitualmente en forma de vapor o agua caliente).

Los sistemas de cogeneración se clasifican de forma general según el tipo de motor utilizado para generar energía eléctrica. De acuerdo con este criterio, las opciones de cogeneración son:

- Cogeneración con turbina de gas.
- Cogeneración con turbina de vapor.
- Cogeneración en un ciclo combinado.
- Cogeneración con motores alternativos.

La Cogeneración puede aplicarse en cualquier tipo de instalación que requiera elevada energía térmica durante largos periodos de tiempo (más de 5.000 horas/año) o en aquellos casos donde se produzcan gases residuales de combustión o energía térmica en suficientes cantidades.

Algunos sectores incluidos dentro de esta casuística podrían ser:

- Sector químico.
- Sector petroquímico.
- Sector papelerero.
- Alimentación.
- Textil.
- Sector cerámico.
- Industria del motor.
- Industria maderera.

Ventajas e inconvenientes

■ Ventajas

- Ahorro económico, como consecuencia del menor coste de la electricidad autoconsumida y el beneficio adicional por la venta.
- Mayor garantía de suministro. Ante un posible fallo de la red, puede seguir suministrando electricidad al menos a los equipos considerados como críticos.
- Ahorro de energía primaria, consecuencia, en los ciclos de cabecera, del aprovechamiento de la energía residual de la cogeneración, y en los ciclos de cola, de la producción de energía eléctrica.
- Mayor diversificación energética, porque permite aprovechar calores residuales y combustibles derivados del proceso.
- Disminución de la contaminación. Es el resultado del menor consumo global del combustible, como consecuencia del mejor aprovechamiento de la energía en la generación de electricidad, al no disiparse directamente en el ambiente grandes cantidades de calor.
- La implantación de sistemas de cogeneración reduce la necesidad de construir nuevas plantas eléctricas, debido al incremento de la capacidad de producción de electricidad.

■ Inconvenientes

- Inversión adicional elevada.
- Su instalación supone mayor carga de gestión.
- Alto riesgo, debido al desconocimiento de la evolución de los precios de la electricidad y los combustibles.
- Para los ciclos de cabecera, hay un aumento de la contaminación local, como consecuencia del mayor consumo de combustible en la propia factoría.
- Se hace necesaria una regulación adecuada para normalizar y resolver los posibles puntos conflictivos que pueden presentarse en las relaciones cogenerador-compañía eléctrica.
- Se requiere una infraestructura adecuada para el correcto funcionamiento de las instalaciones.

TABLA 21. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE DIFERENTES SISTEMAS DE COGENERACIÓN [15]

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
Turbina de gas	<ul style="list-style-type: none"> □ Amplio rango de aplicaciones □ Elevada fiabilidad □ Elevadas temperaturas de energía térmica □ Rango de 0,5-100 MW □ Gases con alto contenido en oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> □ Limitaciones en tipos de combustible □ Tiempo de vida relativamente corto
Turbina de vapor	<ul style="list-style-type: none"> □ Eficiencia global elevada □ Elevada seguridad □ Puede usarse todo tipo de combustible □ Tiempo de vida elevado □ Amplio rango de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> □ Bajo ratio electricidad-calor □ No puede alcanzarse elevada potencia eléctrica □ Costes elevados □ Arranque lento
Motores alternativos	<ul style="list-style-type: none"> □ Elevado ratio electricidad-calor □ Elevada eficiencia eléctrica □ Bajo coste □ Larga vida útil □ Puede adaptarse a variaciones en la demanda 	<ul style="list-style-type: none"> □ Elevados costes de mantenimiento □ Energía térmica dispersa y bajas temperaturas

Emisiones atmosféricas

En la tabla 22, se muestran las emisiones generadas por un sistema convencional y por un sistema de cogeneración, en la que se observa que el efecto invernadero asociado a la emisión de CO₂, se realiza de forma notable variando según la combustión realizada.

Combustible	Convencional	Cogeneración
Carbón (CO ₂ /kWh)	1	0,5
Fuel Oil (CO ₂ /kWh)	0,7	0,35
Gas Natural (CO ₂ /kWh)	0,5	0,25

Rentabilidad energética

En la tabla 23 se muestran los ahorros típicos para los sistemas de cogeneración, en la cual se ha tomado por simplicidad un consumo de energía primaria de 100 kwh en todos los casos.

Sistema		Energía producida	Cogeneración		Convencional		Ahorro de energía primaria %
			Eficiencia global	Consumo de energía primaria kwh	Eficiencia global	Consumo de energía primaria kwh	
Turbina de gas	Electricidad	26,5			0,33	80,3	
	Calor	54,4			0,93	58,5	
	Total	80,9	81%	100		138,8	28%
Turbina de gas con post-combustión	Electricidad	17			0,33	51,5	
	Calor	69,7			0,93	74,9	
	Total	86,7	87%	100		126,4	21%
Turbina de vapor	Electricidad	15			0,33	45,5	
	Calor	75			0,93	80,6	
	Total	90	90%	100		126,1	21%
Motores alternativos	Electricidad	36			0,33	109	
	Calor	34			0,93	36,6	
	Total	70	70%	100		145,6	31%

6.2. Prensado

El proceso de conformado más habitual y con mayor grado de implantación en la fabricación de baldosas cerámicas, es el prensado mediante prensas oleodinámicas, por tanto, en este apartado únicamente se detallarán las concentraciones emitidas en esta etapa, excluyendo los apartados de ventajas e inconvenientes, costes económicos y grados de implantación de esta tecnología.

Las emisiones procedentes de la aspiración de esta sección, se pueden atribuir a:

- Transporte de las materias primas, desde los silos de reposo a la alimentación de prensas.
- Operación de prensado (alimentación del carro, llenado de moldes, etc).
- Cepillado de la pieza conformada.

En cada una de estas fases, se deben instalar sistemas de aspiración que aseguren una captación adecuada de las partículas, que es el principal contaminante de esta etapa.

Evidentemente, las características químicas del polvo recogido son las de las materias primas empleadas, ya que no ha tenido lugar ningún tipo de transformación.

Según el BREF, las características de las emisiones canalizadas generadas en esta etapa son:

Operación	Caudal específico (Nm ³ /kg)	Partículas (g/kg)	
		Sin depurar	Depurado
Prensado	5	5-10	0,01-0,05

El VLE establecido en las AAI de la Comunitat Valenciana para la fabricación de baldosas es 30 mg/Nm³ de partículas.

6.3. Secado

Descripción de la tecnología

Una vez se ha conformado el soporte de la baldosa cerámica, es necesario realizar el secado de la pieza, de esta forma se consigue reducir el contenido en humedad e incrementar la temperatura de las piezas lo suficiente, para que la operación posterior de esmaltado y/o cocción se desarrolle adecuadamente.

En el caso del secado de baldosas cerámicas, éste se realiza en secaderos verticales u horizontales. Las piezas se introducen en el interior del secadero, donde se ponen en contacto con gases calientes en contracorriente aportados por un quemador o por gases calientes procedentes de la chimenea de enfriamiento del horno o de un sistema de cogeneración.

Un secado correcto requiere una cuidadosa evaluación de los parámetros termo-higrométricos del proceso y una correcta formulación de la pasta. Estas condiciones se traducen en una limitación de la contracción para contener las deformaciones y en conferir al objeto la resistencia mecánica adecuada para resistir las tensiones de secado y permitir la manipulación en las siguientes fases.

Aunque los principios tecnológicos básicos inherentes al secado son equivalentes entre un secadero vertical y uno horizontal, al ser diferentes los ciclos, varían notablemente los tiempos en los cuales las tensiones (contracción, aumento de la resistencia mecánica, etc.) se desarrollan. Por lo tanto, las condiciones de trabajo de la máquina y las condiciones físicas del aire (temperatura máxima, velocidad, volumen y estado higrométrico) deben ser necesariamente diferentes para los dos tipos de secaderos, tal y como se indica a continuación.

6.3.1. Secadero vertical

Un secadero vertical se compone esencialmente de un armazón vertical, dentro del cual se desplazan, arrastradas por dos cadenas, las cestas compuestas por diferentes planos de rodillos o bastidores donde se sitúan las baldosas a secar. Las baldosas se cargan automáticamente sobre los planos de las cestas mediante la rotación de los rodillos que las componen. El secado se realiza por un flujo de aire caliente generado por quemadores de gas natural que, aprovechando el intercambio de calor por convección con las baldosas, permite obtener un producto adecuado para las siguientes fases de elaboración con baja humedad, buena resistencia mecánica y determinados valores de temperatura. Normalmente, los ciclos de los secaderos verticales son de 35-60 minutos, con una temperatura inferior de 200°C, sin embargo, la duración depende del tipo de composición, de la dimensión y del espesor de las piezas.



Figura 8. Secadero vertical.

6.3.2. Secadero horizontal

Los secaderos horizontales se componen de estructuras metálicas modulares completas de paneles aislantes y tuberías externas aisladas, utilizadas para la recirculación del aire. Las piezas recorren la longitud del secadero sobre planos de rodillos de velocidad regulable. La máquina está constituida por módulos iguales e independientes desde el punto de vista de las condiciones termo-higrométricas y del caudal de aire de ventilación. Cada zona está equipada con sus propios generadores de aire caliente. Normalmente, el módulo final del secadero está diseñado con vistas a estabilizar la temperatura de las piezas a la salida del mismo. Los ciclos de los secaderos horizontales son mucho más rápidos, de 15 a 25 minutos, con una temperatura de alrededor de los 350°C, sin embargo, la duración, al igual que en los secaderos verticales, depende del tipo de composición, de la dimensión y del espesor de las piezas.



Figura 9. Secadero horizontal.

Ventajas e inconvenientes

■ Ventajas del secadero vertical

- Apropiado para incorporar en líneas automáticas para la fabricación de baldosas.
- Diseñado para realizar ciclos compatibles con productos delicados, ya que permite controlar el calentamiento gradual.
- El recorrido de las cestas por raíles asegura siempre su posicionamiento correcto.
- Elevado espesor del material aislante de los paneles termoaislantes, reduciendo al mínimo la dispersión térmica.
- Poco espacio requerido (aunque se necesita una determinada altura de la planta).
- Elevada inercia térmica que mantiene constante la temperatura de las piezas a la salida del secadero.

■ Ventajas del secadero horizontal

- Ciclos muy rápidos, de 15 a 25 minutos a unos 350 °C.
- Calentamiento y extracción de vapor homogéneo de la pieza.
- Permite trabajar con variaciones de humedad relativa, sobre todo durante ciclos de arranque y parada, debido a que la humedad no desempeña un papel fundamental en las piezas con humedad del 5-7% o más bajos.
- Velocidad regulable.

■ Inconvenientes del secadero vertical

- Ciclo largo del secadero 35-60 min a 200°C aproximadamente.
- Requiere más altura de nave industrial.

■ Inconvenientes del secadero horizontal

- Secado más rápido, disminuye la resistencia mecánica de las piezas.
- Requerimientos de mayor superficie de nave industrial.

Emisiones atmosféricas

En la etapa de secado, utilizando tanto secaderos verticales como horizontales, la pieza ya conformada se somete a un proceso para eliminar parte del agua que contiene, además de aumentar su temperatura. En base a esto, teóricamente las emisiones de esta fase deberían ser muy bajas.

Las emisiones constan de vapor de agua, procedente del secado de las piezas, y polvo, que se puede originar por rotura de las piezas en el interior del secadero, o por un cepillado incorrecto en la etapa previa al secado.

Las características de las partículas presentes en estas emisiones son, por tanto, análogas a las materias primas, ya que todavía no se ha realizado ninguna transformación en la pieza conformada. Dicha corriente de gases es recogida por sistemas de aspiración, que pueden tener incluidos sistemas de depuración de partículas y gases.

Según el BREF, en la etapa de secado, con buenas prácticas se pueden alcanzar valores de emisión de partículas entre 1-20 mg/Nm³ en los secaderos, sin especificar si se trata de secaderos horizontales o verticales. Las principales características de las emisiones en dicha etapa son:

TABLA 25. EMISIONES GENERADAS POR SECADEROS [5]	
Especie	Intervalo de variación
Partículas (mg/Nm ³)	5 - 25
CO ₂ (%)	1 - 3
O ₂ (%)	16 - 20

La concentración de CO₂ es muy baja, debido al elevado exceso de aire con que se trabaja en estas instalaciones y al tipo de combustible empleado (gas natural). Este hecho junto con las bajas temperaturas a las que se trabaja habitualmente en estas instalaciones (< 300°C) hace que la formación de NO_x durante la etapa de secado sea insignificante.

Los VLE recogidos en las AAI de la Comunitat Valenciana para la fabricación de baldosas, no diferencian entre secaderos verticales u horizontales. En la tabla 26 se detallan dichos VLE.

TABLA 26. VALORES LÍMITE DE EMISIÓN		
Operación	Contaminante	Valor límite
Secado (secaderos verticales y horizontales)	Partículas ⁽¹⁾	30 mg/Nm ³
	NO _x (referido a NO ₂)	250 mg/Nm ³
	SO ₂	200 mg/Nm ³

⁽¹⁾ Quedan excluidas de la medición de partículas los focos de presecado y secado de piezas cerámicas (crudas o cocidas) que utilizando como combustible gas natural o propano, en condiciones habituales de operación y sin utilizar ningún tipo de depuración, hayan obtenido una emisión inferior a 10 mg/Nm³ de partículas.

TABLA 27. CONDICIONES DE REFERENCIA PARA EXPRESAR LOS VLE	
Concentración (mg/Nm ³)	Condiciones normales y gases secos (273 K, 1013 hPa) En gases de combustión referir al 18% (en volumen) de oxígeno

Costes

Los costes asociados a la instalación de un secadero dependerán del tamaño requerido, y esto mismo depende de la producción de la empresa, del precio y consumo de los ventiladores y del motor de los rodillos, así como del precio de la electricidad y del gas natural.

El consumo de energía eléctrica en los secaderos verticales es de 9,76 kwh/t y de los secaderos horizontales es de 10,23 kwh/t, como valor medio aproximado.

El consumo de energía térmica en los secaderos verticales es de 107,04 kcal/kg y de los secaderos horizontales es de 108,67 kcal/kg, como valor medio aproximado.

Grado de implantación

Debido a que las características tecnológicas de los secaderos horizontales y verticales son muy similares, en la mayoría de los casos la elección depende de la disponibilidad de espacio, siendo por este motivo más extendida la implantación del secadero vertical.

6.4. Esmaltado y decoración

Las diferentes técnicas de esmaltado y decoración de mayor implantación actualmente en el sector de fabricación de baldosas cerámicas, se pueden dividir en dos grupos:

TABLA 28. PRINCIPALES TÉCNICAS DE ESMALTADO Y DECORACIÓN EN EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Técnicas de esmaltado	Esmaltado a cortina	Vela Campana
	Esmaltado mediante pulverización	Discos Aerógrafo
Decoración con tintas	Decoración en seco	Granillas Decoración en prensa
	Decoración con tintas	Serigrafía Huecograbado Flexografía Inyección tinta

6.4.1. Técnicas de esmaltado

Descripción de las tecnologías

A continuación, se describen las técnicas de esmaltado aplicadas en la fabricación de baldosas cerámicas:

6.4.1.1. Esmaltado a cortina

Cuando una baldosa cerámica pasa por debajo de la cortina de esmalte generada, se aplica una capa de dicho material, cuyo espesor va a depender de la velocidad de paso de la baldosa y de la cortina generada por el sistema. Por tanto, el sistema de aplicación, es decir, de generación de cortina va a definir las características finales del producto.

Sistema "Vela"

En este sistema de aplicación de esmalte, la cortina se genera mediante presión con una bomba volumétrica (véanse figuras 10 a y b).

Sistema campana

Sistema diseñado para crear un velo de esmalte por caída libre (véase figura 11). Se compone de un plato de acero inoxidable pulido y rectificado, un sistema de alimentación mediante tolva antiburbujas, una llave de paso con aguja de aplicación, una bandeja de recogida de esmalte y postes de sujeción.



Figura 10 a y b. Equipo de aplicación de esmalte a cortina mediante presión.



Figura 11. Equipo de aplicación de esmalte por caída libre.

6.4.1.2. Esmaltado mediante pulverización

Pulverización a disco

Se trata de un sistema (véanse figuras 12 a y b), que aplica el esmalte por centrifugación mediante un juego de disco de diferente diámetro (120-180 mm), que giran a una velocidad variable a una distancia de aproximadamente 40-50 cm de la baldosa cerámica a esmaltar.

Pulverización mediante aerógrafo

Este sistema permite la aplicación de pequeñas cantidades de esmalte por medio de un nebulizador. El sistema de nebulización air-less se utiliza para la aplicación de esmaltes cerámicos: engobes, cristalinas y protecciones. Consta de una bomba de tipo volumétrico continuo, para una presión de (5 a 30 Bar), accionada por un motor eléctrico, comandado por un variador de velocidad electrónico (veáse figura 13).



Figura 12 a y b. Sistema de esmaltado por pulverización a disco.



Figura 13. Sistema de esmaltado por pulverización con aerógrafo.

Ventajas e inconvenientes

Para cada una de las técnicas de esmaltado descritas en el apartado anterior, se presentan las ventajas e inconvenientes:

■ Ventajas

De forma genérica, una de las ventajas que presentan las técnicas de esmaltado propuestas es la posible reutilización del material no aplicado en el propio proceso, minimizando la generación de residuos y el consumo de agua en la limpieza, así como una optimización en el consumo de material.

■ Ventajas esmaltado a cortina

□ Sistema “Vela”

▫ Fácil regulación del caudal debido a la generación de la cortina por presión y no por gravedad. El caudal de esmalte no se ve afectado por posibles variaciones de la viscosidad. Por esta razón, un solo operario sería capaz de llevar varios sistemas de aplicación a la vez, de una forma mucho más cómoda que con el sistema de “campana”, reduciendo de esta forma el coste de mano de obra.

▫ Con esta tecnología es posible aplicar decoraciones superficiales muy estructuradas con buenos resultados en cuanto a rendimiento y estética.

□ Sistema campana

▫ Apropiado para la obtención de acabados brillantes y confiere una gran calidad de estirada de los esmaltes a aplicar.

■ Ventajas del esmaltado mediante pulverización

□ Pulverización a disco

▫ Es un sistema con notable flexibilidad de uso, capaz de aplicar esmaltes en cantidades muy variables y con características de densidad, viscosidad y carga muy diferentes.

□ Pulverización mediante aerógrafo

▫ Si el sistema elegido es el de alta presión, se minimizan los problemas de formación de gotas o grumos. La alta presión favorece la nebulización y finura de las gotas, con lo cual se pueden aplicar capas muy finas de esmalte y conseguir una buena estirada.

■ Inconvenientes

■ Inconvenientes del esmaltado a cortina

□ Sistema “Vela”

▫ Coste elevado

□ Sistema campana

▫ Variaciones de caudal significativas debido a las posibles variaciones de la viscosidad del esmalte, a cambios de densidad (por evaporación del agua), y a cambios en temperatura por cambios ambientales o por el calentamiento de la bomba de impulsión, dando lugar a defectos como generación de burbujas o depresiones en la superficie del esmalte.

▫ El esmalte tiene tendencia a depositarse en cantidades ligeramente superiores en los bordes.

■ Inconvenientes del esmaltado mediante pulverización

□ Pulverización a disco

▫ La aplicación en disco está sujeta a algunos defectos característicos, como la posible presencia de gotas, grumos o rayas.

□ Pulverización mediante aerógrafo

▫ Para la utilización de este sistema es necesario el uso de esmaltes con densidades bajas, y con una

reología adecuada para evitar la formación de grumos y gotas, que pueden obturar la boquilla, y por tanto, sería necesario variar la aplicación o generar gotas grandes que darían lugar a defectos.

Emisiones atmosféricas y aguas residuales

En las dos técnicas de esmaltado a cortina, sistema “vela” y sistema campana, el esmalte se aplica en suspensión, por lo que para su obtención ha sido necesaria una etapa de preparación del esmalte vía húmeda por molturación o mezcla de los materiales que componen la formulación del esmalte. Los materiales más finos tienden a dispersarse en el ambiente durante la etapa de carga de molinos. También se generan emisiones de partículas en la etapa de desbarbado del soporte y del esmalte crudo aplicado en los laterales de las piezas, que producen polvos secos o semisecos, dado que gran parte del agua contenida en la barbotina del esmalte se ha eliminado por absorción del soporte y/o evaporación.

La aplicación de esmaltes con cabinas de discos o aerógrafos, provoca una nebulización más o menos intensa de la barbotina, mediante centrifugación en el primer caso y atomización con aire comprimido en el segundo; en ambos casos el esmalte pulverizado tiende a dispersarse en el ambiente en forma de gotas o neblinas.

Como el aerógrafo es un sistema de alta presión que favorece la nebulización, puede generar problemas en la aspiración para evitar emisiones de partículas nocivas en forma de aerosol al ambiente. Aunque los discos rotatorios presentan problemas similares, las partículas emitidas son de mayor tamaño lo que reduce el riesgo de inhalación.

Las características físico-químicas de estas emisiones son muy variables por la gran diversidad de esmaltes utilizados, ya que estos pueden llevar en composición cationes formadores de red (silicio, boro, zirconio, etc), cationes modificadores de red (sodio, potasio, plomo, litio, bario, calcio, magnesio, cinc, etc) y cationes intermedios (aluminio, etc). Además, la naturaleza de las materias primas utilizadas hace que las partículas emitidas durante el proceso de esmaltado, tengan una toxicidad intrínseca superior a la que se emite en las anteriores etapas del proceso.

En la siguiente tabla, se detallan de forma genérica los valores de emisión asociados a esta etapa de proceso, según el BREF del sector cerámico:

Operación	Caudal específico (Nm ³ /kg)	Partículas (g/kg)	
		Sin depurar	Depurado
Aplicación y preparación de esmaltes	5	0,5 - 1,0	0,02 - 0,03

El VLE establecido en las AAI, concedidas a empresas fabricantes de baldosas cerámicas ubicadas en la Comunitat Valenciana, para las corrientes de aspiración (esmaltado) es 30 mg/Nm³ de partículas. Por otro lado, en esta etapa de proceso uno de los impactos ambientales más relevante es la generación de aguas residuales, como consecuencia de las operaciones de limpieza tanto de las líneas de esmaltado como de toda la maquinaria asociada a esta etapa. En la tabla 30, se detalla a nivel orientativo, la composición media de aguas residuales sin depurar recogidas en plantas de fabricación de baldosas esmaltadas.

TABLA 30. ANÁLISIS QUÍMICO MEDIO DE AGUAS RESIDUALES SIN DEPURAR [1]

Características	Intervalo de variación
pH	7 - 9
Mat. Suspensión (mg/l)	1 - 20.000
Mat. Sedimentable (mg/l)	5 - 30
Cloruros (mg/l)	100 - 700
Sulfatos (mg/l)	100 - 1.000
Fluoruros (mg/l)	< 2
Calcio (mg/l)	50 - 500
Magnesio (mg/l)	10 - 100
Sodio (mg/l)	50 - 500
Potasio (mg/l)	1 - 50
Aluminio (mg/l)	< 2
Silicio (mg/l)	5 - 30
Hierro (mg/l)	< 0,5
Zinc (mg/l)	< 2
Plomo (mg/l)	< 5
Boro (mg/l)	1 - 60
D.Q.O. (mg/l)	100 - 400
D.B.O. ₅ (mg/l)	40 - 160

Fuente: BLASCO, A. *et al.* Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica. [Castellón]: Instituto de Tecnología Cerámica: AICE, [1992].

Los VLE van a depender fundamentalmente del punto de vertido (red de alcantarillado, cauce público, etc.). Los valores límite vienen marcados por la administración competente en cada caso.

Costes de implantación de las tecnologías

El coste aproximado de las tecnologías de esmaltado a cortina propuestas son para el sistema “Vela” 16.000 € y para el sistema “campana” 4.400 €, incluyendo en ambos casos la bomba y el cocio de esmalte.

En las tecnologías de esmaltado mediante pulverización, el coste aproximado para el sistema “pulverización a disco” es de 7.500 €, incluyendo la bomba y cocio de esmalte, mientras que el coste del sistema “pulverización mediante aerógrafo” está alrededor de 15.000 €, incluyendo además del equipo con bomba especial, la cabina y el cocio de esmalte.

Grado de implantación de las tecnologías

El grado de implantación de la tecnología de esmaltado de aplicación a “Vela” es baja en el sector de fabricación de baldosas cerámicas, debido principalmente al elevado coste. Además, se trata de una tecnología novedosa, por lo que no se tiene mucha experiencia en su manejo actualmente. Sin embargo, el sistema de aplicación a “campana” tiene un bajo coste y está totalmente implantado en el sector de fabricación de baldosas cerámicas, por lo que ya se ha adquirido elevada experiencia en su aplicación.

Por otra parte, el grado de implantación de las tecnologías de esmaltado mediante pulverización, es medio para el caso de “pulverización a doble disco” y bajo para el sistema de “nébula”.

6.4.2. Técnicas de decoración

A continuación se describen las técnicas de decoración aplicadas en la fabricación de baldosas cerámicas.

6.4.2.1. Decoración en seco o Granillas

Este sistema sirve para aplicar esmaltes en estado granular con una vasta gama de granulometrías. La recirculación puede realizarse a través de un circuito neumático, o a través de un elevador de tazas cerradas (véase figura 14).

La alimentación de los granulados se produce mediante la carga de una tolva por la que cae el granulado, por medio de un extractor, a una cortina homogénea sobre un rodillo o cinta transportadora o sistema distribuidor. Las granillas caen sobre la baldosa recubierta quedando adheridas en las zonas deseadas, previa aplicación de un reactivo.



Figura 14. Decoración en seco mediante granillas.

6.4.2.2. Decoración en prensa

El doble prensado es un sistema de decoración que se basa en un ciclo de prensado en dos fases para obtener piezas decoradas de gran tamaño.

Primero, se instala una prensa de peso ligero en la línea para preparar el producto, ésta se alimenta con atomizados de varios colores para realizar el diseño. Posteriormente, la segunda prensa aplica la presión más alta, dando lugar a un producto en condiciones para ser secado y cocido. En la fase de decoración se utilizan rodillos especiales que tratan las capas del producto seco.

6.4.2.3. Decoración mediante sistemas de impresión por chorro de tinta

Las técnicas más ampliamente utilizadas en la decoración de baldosas cerámicas son aquellas capaces de imprimir diseños sobre la superficie de la baldosa. Normalmente, estas técnicas de impresión utilizan tintas, las cuales están compuestas por pigmentos, fritas y un vehículo de naturaleza orgánica. Las técnicas más extendidas son las técnicas de impresión indirecta, que necesitan de un medio de transferencia (pantalla, rodillo, etc.) para depositar las tintas en las zonas requeridas. Actualmente se está incorporando una nueva tecnología de impresión directa mediante inyección de tinta, en este tipo de técnica no es necesario un medio de transferencia, las tintas se depositan de forma controlada en la superficie de la baldosa cerámica.

Serigrafía

La aplicación por serigrafía consiste en hacer pasar a través de los orificios de una pantalla, que forman un dibujo o diseño, una pasta o tinta, mediante la acción de un dispositivo mecánico, denominado habitualmente espátula o rasqueta. Dicha pantalla puede ser plana o curva. La tinta serigráfica se deposita sobre la superficie de la pantalla plana en uno de sus lados, se extiende sobre ella y, cuando la baldosa queda situada debajo, la espátula presiona a la tinta, la hace pasar a través de los orificios y la deposita sobre la pieza (véase figura 15).

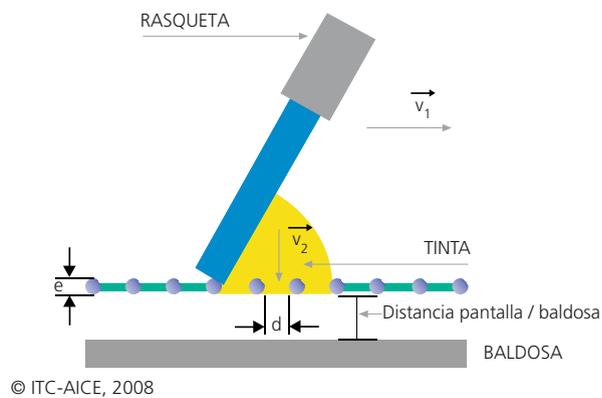


Figura 15. Esquema del mecanismo de transferencia de una tinta a través de una pantalla.

Huecograbado

Es una técnica basada en la utilización de un rodillo (véase figura 16), en cuya superficie se han practicado, mediante un sistema de impresión láser, una serie de cavidades que, en su conjunto, definen el dibujo que se desea transferir a la baldosa.

El diámetro y la profundidad de estas cavidades vienen determinados en el momento de su grabación y de ellas depende la cantidad de tinta depositada sobre la baldosa.



Figura 16. Rodillo.

En la figura 17, se muestra un equipo de decoración por huecograbado. La tinta es depositada en la parte superior del rodillo y extendida sobre la superficie del mismo con la ayuda de una espátula, que además, fuerza el llenado de las cavidades que presenta y limpia el resto de la superficie. Posteriormente, cuando el rodillo entra en contacto con la baldosa, la tinta se transfiere de las cavidades en que se encuentra retenida a la superficie de aquella, debido a la mayor adherencia que presenta una superficie porosa, como es la de la baldosa cruda o bizcochada.



Figura 17. Máquina de decoración por huecograbado.

Flexografía

A semejanza del huecograbado, éste es un sistema basado en la transferencia de materia por contacto. No obstante, el principio de funcionamiento es justamente el opuesto. En este caso, la tinta no queda retenida en los huecos del rodillo, sino en el relieve del mismo. El equipo consta de un rodillo liso sobre el cual se fija una lámina de polímero, que presenta una zona en relieve, correspondientes al dibujo que se desea reproducir.

Una vez la lámina está dispuesta sobre el rodillo, ésta se pone en contacto con otro rodillo dosificador de la suspensión de modo que la parte en relieve de su superficie se impregne en la misma. Posteriormente, cuando el rodillo, debido a su propio giro, entra en contacto con la baldosa, transfiere a ésta la tinta de que es portador, produciéndose la impresión del diseño.

Inyección tinta

El proceso de decoración mediante inyección de tinta se basa en la misma técnica que la empleada en las impresoras de inyección de tinta. Es un sistema de impresión directa que se basa en la deposición de gotas de tinta en la superficie de la baldosa de forma controlada. Las máquinas disponen de unos cabezales que dispensan las gotas de tinta de varios colores al mismo tiempo, normalmente cuatro (cuatricromía).

La velocidad de impresión depende del número de cabezales y, por lo tanto, del tipo de máquina. En los cabezales, la técnica de formación de gota puede ser distinta: demanda de gota o chorro continuo.

Esta es una tecnología novedosa y las tintas que se utilizan todavía se encuentran en vías de desarrollo. Primero se utilizaron tintas líquidas, sin sólidos en suspensión, pero en la actualidad ya se están utilizando tintas con pigmentos inorgánicos de pequeño tamaño de partícula.

Ventajas e inconvenientes

Para cada una de las técnicas de decoración descritas en el apartado anterior, se presentan las siguientes ventajas e inconvenientes:

■ Ventajas decoración en seco

□ Granillas

- Toda la granilla que no se aplica se recoge y se vuelve a utilizar, con lo cual el residuo generado es mínimo.
- No se requiere una etapa previa de preparación del esmalte (molienda), por lo cual no se va a generar lodos.

□ Decoración en prensa

- La gran ventaja de este sistema es que no necesita de la etapa de esmaltado, por lo cual no va a generar lodos.

■ Ventajas decoración con tintas

□ Serigrafía

- Es el sistema de decoración con tintas más económico.
- Facilidad de fabricación de pantallas, las cuales son también de precio asequible.
- Permite depositar gran variedad de gramajes modificando las características de las pantallas (tejido, emulsión, etc.).
- Sistema bastante robusto, las variaciones de viscosidad de la tinta afectan en menor medida que en otras técnicas.

□ Huecograbado

- Rapidez de decoración, dado que la pieza no se detiene en el momento de la impresión del diseño.
- Rodillo continuo, que permite la obtención, de forma sencilla, de diseños aleatorios.

□ Flexografía

- Rapidez de decoración, dado que la pieza no se detiene en el momento de la impresión del diseño.
- Rodillo continuo, que permite la obtención de diseños aleatorios.
- Las láminas de polímero pueden ser preparadas por la propia empresa. Se utilizan resinas curadas con ultravioleta, técnica similar a la utilizada en la fabricación de pantallas serigráficas.
- El precio de fabricación de una lámina de polímero es inferior al de un rodillo para huecograbado.
- Esta técnica se adapta mejor a zonas con depresiones que la técnica de huecograbado. Inyección tinta.
- Impresión digital directa, por lo que no necesita de ningún método de transferencia de la tinta (pantalla, rodillo, etc.).
- Se evita la etapa de preparación de los esmaltes en la planta de fabricación de baldosas cerámicas, reduciéndose el consumo de agua y la generación de lodos.

- Decoración sin contacto. Posibilidad de decorar superficies con un relieve acusado, lo cual no puede hacerse con otros sistemas de decoración.
- Versatilidad en la producción. Se pueden realizar cambios de diseño de forma muy sencilla, entre dos baldosas sin necesidad de parar la producción.
- Mayor control del proceso de impresión. El proceso depende en menor medida del operario debido a su nivel de automatización.
- Inconvenientes decoración en seco
 - Decoración en prensa
 - El coste de esta técnica es mayor por necesitar un doble prensado.
- Inconvenientes decoración con tintas
 - Serigrafía
 - Sistema indirecto, por lo que para la fabricación de un modelo es necesaria la producción de tantas pantallas como tintas se deban depositar en el modelo, normalmente se utilizan entre dos y cuatro pantallas para la fabricación de un modelo.
 - Aunque es una técnica que se adapta bien a las ondulaciones de la superficie (llega bien a los bordes de la pieza), no puede ser utilizada para decorar piezas con relieves acusados.
 - Menor velocidad de decoración que otras técnicas debido a que la pieza debe pararse en el cabezal para realizar la decoración.
 - Huecograbado
 - Sistema indirecto. Para la fabricación de un modelo es necesaria la producción de tantos rodillos como tintas se deban imprimir en el modelo, normalmente se utilizan entre dos y cuatro rodillos para la fabricación de un modelo.
 - El precio de fabricación del rodillo es superior al de una pantalla y normalmente debe ser preparado por una entidad externa a la empresa, dado que se necesita un sistema de impresión láser.
 - Es una técnica que no se adapta bien a las ondulaciones de la superficie, no permite imprimir en zonas con depresiones.
 - La cantidad de tinta que se deposita es inferior a la depositada con la serigrafía, por lo que deben recurrirse a tintas con mayor cantidad en pigmento y en determinados casos no se llega a obtener las intensidades de color que se alcanzan con la serigrafía.
 - Las variaciones de viscosidad de la tinta afectan en gran medida a la cantidad de tinta depositada, por lo que requiere un mayor control de las propiedades de las tintas utilizadas.
 - Flexografía
 - Sistema indirecto. Para la fabricación de un modelo es necesaria la producción de tantos rodillos como tintas se deban imprimir en el modelo, normalmente se utilizan entre dos y cuatro rodillos para la fabricación de un modelo.
 - Dado que es una lámina que se coloca en el rodillo, el diseño no es totalmente continuo, por tanto, a diferencia de lo que ocurre con la técnica de huecograbado, no es tan sencillo la obtención de diseños aleatorios.

- Aunque puede imprimir sobre pequeñas depresiones, no sirve para decorar grandes relieves.
- La cantidad de tinta que se deposita es inferior a la depositada con la serigrafía, por lo que deben recurrirse a tintas con mayor cantidad en pigmento y en determinados casos no se llega a obtener las intensidades de color que se alcanzan con la serigrafía.
- Las variaciones de viscosidad de la tinta afectan a la cantidad de tinta depositada, por lo que requiere un mayor control de las propiedades de las tintas utilizadas.
- Inyección tinta
 - La intensidad de los colores que se obtiene es muy baja debido a la pequeña cantidad de tinta que se deposita.
 - Tecnología novedosa en proceso de desarrollo.
 - Coste elevado de la máquina (aproximadamente 500.000 €).
 - Coste elevado de las tintas, dado que son fabricadas por entidades externas.

Emisiones atmosféricas y aguas residuales

En las técnicas de decoración en seco, granilla y doble prensado, se generan emisiones de partículas, que son recogidas por sistemas de aspiración y posterior tratamiento mediante sistemas de depuración.

En la etapa de decoración con tintas, las emisiones a la atmósfera son prácticamente nulas, ya que se están evitando las emisiones generadas en la preparación de los esmaltes, almacenamiento, limpieza e incluso gestión de residuos de esmaltes, ya que las tintas son producidas por el fabricante de pigmentos y enviadas a la empresa en unos recipientes que se colocan directamente en la máquina.

Los VLE establecidos en las AAI de la Comunitat Valenciana en las corrientes de aspiración (esmaltado) del proceso de fabricación de baldosas cerámicas son 30 mg/Nm³ de partículas.

En las técnicas de serigrafía, huecograbado y flexografía, el consumo de agua es bajo y está asociado principalmente a las operaciones de limpieza. El mayor consumo de agua se encuentra en la limpieza de los sistemas de preparación de las tintas. En el caso concreto de la técnica de inyección de tinta, el consumo de agua podría considerarse prácticamente nulo, ya que la fabricación de la tinta por entidades externas hace que no sea necesaria la limpieza de los equipos utilizados en la preparación de las tintas.

Costes de implantación de las tecnologías

A continuación se detalla el coste aproximado de las tecnologías de esmaltado y decoración propuestas:

■ Granillas

El coste aproximado es de 21.000 €, incluyendo el equipo y el sistema de aspiración.

■ Decoración en prensa

De forma general, se puede decir que el coste de aplicación de esta tecnología es muy elevado y además va a depender mucho del formato de la pieza.

■ Serigrafía

El coste de la implantación de esta tecnología es bajo, comparado con los costes de otras técnicas.

■ Huecograbado y Flexografía

El coste de la implantación de esta tecnología es medio (aproximadamente 200.000 €), comparado con los costes de otras técnicas.

■ Inyección tinta

Puesto que se trata de una tecnología novedosa y emergente, los datos de costes que se tienen son los relacionados con los costes del equipo, que rondan los 500.000 €, aproximadamente el doble que otros sistemas de decoración.

Grado de implantación de las tecnologías

En el presente apartado, se detalla el grado de implantación de las tecnologías de esmaltado y decoración propuestas:

■ Granillas

Grado de implantación medio-bajo. La granilla sólo se utiliza para determinados efectos de decoración y por tanto en determinados productos.

■ Decoración en prensa

Grado de implantación bajo, debido principalmente a su coste de implantación.

■ Serigrafía

El grado de implantación es alto. Durante los últimos años, debido a los inconvenientes de esta técnica, ésta ha sido parcialmente sustituida por otras más rápidas o que permiten la realización de decoraciones imposibles de realizar con la serigrafía.

■ Huecograbado

El grado de implantación es alto. Su implantación empezó a ser importante a partir del año 2000, debido a que permitía un aumento de la producción y la obtención de diseños aleatorios, muy útiles para la obtención de acabados similares a piedras naturales.

■ Flexografía

El grado de implantación es alto. Su implantación empezó a ser importante después de la implantación del huecograbado. El tipo de decoración que se puede obtener con esta técnica es muy similar a la del huecograbado, pero el sistema parece ser más robusto, aunque no se han realizado estudios al respecto.

■ Inyección de tinta

El grado de implantación de esta tecnología es muy bajo, aunque se considera que a medio plazo, un tercio de las máquinas de decoración podrían llegar a ser las de inyección de tinta. Esta tecnología ya ha sido utilizada en otros sectores como en el sector del papel y cartón, textil y maderero, etc.

6.5. Hornos de cocción

La cocción es la operación fundamental del proceso tecnológico, ya que da origen al material cerámico, transformando las materias primas de la pasta en nuevos compuestos cristalinos y vítreos que confieren al producto cocido unas propiedades concretas: insolubilidad y solidez que garantizan el mantenimiento de la forma, resistencia mecánica, porosidad o impermeabilidad, resistencia química, etc.

En la actualidad, los hornos más difundidos para la fabricación de baldosas cerámicas son los hornos

monoestrato de rodillos, donde el material a cocer, transportado de diferentes maneras, principalmente rodillos con engranajes, pasa en un único estrato por la estructura del horno. También el horno de rodillos bicanal, aunque no es muy habitual, se utiliza por el menor espacio requerido.

En todo caso, el material crudo avanza por el horno, encontrando sectores cada vez más calientes (zona de precalentamiento), hasta alcanzar la temperatura máxima (zona de cocción), que se extiende durante un cierto tramo (tiempo); el material continúa su desplazamiento encontrando una zona de enfriamiento fuerte y repentino, que se suaviza ligeramente para obviar los problemas debidos a la presencia de cuarzo, para luego, ser retomado de manera turbulenta hasta la salida del horno, a una temperatura que oscila entre 40-60°C.

El tiempo empleado por el material en recorrer el canal corresponde a la duración del ciclo de cocción y, junto con el caudal de la sección transversal del horno y el número de capas de material, contribuye a determinar su productividad. La velocidad del avance del material es, de hecho, generalmente constante.



Figura 18. Horno monoestrato.

Puesto que la mayoría de los hornos utilizados en la etapa de cocción de baldosas cerámicas son hornos de rodillos monoestrato y las alternativas de los diferentes tipos de hornos es limitada, en este apartado únicamente se detallarán las concentraciones emitidas en esta etapa, excluyendo los apartados de ventajas e inconvenientes, costes económicos y grados de implantación de esta tecnología.

Emisiones atmosféricas

Cada una de las dos zonas de cocción del horno dispone de una chimenea de extracción de humos, la zona de cocción tiene una chimenea de aspiración de humos de combustión calientes, mientras que la zona de enfriamiento se evacua aire caliente procedente de dicha zona con una composición idéntica al aire ambiente pero más caliente, por lo que no genera emisiones atmosféricas significativas.

En cuanto a la chimenea de aspiración de humos de combustión, los parámetros característicos y que son necesarios conocer a la hora de diseñar el sistema de depuración más adecuado son: caudal (Q), temperatura (T) y humedad (H). En la tabla 31 se muestran los intervalos de variación encontrados para dichos parámetros.

TABLA 31. CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE [5]

Parámetro	Intervalo de variación
Q _{húmedos} (Nm ³ /h)	5.000 - 15.000
T (°C)	150 - 300
H (m ³ agua/m ³ totales)	0,05 - 0,10

En la tabla 32 se detallan los intervalos de variación de las principales sustancias presentes en las chimeneas de aspiración de humos.

TABLA 32. CONCENTRACIÓN DE LAS SUSTANCIAS EN LA CHIMENEA DE ASPIRACIÓN DE HUMOS [5]

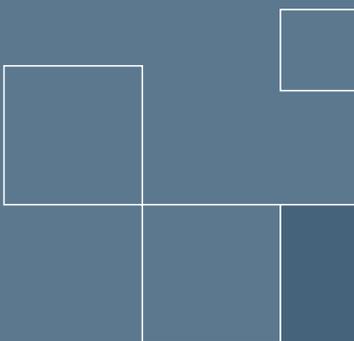
Sustancia	Intervalo de variación
Partículas (mg/Nm ³)	5 - 50
F (mg/Nm ³)	10 - 50
B (mg/Nm ³)	<0,5
Cl (mg/Nm ³)	20 - 150
Pb (mg/Nm ³)	<0,15
NO _x (ppm)	15 - 60
SO ₂ (mg/Nm ³)	<10 (20 - 200)
CO (ppm)	20 - 100
CO ₂ (%)	1 - 4
O ₂ (%)	15 - 18

Los VLE establecidos por las AAI de la Comunitat Valenciana para la fabricación de baldosas para la etapa de cocción son:

TABLA 33. VALORES LÍMITES DE EMISIÓN

Operación	Parámetro	Valor límite por emisión
Cocción	Partículas (mg/Nm ³)	30 mg/Nm ³
	NO _x (expresado como NO ₂)	250 mg/Nm ³
	Fluoruros ⁽¹⁾ (en gases y partículas) (expresado como HF)	10 mg/Nm ³
	SO _x	200 mg/Nm ³

⁽¹⁾ Para focos de origen en hornos cuyo caudal de gases sea <3.000 Nm³/h, el valor límite de fluoruros podrá ser de 30 mg/Nm³, siempre y cuando el caudal másico de dicho contaminante sea <0,1 kg/h.



7

TECNOLOGÍAS
DE DEPURACIÓN

7. TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN

Considerando los impactos medioambientales más significativos generados en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas (emisiones a la atmósfera y generación de aguas residuales), a continuación, se enumeran las tecnologías consideradas en el BREF de cerámica como Mejores Técnicas Disponibles (MTD):

■ Sistemas de depuración de emisiones atmosféricas canalizadas.

- Partículas.
 - Filtro de mangas.
 - Filtros de láminas.
 - Separadores centrífugos.
 - Separadores de partículas vía húmeda.
 - Precipitadores electrostáticos (EPS).
- Gases.
 - Adsorbedores de lecho tipo cascada.
 - Adsorbedores de módulos.
 - Filtros de mangas o EPS + reactivo.

■ Sistemas de tratamiento de aguas industriales.

- Homogenización.
- Aireación.
- Sedimentación.
- Filtración.
- Absorción de carbón activo.
- Neutralización.
- Precipitación química.
- Coagulación y floculación.
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.

7.1. Tecnologías en sistemas de depuración de emisiones de material particulado a través de focos canalizados

Para minimizar las emisiones canalizadas de partículas a la atmósfera se pueden utilizar varios sistemas de separación y filtración.

7.1.1. Filtros de mangas

En estos sistemas, la corriente de gases a limpiar pasa a través de unas mangas filtrantes (estas mangas pueden ser de diferentes materiales como por ejemplo, poliéster, Nomex, teflón, etc.), de esta forma las

partículas son depositadas en la superficie de las mangas formando a su vez una capa filtrante. Los filtros de mangas alcanzan una alta retención de partículas, generalmente por encima del 98% y hasta un 99% dependiendo del tamaño de partícula. Cabe destacar que este sistema de depuración es el más extendido en la industria valenciana de fabricación de baldosas cerámicas.

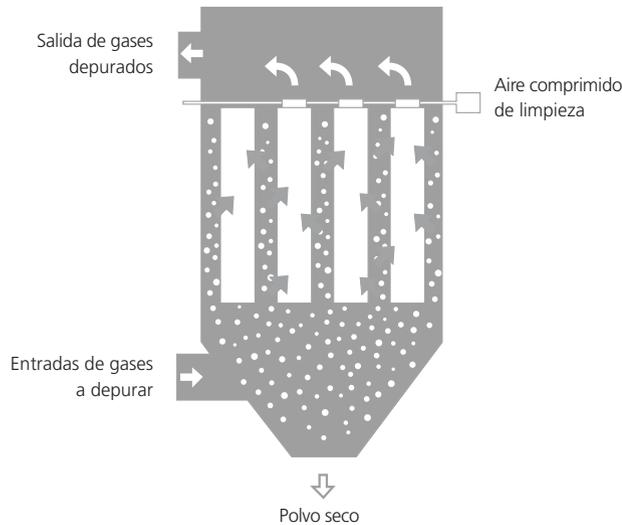


Figura 19. Vista esquemática de un filtro de mangas. [4]

7.1.2. Filtros de láminas

Los principales elementos de este filtro son los medios filtrantes rígidos, que se montan como elementos compactos en el sistema filtrante; estos elementos filtrantes consisten normalmente en polietileno sinterizado recubierto de teflón. Las principales ventajas de este sistema son la alta eficiencia de limpieza de partículas de una corriente gaseosa, la alta resistencia contra el desgaste abrasivo que producen las partículas y un menor volumen de los equipos comparado con los filtros de mangas.

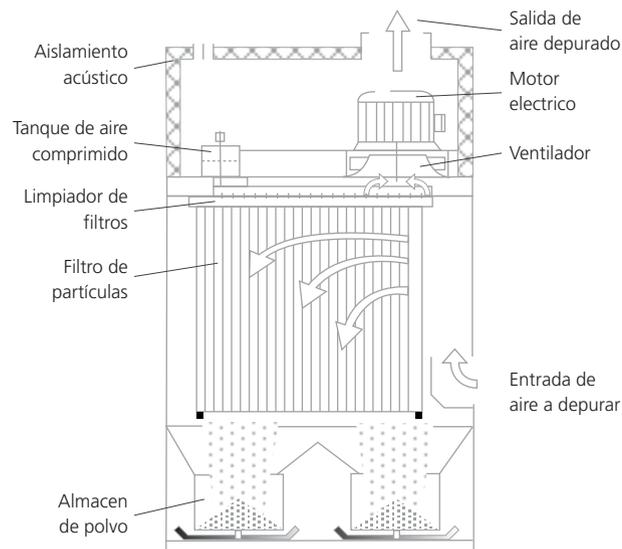


Figura 20. Vista esquemática de un filtro de láminas. [2]

7.1.3. Separadores centrífugos. Ciclones

En estos sistemas, las partículas que van a ser eliminadas son empujadas hacia las paredes del equipo mediante acción centrífuga y son eliminadas por una apertura situada en la parte superior del equipo. La fuerza centrífuga puede ejercerse directamente sobre un caudal de gases en espiral en dirección descendente, a través de un ciclón o mediante la rotación de un impulsor.

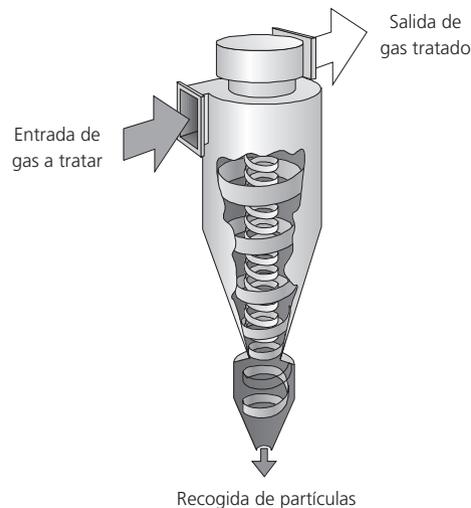


Figura 21. Vista esquemática de un ciclón. [4]

7.1.4. Separadores de partículas vía húmeda

En estos sistemas se pone en contacto la corriente gaseosa a depurar con un líquido que retiene las partículas que se encuentran suspendidas en ella, este líquido generalmente es agua. Según el diseño se pueden distinguir varios tipos (torres de relleno y de plato, torres de pulverización, tipo Venturi, etc.), pero el de mayor implantación en el sector de baldosas cerámicas es el tipo Venturi, especialmente en líneas de esmaltado.

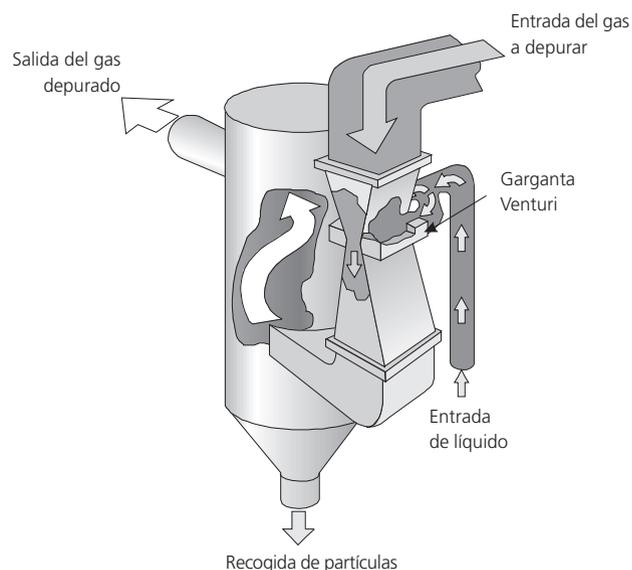


Figura 22. Vista esquemática de un lavador tipo Venturi. [4]

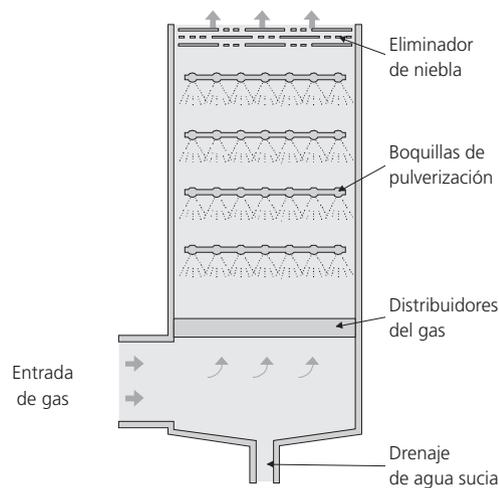


Figura 23. Vista esquemática de una torre pulverizadora. [4]

7.1.5. Precipitadores electrostáticos (EPS)

Estos equipos son capaces de depurar las emisiones que contienen en su seno partículas sólidas y/o líquidas. Su empleo está especialmente indicado en los casos que requieran el tratamiento, con elevada eficacia, de grandes caudales con partículas pequeñas en su seno.

El principio de funcionamiento de los EPS consiste en la aplicación entre dos electrodos, de descarga o de emisión y de recogida o colector (denominados habitualmente placas), de una diferencia de potencial eléctrico muy elevado (40-120 kV), suficiente para producir ionización del gas que se pretende depurar. Las partículas presentes en el seno de dicho gas quedan cargadas eléctricamente con una polaridad determinada, siendo atraídas por el electrodo colector, sobre el que se depositan formando una capa.

La eliminación del material depositado sobre las placas se realiza por vía seca mediante sacudidas periódicas o por vibración de las placas colectoras. Si el funcionamiento del sistema de limpieza no es correcto, se puede producir arrastre y reintegración de las partículas al gas, con la consiguiente disminución del rendimiento del sistema.

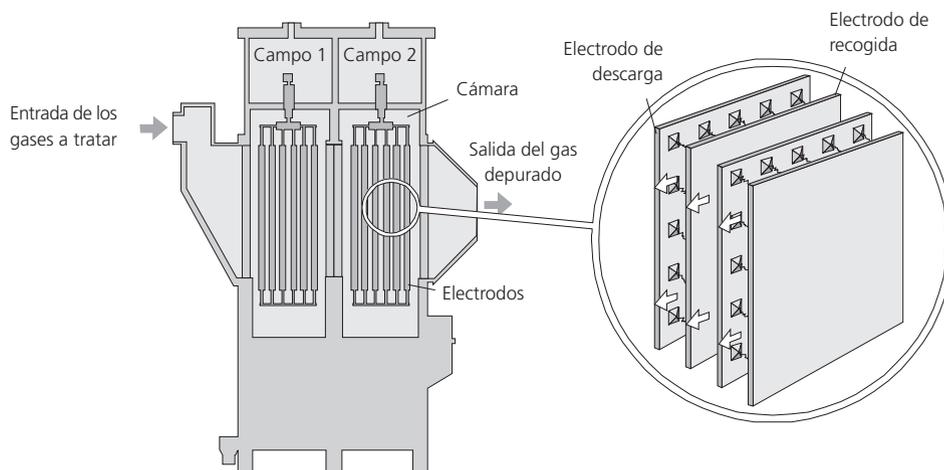


Figura 24. Vista esquemática de un precipitador electrostático. [4]

7.1.6. Ventajas e inconvenientes

■ Ventajas.

- Filtros de mangas.
 - Rendimiento: 98-99% de retención de partículas, dependiendo del tamaño de las mismas.
 - Aplicable prácticamente a todas las etapas de proceso de fabricación de baldosas cerámicas (aspiraciones en general, secado por atomización, aspiración de prensas, líneas de esmaltado).
 - Se puede utilizar para concentraciones altas y bajas y para procesos intermitentes (el rendimiento es constante para variaciones de caudal importantes).
 - Elevada versatilidad por la posible elección de materiales filtrantes en función de las características de la corriente a depurar.
 - Posibilidad de añadir reactivo para el tratamiento de contaminantes gaseosos.
 - Permite reutilizar el material captado en el propio proceso, siempre que la composición de éste no haya sufrido modificaciones significativas, como por ejemplo material captado tras la depuración de contaminantes gaseosos.
 - Facilidad de limpieza.
 - Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.
- Filtros de láminas.
 - Eficiencia del 99,99%, alcanzando concentraciones de aire limpio $<1 \text{ mg/Nm}^3$.
 - Permite la separación de partículas húmedas (por ejemplo: aspiraciones en líneas de esmaltado).
 - Elevada resistencia abrasiva.
 - Estructura fuerte e impermeable.
 - Permite reutilizar el material captado en el propio proceso, siempre que la composición de éste no haya sufrido modificaciones significativas, como por ejemplo material captado tras la depuración de contaminantes gaseosos.
- Separadores de partículas vía húmeda.
 - Permite la reutilización de agua con o sin tratamiento dependiendo de las necesidades de la empresa.
 - Tipo Venturi: Buen rendimiento para partículas sólidas y gases de elevada solubilidad, escaso mantenimiento por su flexibilidad y simplicidad.
- Precipitadores electrostáticos.
 - Amplio rango de temperaturas de trabajo, pudiendo soportar temperaturas mayores a $450 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Elevada eficacia en la eliminación de polvo; permite separar partículas de cualquier tamaño, incluso $<0,1 \text{ }\mu\text{m}$.
 - Puede soportar elevados volúmenes. Las placas no se bloquean fácilmente debido a una elevada carga o contenido de humedad, que pueden ser un problema en los filtros de tejidos.
 - El polvo recogido generalmente puede reutilizarse.
 - Baja pérdida de carga en relación con los filtros de mangas, por lo que los costes operativos son generalmente bajos.

- Separadores centrífugos. Ciclones.
 - Bajos costes de inversión y costes operativos (incluidos mantenimiento).
 - Caída de presión moderada.
 - Bajos requisitos de espacio en comparación con otros sistemas.
 - Puede funcionar con grandes cargas de polvo.
 - Pueden usarse con una amplia gama de gases y polvos.
 - Pueden utilizarse a altas temperaturas y presiones.
 - Posible reutilización de los residuos, suponiendo un ahorro en el consumo de materias primas.
- Inconvenientes.
 - Filtros de mangas.
 - Generación de ruido.
 - En ocasiones se requiere enfriamiento de la corriente. Temperatura de trabajo aconsejable entre 180-200 °C.
 - En ocasiones los tejidos pueden ser caros. Por ejemplo, las mangas de Nomex teflonado tiene un coste elevado (superior a 100-120 €/m²).
 - Posibles problemas de obturación de las mangas por trabajar con corrientes de gases a elevadas temperaturas y contenidos en humedad, por lo que es necesario calorifugar el sistema para evitar condensaciones, tanto de agua como de contaminantes ácidos, dificultando y encareciendo el mantenimiento y el consumo eléctrico.
 - Pérdida de carga significativa, lo que conlleva un elevado consumo eléctrico.
 - Se genera un volumen de residuos sólidos que no siempre es posible reciclar en el caso de añadir un reactivo para la depuración de contaminantes gaseosos.
 - Filtros de láminas.
 - Generación de ruido durante la limpieza.
 - Generación de residuos durante el mantenimiento.
 - Consumo energético adicional durante la limpieza.
 - Coste superior al filtro de mangas.
 - Separadores de partículas vía húmeda
 - La utilización de agua en estos sistemas puede generar la necesidad de un tratamiento adicional al efluente líquido generado, lo que supone un coste económico y energético adicional.
 - No apto para temperaturas superiores a 80°C, porque se eleva el consumo de agua; en caso de aplicar esta técnica, será necesario un enfriamiento del agua para evitar el arrastre en forma de vapor.
 - Tipo Venturi: Para elevar el rendimiento de captación de partículas (0,2-1 μm) es necesario aumentar la velocidad (50-100 m/s), lo que conlleva consumos de energía importantes.
 - Precipitadores electrostáticos
 - Inadecuado para procesos intermitentes con grandes variaciones en la concentración de polvo y en la composición.
 - Es vital mantener las operaciones de planta dentro de las condiciones de diseño, o la eficacia puede bajar considerablemente.
 - Elevados costes de inversión.

- A mayor velocidad de la corriente, es necesario aumentar la superficie, con lo que se eleva el coste económico.
- Sistemas de gran tamaño, por lo que deben considerarse los requisitos de espacios.
- Adoptar medidas de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje, riesgo de explosión, especialmente en EPS con inyección de reactivo seco.
- Habitualmente los precipitadores electrostáticos en la industria se han empleado para la depuración de caudales mucho más elevados (>100.000 Nm³/h) de los que presentan los hornos de baldosas. Es por ello que la oferta de equipos y la experiencia de la depuración de los gases procedentes de hornos monoestrato con precipitadores electrostáticos es muy baja.
- Separadores de partículas centrífugos. Ciclones
 - Generación de ruido elevada.
 - Bajo rendimiento para partículas inferiores a 10 μm.
 - Problemas de obturación si se trabaja por debajo del punto de rocío.
 - En la fabricación de baldosas no se considera MTD, se utiliza como predepurador, siendo necesario otro sistema de depuración para alcanzar los niveles exigidos por la legislación vigente.
 - A mayor rendimiento, mayor pérdida de carga, por lo que se provoca un aumento del consumo energético.
 - Si la concentración de partículas es elevada, son necesarias elevadas velocidades, lo que puede causar bloqueos y abrasiones.

7.1.7. Niveles de emisión alcanzados mediante la implantación de las tecnologías propuestas respecto a los niveles establecidos por la legislación

En la tabla 34, se resumen los Valores Límite de Emisión (VLE) aplicables a las partículas y asociados a las MTD en la fabricación de baldosas cerámicas, detallados en el BREF de la industria cerámica, y los VLE que actualmente se están incluyendo en las Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI) concedidas a empresas fabricantes de baldosas cerámicas de la Comunitat Valenciana.

TABLA 34. VLE A LA ATMÓSFERA ASOCIADOS A LAS MTD		
Proceso / MTD	BREF	AAI ⁽¹⁾
	VLE Partículas (mg/Nm ³)	VLE Partículas (mg/Nm ³)
General (aspiraciones de polvo) ▫ Filtro de mangas	1 - 10 ⁽²⁾	30
Atomización ▫ Filtro de mangas ▫ Separadores de partículas vía húmeda + ciclones	1 - 30 1 - 50	30 - 50 ⁽³⁾
Secado ▫ Buenas prácticas	1 - 20	30
Esmaltado ▫ Filtro de mangas o de láminas	1 - 10	
Cocción ▫ Filtro de mangas con adsorbente	1 - 5	

⁽¹⁾ VLE contenidos en las AAI concedidas a empresas de baldosas cerámicas ubicadas en la Comunitat Valenciana.

⁽²⁾ El valor superior puede ser más alto en determinadas condiciones de operación.

⁽³⁾ Para focos de origen en atomizadores que tengan en la actualidad sistemas correctores vía húmeda instalados, el límite de partículas a cumplir será 50 mg/Nm³ hasta el 30 de octubre de 2015. A partir de esa fecha se deberá cumplir con el límite genérico de 30 mg/Nm³.

Las concentraciones obtenidas deben expresarse en las condiciones de referencia para poder compararlas con los VLE, de modo que dichos niveles no se encuentren influenciados por el grado de dilución de los gases o por la temperatura de los mismos en la corriente gaseosa. En la tabla 35, se detallan las condiciones de referencia recogidas en el BREF para la expresión de dichos valores en las industrias de fabricación de baldosas.

TABLA 35. CONDICIONES DE REFERENCIA PARA EXPRESAR LOS VLE	
Concentración (mg/Nm ³)	Condiciones normales y gases secos (273 K, 1.013 hPa) En gases de combustión referir al 18% (en volumen) de oxígeno

7.1.8. Costes de implantación de las tecnologías

■ Separadores centrífugos.

La inversión necesaria en los separadores centrífugos depende principalmente del caudal de gases a depurar, del material de construcción de los ciclones, ya que deben ser resistentes al desgaste que genera el rozamiento de las partículas con las paredes del ciclón y a la corrosión que puede producir la posible condensación de agua.

■ Filtros de mangas.

La inversión necesaria en los filtros de mangas depende fundamentalmente de la superficie filtrante, de la calidad de las mangas empleadas, del material utilizado en la construcción del filtro, de la pérdida de carga de los gases en el seno del mismo, de su caudal y de las necesidades de centrifugación. La superficie filtrante depende a su vez de la velocidad de filtración, que es un parámetro de diseño y normalmente viene fijado por el fabricante del filtro de mangas. Cuanto mayor es la velocidad de filtración menor es la superficie filtrante y, por tanto menor será la inversión en mangas. No obstante, una velocidad de filtración elevada da lugar a una menor duración de las mangas de forma que, aunque disminuya la inversión inicial en mangas, normalmente aumentará el coste de mantenimiento.

■ Separadores vía húmeda.

En estos equipos la inversión depende del rendimiento a alcanzar en la depuración y del caudal de gases a tratar, y viene dada principalmente por el valor del propio sistema de depuración y del ventilador necesario para el movimiento de los gases en su interior. A la hora de calcular la inversión es muy importante la calidad del material empleado en la construcción del sistema, puesto que el contacto continuado con el agua puede deteriorarlo con facilidad.

■ Precipitadores electrostáticos.

La inversión viene definida principalmente por el propio precipitador, por el sistema de alimentación del reactivo y por el sistema de control del precipitador. El ventilador necesario es prácticamente el mismo que el utilizado en el horno, puesto que la pérdida de carga de este sistema es muy baja.

En la tabla 36 se muestran los campos de aplicación para cada una de las tecnologías consideradas, así como la inversión y los costes de operación asociados a cada una de ellas.

TABLA 36. COSTES DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE PARTÍCULAS [2]				
Sistema depuración	Campo aplicación	Caudal (Nm ³ /h)	Inversión (€)	Coste operación (€/ton)
Separadores vía húmeda + ciclones	Etapa de secado por atomización	60.000 - 170.000	VAE ⁽¹⁾ : 15.000 - 230.000	
			VMAE ⁽¹⁾ : 130.000 - 290.000	
Filtros de mangas ⁽²⁾ + ciclones (calorifugados)	Etapa de secado por atomización	60.000 - 170.000	170.000 - 420.000	
Filtros de mangas	Zonas completas de la planta, preparación, transporte neumático, almacenamiento, conformado, etc.	900 - 70.000	6.000 - 150.000 (dependiendo del tamaño y longitud del conducto)	0,03 - 0,1
Sistemas de aspiración	Zonas completas de la planta, preparación, transporte neumático, almacenamiento, conformado, etc.	900 - 1.000	25.000 - 65.000 (dependiendo de la longitud del conducto)	
Precipitador electrostático	Depuración de partículas para corrientes a alta temperatura	>100.000	1.000.000 - 3.000.000	0,1 - 0,2

⁽¹⁾ VAE: Venturi alta eficacia; VMAE: Venturi de muy alta eficacia.

⁽²⁾ Los filtros de tejidos de las mangas considerados han sido: Dralon T y Nomex teflonado.

7.1.9. Grado de implantación

A continuación se detalla el grado de implantación actual de las tecnologías propuestas en el sector cerámico para la la depuración de emisiones de partículas:

- Secaderos por atomización: aproximadamente el 90% tiene instalado sistemas de depuración combinados de ciclones y abatidores de vía húmeda.
- Sistemas de aspiración prensas: prácticamente el 100% de las empresas tienen filtro de mangas.
- Sistemas de aspiración líneas de esmaltado: aproximadamente el 40% de las empresas tienen implantados separadores vía húmeda (tipo Venturi) y el otro 60% filtros de mangas, aunque la tendencia actual es la instalación de filtros de mangas, debido al elevado rendimiento que alcanza.



7.2. Tecnologías en sistemas de depuración de emisiones de contaminantes gaseosos a través de focos canalizados

Los contaminantes gaseosos más significativos se dan en la etapa de cocción de baldosas cerámicas, y son los denominados contaminantes ácidos: SO_x, HF y HCl.

Los principales sistemas de depuración de gases para reducir las emisiones gaseosas de compuestos inorgánicos (SO_x, HF y HCl) son: adsorbedores de lecho tipo cascada, adsorbedores de módulos y sistemas de depuración de gases vía seca mediante filtración. Todos estos sistemas consisten en poner en contacto los gases con una sustancia o reactivo que retenga los contaminantes y de esta forma emitir un gas con una menor concentración de dichas sustancias contaminantes. Los reactivos más frecuentes son Ca(OH)₂, NaHCO₃, CaCO₃ ó Na₂CO₃,

generalmente utilizados en forma de sólidos secos. El rendimiento en la eliminación depende mucho del contaminante que se quiere eliminar, del sistema utilizado, de la temperatura, de la presencia de otros contaminantes, del tipo de reactivo, etc.

7.2.1. Adsorbedores de lecho tipo cascada

En este tipo de sistemas, la reacción entre el adsorbente (generalmente CaCO_3) y los contaminantes (principalmente HF , SO_x y HCl) presentes en la corriente gaseosa tienen lugar en una cámara, por donde circulan los gases y donde el adsorbente cae por gravedad. Para aumentar el tiempo de reacción y la superficie de contacto se colocan una serie de tabiques en dicha cámara, los cuales disminuyen la velocidad del adsorbente, asegurando una circulación y distribución efectiva de la corriente gaseosa. El carbonato cálcico consumido se recoge en la parte inferior de la instalación. Estos adsorbedores pueden soportar temperaturas de los gases superiores a 500°C , sin necesidad de tener que enfriarlos previamente, siendo eficientes para la depuración simultánea de HF , SO_x y HCl en las emisiones provenientes de hornos (en apartados posteriores se detalla el rendimiento alcanzado para cada uno de los contaminantes mediante este sistema).

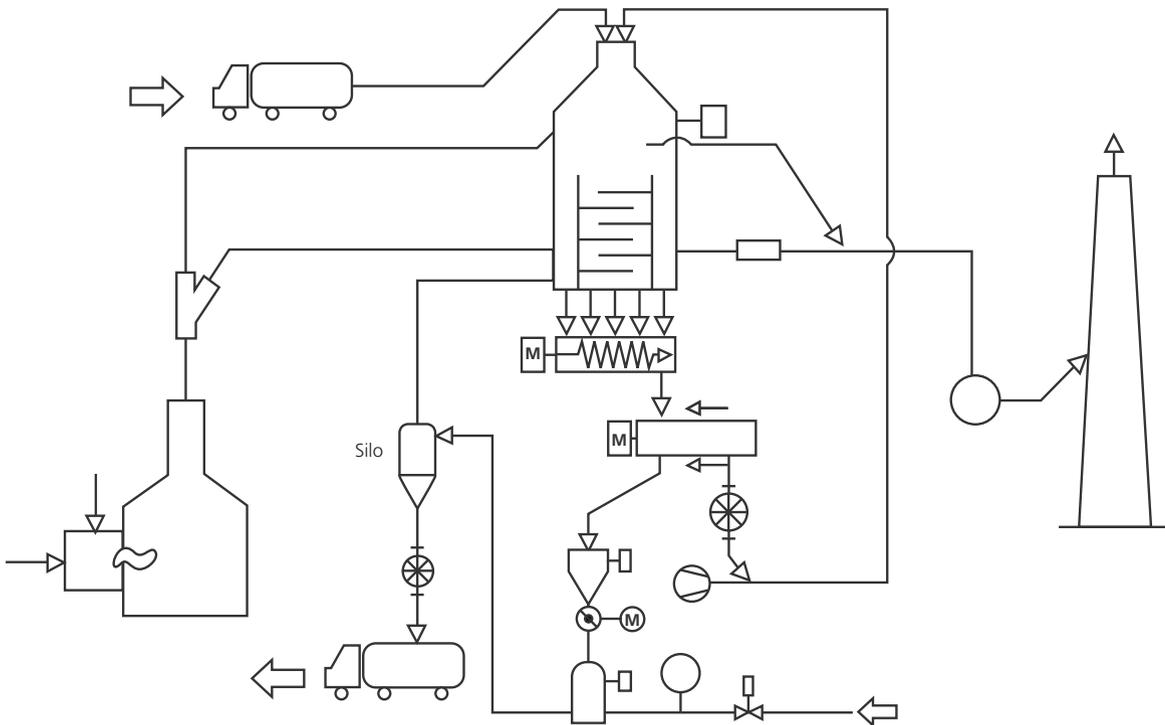


Figura 25. Vista esquemática de adsorbedor de lecho tipo cascada. [2]

7.2.2. Adsorbedores de módulos

Este sistema se utiliza principalmente para la depuración de HF . Se trata de una adsorción seca, en la cual se utilizan módulos conocidos como "honeycomb" de hidróxido cálcico. En este proceso, la corriente gaseosa pasa a través de un reactor de acero en cuyo interior se depositan dichos módulos. El mecanismo de reacción consiste en que al entrar en contacto el flúor presente en la corriente gaseosa con los módulos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, reacciona con éste formándose CaF_2 . El tiempo de vida de los módulos depende del tiempo de operación de la planta, del caudal de gases y de la concentración de flúor en la corriente gaseosa. Los módulos saturados son reemplazados por otros nuevos.

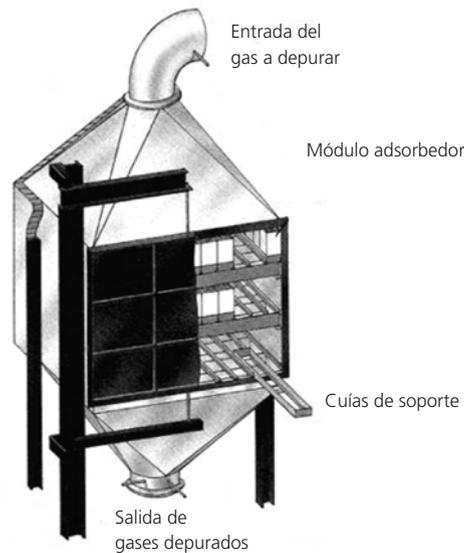


Figura 26. Vista esquemática de adsorbedor de módulos tipo honeycomb. [2]

7.2.3. Filtros de mangas o precipitadores electrostáticos + reactivo

Los gases procedentes de la chimenea de aspiración de humos de un horno monoestrato son conducidos hasta un filtro de mangas. Durante el camino, desde la chimenea del horno hasta el filtro de mangas, se inyecta un reactivo sólido afín a los contaminantes a depurar. Este reactivo se pulveriza en la propia conducción mediante un sistema neumático. Es importante que se introduzca antes del filtro de mangas, asegurando un tiempo de contacto necesario entre la fase gaseosa y la fase sólida.

El filtro de mangas se diseña para trabajar con gases a una determinada temperatura, normalmente ésta es inferior a la de salida de los gases del horno. En caso necesario, estos gases deben enfriarse por dilución con aire a temperatura ambiente o con un intercambiador de calor aire-aire.

El diseño de filtro de mangas para este foco emisor debe tener en cuenta sobre todo la elevada temperatura de los gases a tratar. Este hecho va a condicionar principalmente el modo de operación del filtro y el tipo de manga a emplear. El material de los filtros de mangas debe ser resistente a condiciones alcalinas y ácidas, y también debe definirse la temperatura de entrada de los gases al sistema de depuración.

Mayoritariamente se utilizan filtros de mangas porque generan un buen contacto entre el adsorbente y los contaminantes gaseosos.

Los precipitadores electrostáticos pueden utilizarse en lugar de los filtros de mangas, utilizando el mismo sistema de inyección de reactivo. Este sistema ofrece la ventaja de poder operar a temperaturas superiores de la corriente de gases (superior a 400°C), sin necesidad de enfriar la corriente gaseosa antes de introducirla en el sistema de depuración. Además, posibilita su aprovechamiento energético en otras etapas del proceso de producción. Sin embargo, el contacto entre el adsorbente y el contaminante no es tan bueno como en el caso de utilizar filtros de mangas.

Una variante a este sistema es la depuración de la corriente mediante un sistema de limpieza semiseco, que difiere del anterior porque se utiliza una pequeña cantidad de agua, lo que aumenta la reactividad del adsorbente y la eficiencia de limpieza. Además, el consumo de adsorbente es menor, disminuyendo la generación de residuos. Las desventajas de esta técnica son los problemas de corrosión, debido a la elevada humedad de la corriente y la complejidad de las operaciones de control. Por otro lado la inversión inicial es muy elevada.

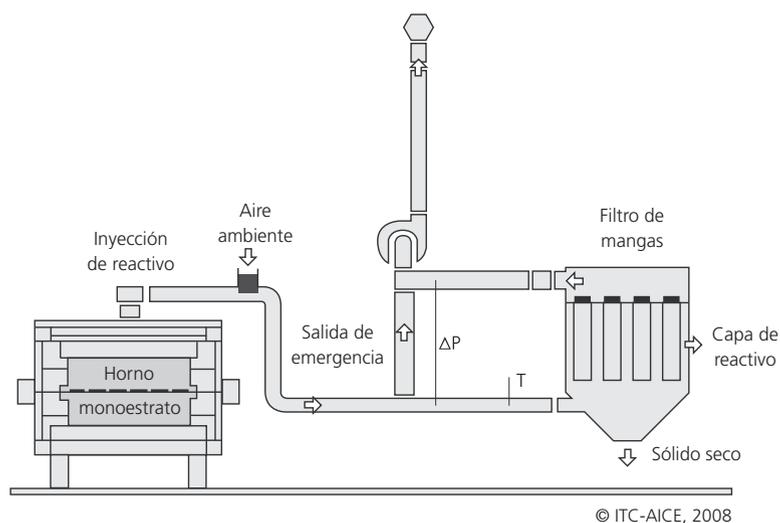


Figura 27. Vista esquemática de la depuración de gases con filtro de mangas.

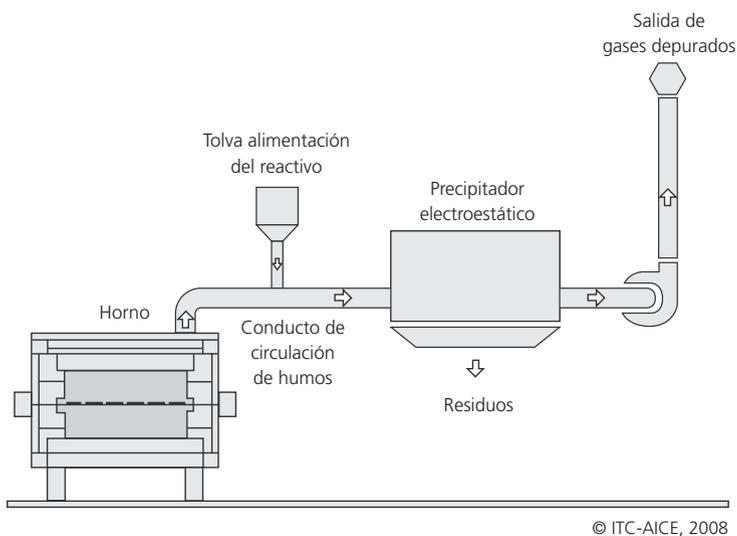


Figura 28. Vista esquemática de la depuración de gases con un precipitador electrostático.

7.2.4. Ventajas e inconvenientes

■ Ventajas.

- Adsorbentes de lecho tipo cascada.
 - Permite alcanzar los límites legislados.
 - Si se utilizan gránulos de carbonato cálcico sin modificar, se pueden alcanzar las siguientes eficacias: 90-99% HF, 80% SO₃, 20% SO₂ y 50% HCl. Si se modifican los gránulos de carbonato cálcico, se puede aumentar el rendimiento para SO₂ de 30-85% para concentraciones en la corriente superiores a 1.500 mg SO₂/Nm³.

- Adsorbedores de módulos.
 - Permite alcanzar los límites legislados.
 - Es un sistema técnicamente simple y robusto. Puesto que no posee partes móviles, la pérdida de carga es baja.
 - Es eficiente para caudales bajos (<18.000 m³/h) y para concentraciones bajas de SO₂, SO₃ y HCl.
 - Adecuado para la fabricación de baldosas cerámicas.
- Filtros de mangas o precipitadores electrostáticos + inyección de reactivo.
 - Permite alcanzar los límites legislados.
 - Elevada implantación en el sector cerámico italiano, incipiente en el español.
 - Si se utilizan filtros de mangas, las eficiencias que se pueden alcanzar si se utiliza hidróxido cálcico como adsorbente son: 90-99% para partículas, 92-95% HF, 10-80% SO₂, >90% SO₃ y >85% HCl. Si se utiliza bicarbonato sódico: 99% para partículas, >95% HF, 98-99% SO₂ y SO₃ y 89% HCl. El inconveniente es que el bicarbonato sódico es mucho más caro (del orden de 4 ó 5 veces más).
 - El uso de precipitadores electrostáticos tiene la ventaja de permitir trabajar a temperaturas del orden de 450°C, por lo que no es necesario acondicionar los humos a la salida del horno antes de introducirlos en el sistema de depuración. Esta situación posibilita el aprovechamiento energético de los humos en otras etapas del proceso de producción, esta ventaja es especialmente interesante en la etapa de fusión para la fabricación de fritas, ya que la temperatura de los gases en chimenea es elevada. En el caso de gases de cocción esta opción no resulta tan interesante, debido a que la temperatura de los gases a la salida no es tan alta.
 - En los precipitadores electrostáticos la pérdida de carga, al no tener mecanismos que dificulten demasiado el flujo de los gases, es muy baja, normalmente inferior a 10 mmca.
- Inconvenientes.
 - Adsorbedores de lecho tipo cascada.
 - Alto consumo de adsorbentes.
 - Importante cantidad de residuos generada (debido a la elevada dosificación de adsorbente).
 - Efecto colateral, ya que los gránulos de carbonato cálcico reaccionan con los componentes ácidos de la corriente de gas produciendo CO₂.
 - Aumento del consumo de energía, debido al uso del adsorbente (concretamente al aumento de la pérdida de presión).
 - Posible aumento de las emisiones de partículas, debido a la utilización de un componente sólido en el proceso de depuración.
 - Posible emisión de ruido.
 - Adsorbedores de módulos.
 - Consumos relativamente altos de adsorbentes.
 - Elevadas cantidades de residuos (los módulos saturados deben ser reemplazados).
 - Aumento del consumo de energía debido al uso del adsorbente (concretamente al aumento de la pérdida de carga en el caso de corrientes con elevada cargas de polvo).

- Filtros de mangas o precipitadores electrostáticos + reactivo
 - El consumo de adsorbentes puede originar grandes cantidades de residuos.
 - En la fabricación de baldosas cerámicas, el reciclado de los residuos puede ser problemático, debido a los efectos negativos del calcio en las propiedades reológicas de la barbotina.
 - El consumo eléctrico del ventilador, debido a la pérdida de carga en el sistema de filtración, es mayor en un filtro de mangas que en un precipitador electrostático.
 - Aumento de ruido, si se instala un sistema de limpieza neumático en filtros de mangas.
 - El carbonato reacciona con los componentes ácidos de la corriente gaseosa formando CO₂.
 - Si se utilizan filtros de mangas, los gases deben enfriarse por dilución con aire a temperatura ambiente o con un intercambiador de calor aire-aire. El tejido de las mangas viene definido por la temperatura de los gases a tratar pudiendo ser de teflón (240-260°C), Nomex teflonado (180-200°C) o Dralon T (115-125°C). La elección del tipo de mangas también se realizará teniendo en cuenta razones económicas, ya que cuando mayor es la temperatura de los gases a tratar, mayor es el coste de las mangas. Por otra parte, la disminución de la temperatura de los gases disminuye el coste de las mangas a emplear, pero aumenta el caudal a tratar, incrementando el coste del filtro y el número de mangas a utilizar.
 - Habitualmente los precipitadores electrostáticos en la industria se han empleado para la depuración de caudales mucho más elevados (>100.000 Nm³/h) de los habituales, en el caso de los hornos utilizados en la fabricación de baldosas cerámicas (10.000-20.000 Nm³/h). Es por ello que la oferta de equipos y la experiencia de la depuración de los gases procedentes de hornos monoestrato con precipitadores electrostáticos es muy baja.

7.2.5. Niveles de emisión alcanzados mediante la implantación de las tecnologías propuestas respecto a los niveles establecidos por la legislación

En la tabla 37 se resumen los VLE asociados a las MTD aplicables al proceso de fabricación de baldosas cerámicas, detallados en el BREF de la industria cerámica.

TABLA 37. VLE A LA ATMÓSFERA ASOCIADOS A LAS MTD				
Proceso / MTD	VLE (mg/Nm ³)			
	Partículas	HF	HCl	SO _x
Cocción	1 - 5	1 - 5	1 - 30 ⁽¹⁾	1 - 500
□ Filtro de mangas con adsorbente				500 - 2.000 ⁽²⁾

⁽¹⁾ El contenido de Cl en la arcilla puede influir sobre el límite y la reutilización de las aguas residuales.

⁽²⁾ 1-500 mg/Nm³ si el contenido de azufre en materia prima <0,25%. 500-2.000 mg/Nm³ si el contenido en azufre >0,25%.

Las concentraciones obtenidas deben expresarse en las condiciones de referencia para poder compararlas con los VLE, de modo que dichos niveles no se encuentren influenciados por el grado de dilución de los gases o por la temperatura de los mismos en la corriente gaseosa. En la tabla 38, se detallan las condiciones de referencia recogidas en el BREF para la expresión de dichos valores en las industrias de fabricación de baldosas.

TABLA 38. CONDICIONES DE REFERENCIA PARA EXPRESAR LOS VLE	
Concentración (mg/Nm ³)	Condiciones normales y gases secos (273 K, 1.013 hPa) En gases de combustión referir al 18% (en volumen) de oxígeno

En la tabla 39 se resumen los VLE exigidos en las AAI otorgadas a las empresas del sector cerámico ubicadas en la Comunitat Valenciana.

Origen foco	Contaminantes	Límite de emisión
Hornos ⁽³⁾	Partículas	30 mg/Nm ³
	NO _x (como NO ₂)	250 mg/Nm ³
	SO ₂	200 ⁽²⁾ mg/Nm ³
	Fluoruros ⁽¹⁾ (como HF) (en gases y partículas)	10 mg/Nm ³

⁽¹⁾ Para los focos de origen en hornos cuyo caudal de gases sea inferior a 3.000 Nm³/h, el valor límite de fluoruros podrá ser de 30 mg/Nm³, siempre y cuando el caudal másico de dicho contaminante sea inferior a 0,1 kg/h.

⁽²⁾ En los casos en que se prevea la superación de este valor por el uso de determinadas materias primas o combustibles, se deberá entregar a la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda un estudio técnico justificativo que incluya balances de masa y una propuesta de valor límite.

⁽³⁾ Quedan excluidos de medición de emisión de contaminantes los focos de evacuación del aire de enfriamiento de los hornos de cocción de baldosas.

7.2.6. Costes de implantación de las tecnologías propuestas

En la tabla 40, se muestran los parámetros técnicos, eficiencias, datos de costes y consumos de los sistemas de tratamiento de depuración de gases.

En el caso concreto de los costes, esta información debe considerarse como una aproximación y no puede ser utilizada directamente, ya que el coste real dependerá del caudal de gases de la corriente a tratar, niveles de emisión a alcanzar, niveles de concentración de contaminantes, consumos energéticos, etc.

Técnica		Absorbedores lecho tipo cascada			Corrientes de aspiración seca con filtro		Corrientes de aspiración húmeda	
Absorbente		CaCO ₃	CaCO ₃ modificado		Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Agua/Ca(OH) ₂ o CaCO ₃	Sosa
Eficiencia	HF	90 - >99%	>99%		80 - >99%	>95%	92 - 99%	98%
	SO ₂	8 - 20%	43 - >85%	30 - 43%	7 - 80%	98 - 99%	20 - >98%	90 - 98%
	SO ₃	80%	80 - 85%	80 - 85%	>90%	98 - 99%	92 - 95%	94 - 96%
	HCl	50%	>50%	50%	10 - >85%	89%	50->95%	---
	Partículas	100%	100%	99%	90 - 99%	99%	---	100%
Dosificado en exceso ⁽¹⁾		2,5	2,5	2,5	1,35 - 2,00	---	1,01 - 2,00	---
Consumo de agua (m ³ /día)		0	0	0	0	---	86 - 240	---
Consumo de electricidad (kwh/día)		641 - 864	864	864	1.200 - 2.880	---	1.352 - 4.824	---
Consumo del absorbente (m ³ /día)		59	99	99	104	---	30 - 100	---
Coste de inversión (€10 ³) ⁽²⁾⁽³⁾		228 - 278	692	692	766 - 1.081	---	511 - 659	---
Coste de operación (€/tonelada)		23.400 - 4.800	---	---	107.500 - 130.700	---	107.500 - 130.700	---

⁽¹⁾ Relación entre la cantidad de absorbente necesaria en la práctica para alcanzar la eficiencia depuradora y la cantidad absorbente que sería en teoría (basada en relación estequiométrica de la reacción de absorción).

⁽²⁾ Intervalo referido a los valores presentados por 4 empresas típicas.

⁽³⁾ Coste de la instalación y costes adicionales.

7.2.7. Grado de implantación

En la depuración de los gases de combustión de la etapa de cocción de la fabricación de baldosas cerámicas, se considera que el grado de implantación será elevado en un futuro, debido a que en el contenido de las AAI concedidas se están exigiendo unos VLE que para alcanzarse en algunos casos deberán utilizarse sistemas de depuración de contaminantes ácidos.

7.3. Tecnologías en el tratamiento de efluentes líquidos

Los objetivos marcados en materia de aguas, consisten principalmente en una optimización del consumo de agua para alcanzar un mínimo volumen de agua residual generada, que se traduce en un vertido mínimo. Para conseguir estos objetivos, se pueden aplicar medidas primarias (buenas prácticas) y/o medidas secundarias (sistemas de tratamiento de aguas residuales).

A continuación, se detallan algunas de las medidas primarias que habitualmente se aplican en el sector de fabricación de baldosas cerámicas:

- Actuar sobre el circuito de agua, instalando válvulas automáticas que previenen las fugas de agua.
- Instalar en planta sistemas de limpieza de alta presión.
- Separar la recogida de agua de los diferentes procesos con el fin de optimizar la posibilidad de recirculación directa en el propio proceso.
- Reutilizar el agua residual en el mismo proceso, particularmente, reutilizar el agua residual en operaciones de limpieza después de haberla sometido a un tratamiento adecuado.

En ocasiones, con la aplicación de medidas primarias, no se alcanzan los requisitos cualitativos necesarios y se debe recurrir a la aplicación de técnicas secundarias, que deben ser adecuadamente seleccionadas.

Las técnicas de depuración de aguas residuales más habituales en la industria cerámica consisten principalmente en una planta de tratamiento físico-químico, en las que se desarrollan los procesos físicos de sedimentación y homogenización, seguidos de las etapas químicas de neutralización, coagulación y floculación. La separación de los sólidos formados en estas últimas se llevará a cabo por métodos físicos. Este tipo de instalación es muy adecuada para el tratamiento de aguas en la industria cerámica y presenta gran versatilidad en lo que se refiere a la secuencia de elementos que la componen.

En ocasiones no es posible eliminar mediante tratamientos físico-químicos convencionales algunos elementos como el boro y sus compuestos, debido a su alta solubilidad en agua y, por tanto, se ha de realizar algún tratamiento posterior específico. Las alternativas desarrolladas actualmente para la eliminación de este elemento se basan en la utilización de resinas de intercambio iónico o bien en procesos de ósmosis inversa.

Estos tratamientos se pueden aplicar en todos los sub-sectores de la industria cerámica, aunque ésta no es la única secuencia posible y es susceptible de cambios que se adecuen a la naturaleza de agua a tratar, así como al tipo de proceso que genera dicho vertido y al caudal del mismo. Por otro lado, considerando el destino final del agua residual, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Si el agua residual va a ser reutilizada en la preparación de materias primas, concretamente en la etapa de molturación, vía húmeda, no es necesario aplicar ningún tratamiento de depuración, aunque se recomienda realizar una homogenización para mantener las principales características de la barbotina.
- Si el agua residual va a ser utilizada como agua de limpieza, se requiere una mayor calidad, por lo que se requiere un proceso de sedimentación, seguido de una aireación, con o sin adición de sustancias químicas para eliminar problemas de olores.
- Si se ha de realizar un vertido de las aguas residuales, generalmente se requiere una combinación de los

siguientes tratamientos: homogeneización, floculación, sedimentación y filtración. Además, en algunos casos puede ser necesario aplicar tratamientos terciarios.

A continuación se describen brevemente los principios y características de los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales de aplicación en la industria cerámica.

7.3.1. Homogeneización

Se utilizan tanques de homogeneización para obtener constancia en la composición del agua a tratar y evitar al máximo problemas originados por las variaciones de caudal.

En la mayoría de los casos es conveniente el uso de dispositivos de agitación.

Estos tanques deben tener una capacidad suficiente para asegurar una alimentación de forma regular a la instalación de depuración.

Con la aplicación de la homogeneización se consigue una mejora de todos los tratamientos posteriores, dado que la uniformidad de la composición alcanzada facilita el control de la adición de productos y la constancia en las condiciones de operación.



Figura 29 a y b. Agitador y balsa de homogeneización. [1]

7.3.2. Aireación

Es un proceso físico que se utiliza muy frecuentemente en el tratamiento de aguas con distintas finalidades, como oxidación de materiales para facilitar una posterior floculación, eliminación de sulfuros, eliminación de grasas, aceites y sólidos por procesos de flotación, conseguir una turbulencia y mezclas adecuadas junto a un aporte de oxígeno, etc.

La superficie específica, definida como el cociente de la superficie de la interfase aire-agua y el volumen de agua que se va a tratar, debe ser lo más elevada posible para favorecer al máximo la operación. Esto se consigue bien introduciendo aire en el agua en forma de burbujas o bien pulverizando agua en el aire, en forma de gotas.

7.3.2.1. Agitadores superficiales

Son los más sencillos y los que se emplean corrientemente. Consisten en rotores fabricados de materiales resistentes a la corrosión que se hallan parcialmente sumergidos. Agitan el agua enérgicamente proyectándola fuera de la superficie del líquido a la vez que producen depresiones en la misma, favoreciendo la entrada de porciones de aire que crean una gran superficie específica por la elevada turbulencia. El rotor es impulsado

por un motor eléctrico que se instala sobre una plataforma soportada por pilares o vigas apoyadas en el fondo del tanque donde están instalados. Incluso pueden montarse en plataformas flotantes para prevenir fluctuaciones en el nivel del agua.

En algunos casos pueden girar alrededor de un eje horizontal proyectando agua hacia adelante y creando una depresión en la zona posterior.

7.3.2.2. Difusores

Capaces de producir gran cantidad de burbujas mediante el paso de una corriente de aire a través de medios porosos o toberas especiales. El flujo de gas se consigue mediante un compresor o soplante. Según el tamaño de burbuja podemos tener:

- Difusores de burbuja fina: pueden ser en forma de tubo o placa. El medio poroso puede ser una masa de gránulos compactados o una serie de tubos perforados recubiertos con fundas de tejidos porosos. El problema que presentan es el alto mantenimiento por la frecuencia de los atascos producidos por impurezas del aire, lo que se puede solucionar instalando filtros antes de los difusores, o por las impurezas del agua que se depositan sobre el mismo al no funcionar de forma continua.
- Difusores de burbuja gruesa: utilizan toberas especiales con un diseño más o menos sofisticado con objeto de que se formen las burbujas. Tienen la ventaja de no presentar tantos problemas de atascos, aunque los rendimientos son menores debido a que la superficie específica de las burbujas gruesas es menor.
- Turbinas: están constituidas por elementos que participan a la vez de las características de los agitadores y de los difusores. Captan el oxígeno atmosférico por su agitación superficial pues crean una depresión que alcanza a la superficie del agua, al tiempo que dispersan el aire introducido inferiormente en forma de corriente, conducido por una tobera o un simple tubo perforado. La acción de la turbina es a la vez de dispersión y de rotura de la corriente.

Para sistemas que precisen pocas cantidades de oxígeno el aire se introduce en el tubo sin necesidad de ningún dispositivo especial, simplemente circula por el efecto de succión creado por el rotor. Estos dispositivos se utilizan menos que los agitadores o difusores.

7.3.3. Sedimentación

Es la separación parcial de partículas sólidas suspendidas en un líquido por acción de la gravedad.

Suele haber diferencias entre la sedimentación de partículas finas y gruesas, ya que en el primer caso se producen interacciones importantes entre las partículas, que dan lugar a estados coloidales de difícil sedimentación.

En el caso más sencillo, para suspensiones de partículas discretas no floculadas, en régimen laminar, la velocidad de sedimentación se puede calcular mediante la ley de Stokes:

$$v = \frac{g \cdot d \cdot (\rho_p - \rho_L)}{18 \cdot \mu}$$

Donde:

g : gravedad

d : diámetro de partícula

ρ_L : densidad del líquido

ρ_p : densidad de la partícula

μ : viscosidad

Se puede observar que la sedimentación depende solamente de las propiedades del fluido (μ , ρ_L) y de las características de las partículas (ρ_p , d).

Si hay capas de líquido a distintas temperaturas se pueden originar remolinos que alteren el proceso de sedimentación. Una mayor densidad de las capas inferiores de líquido puede impedir que las partículas precipiten en el fondo, por ello es conveniente una extracción adecuada de los fangos.

A la hora de elegir un sedimentador hay que tener en cuenta una serie de factores:

- Caudal a tratar.
- Carga de sólidos y concentración.
- Superficie y altura.
- Carga superficial, que relaciona el flujo horizontal con la superficie y se expresa en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$.
- Carga de vertedero.

La profundidad del tanque de sedimentación es de gran importancia puesto que cuanto menor sea la altura, menos tiempo les costará a las partículas llegar al fondo del mismo, con lo que aumenta la eficacia del sedimentador, aunque, cuanto más profundo sea el tanque más difícil será que los sólidos precipitados vuelvan a subir a la superficie por efecto de las turbulencias y/o movimientos convectivos originados por gradientes térmicos o por efecto del viento. Por ello algunos autores aconsejan siempre que la altura del sedimentador sea superior a 1,5-1,8 m.

El tiempo de residencia del líquido debe ser lo más elevado posible para aumentar el rendimiento del proceso, lo que se traduce en una mayor área del sedimentador, ya que cuanto más superficie tenga el sedimentador, más tiempo permanecerán las partículas en el mismo, favoreciendo el proceso de sedimentación.

7.3.3.1. Sedimentadores rectangulares

El líquido entra transversalmente al tanque para lograr una mejor distribución, evitando zonas muertas de trabajo, y el flujo es paralelo a la dimensión más larga del decantador.

Puede disponer de un sistema de cadenas con rasquetas igualmente espaciadas, que en su camino por el fondo transportan los fangos hasta el extremo del tanque y en su retorno por la superficie, arrastran los flotantes y las espumas hasta unos deflectores donde son eliminados.

Los lodos se pueden evacuar mediante bombas o por tubos o canales de sifonamiento y su anchura generalmente oscila entre 2-10 m y su longitud es del orden de 3-5 veces la anchura.

Constituyen una ventaja económica cuando son necesarias unidades múltiples y se pueden construir paredes comunes.

Se pueden instalar sedimentadores en paralelo que se van limpiando sucesivamente y de esta forma se consiguen eliminar tiempos muertos de operación, además de conseguir una limpieza más fácil y cómoda.

7.3.3.2. Sedimentadores circulares

La entrada del líquido puede estar situada en el centro o en la periferia y la salida, periférica o central respectivamente, tiene lugar por un vertedero ajustable.

En la parte inferior puede disponer de un sistema giratorio de rastrillos que además de remover el fango depositado para disminuir su contenido en agua, lo va arrastrando hacia un pozo de lodos situado en el centro, ayudado por la forma troncocónica de la base del sedimentador.

La eliminación de espumas y flotantes se lleva a cabo mediante un brazo radial que gira solidario con las rasquetas. El diámetro de este tipo de sedimentador puede oscilar entre 3-120 m.

7.3.3.3. Sedimentador de lamelas

Constan de un gran número de platos inclinados paralelos sobre los que se deslizarán los sólidos. El líquido se introduce en los canales inclinados a una distancia de la base de aproximadamente 1/3 de la altura total de los planos. Los sólidos se recogen en la parte inferior del equipo.

La separación entre las láminas debe ser suficientemente grande como para acomodar los flujos opuestos de líquido y lodos, prevenir taponamientos y garantizar un tiempo de residencia adecuado a los sólidos para alcanzar el fondo del plato.

La ventaja principal que presentan es la mayor capacidad por unidad de área plana, aunque la concentración de sólidos en los lodos es menor que en otros sedimentadores y la dificultad de limpieza cuando tienen lugar deposiciones de material en las láminas es mayor.

El ángulo de inclinación de los planos oscila entre 45-60°.



Figura 30. Sedimentador de lamelas.

7.3.3.4. Aplicaciones de la operación de sedimentación

La operación de sedimentación se puede realizar en diversas fases del proceso de depuración.

En algunas ocasiones puede constituir la única instalación de una planta de depuración, bien porque el agua se recircula dentro de fábrica o porque no presente sustancias sólidas disueltas.

Generalmente se instala al principio del proceso para separar los sólidos sedimentables, (con lo que se pueden llegar a separar elevados porcentajes de sólidos en suspensión), y después del tratamiento químico para separar los residuos obtenidos. Cuando la calidad del agua lo permita es aconsejable efectuar una sola operación de sedimentación después del tratamiento físico-químico.

7.3.4. Filtración

Se denomina filtración a la separación de los sólidos suspendidos en un líquido mediante el paso de la suspensión a través de un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. La velocidad de filtración se puede expresar de manera simplificada según la ley de Darcy:

$$v = \frac{R}{\mu} \cdot \Delta p = k \cdot \Delta p$$

Donde:

v : velocidad de filtración

μ : viscosidad dinámica del agua

R : resistencia del medio

Δp : pérdida de carga

k : coeficiente de proporcionalidad

Cuando la proporción de sólidos en el líquido es elevada y las partículas, en su mayor parte, se recogen sobre el medio filtrante formando la torta, el proceso se denomina filtración en superficie. En cambio en algunos casos las partículas son más pequeñas que los poros del filtro y penetrarán hasta una determinada profundidad antes de ser atrapadas; se trata de la filtración en profundidad.

Cuando la concentración de la materia en suspensión de un agua no es elevada, a veces puede ser útil añadir pequeñas dosis de coagulantes para aumentar la permeabilidad de los sólidos que se depositan en el filtro y mejorar la capacidad del filtro para retenerlos.

A la hora de elegir un equipo deben considerarse los siguientes factores:

- Propiedades del fluido, tanto viscosidad y densidad como las propiedades corrosivas que puedan afectar al medio filtrante.
- Naturaleza del sólido, distribución de tamaños, forma de la partícula, etc.
- Concentración de sólidos en la suspensión y caudal a tratar.
- Posibilidad de tratamientos previos para favorecer el proceso.

En ocasiones, aunque la capacidad de producción de un filtro continuo, para una superficie filtrante dada, sea mayor que para un filtro discontinuo, puede ser más adecuado el uso de este último, sobre todo cuando la torta filtrante tenga alta resistencia, ya que en el continuo está limitada la presión máxima de filtración.

7.3.4.1. Filtros en profundidad (de lecho)

La eliminación de las partículas tiene lugar en el interior del lecho filtrante, aunque en algunos casos puede existir cierto desarrollo de la torta en superficie. La separación puede tener lugar por tamizado intersticial, y en el caso de las partículas más pequeñas los mecanismos pueden incluir difusión, sedimentación, interacción electrostática, enlaces por puentes o adsorción.

La profundidad del lecho puede oscilar entre 0,6-1,8 m.



Figura 31. Filtros de arena.

7.3.4.2. Filtroprensa (se presenta en dos diseños básicos)

■ Filtroprensa de placas y marcos: consta de una serie de platos paralelos cubiertos por ambos lados por un medio filtrante y marcos huecos donde se acumularán los sólidos retenidos durante el filtrado. La forma de los platos y marcos suele ser rectangular, aunque pueden darse otras geometrías, y están soportados por un par de barras horizontales.

La prensa se cierra herméticamente y entre cada par de placas sucesivas se forma una cámara. La suspensión se introduce a través de un orificio en el marco y el filtrado pasa a través de la tela formando una doble capa de torta en cada cámara. Una vez llena la cámara se debe lavar la torta formada.

■ Filtroprensa de cámaras: es similar al anterior, aunque se prescinde de los marcos. Las cámaras donde se depositará la torta se forman entre placas sucesivas de manera que el espesor de la torta no puede variarse.

Las cámaras están conectadas por medio de un orificio relativamente grande situado en su centro donde se dispone el canal de alimentación; por ello son capaces de tratar suspensiones con partículas sólidas de tamaños suficientemente grandes sin temor a que se obturen los canales de alimentación.

■ Ventajas

- Simplicidad.
- Flexibilidad.
- Costes de mantenimiento reducidos.
- Proporcionan un área de filtración grande en un espacio reducido.
- Se puede ajustar la capacidad con una simple adición de placas.

■ Inconvenientes

- Debido a su funcionamiento intermitente, requiere mucha mano de obra.
- El desgaste de los medios filtrantes es elevado.

7.3.4.3. Filtros rotatorios

Hay una gran variedad de diseños, siendo la mayor diferencia entre ellos la forma en que se descarga la torta.

Constan de un tambor cilíndrico horizontal con la superficie exterior de plancha perforada o elementos especiales de drenaje sobre los que se fija el medio filtrante.

El cilindro puede estar dividido en sectores y la alimentación suele efectuarse sumergiendo un determinado porcentaje de la superficie del cilindro en la suspensión a filtrar y aplicando el vacío, de manera que se forma una capa de sólidos sobre la superficie sumergida. Cada sector se va sumergiendo, después se lava la torta formada, se seca parcialmente por corriente de aire e incluso se puede aplicar una presión por la zona inferior para ayudar al desprendimiento de la torta.

Existen diversos mecanismos para retirar la torta de la superficie del cilindro:

- Mediante una cuchilla fija que obligará a la torta a desprenderse del cilindro, dirigiéndola al recipiente de descarga. Hay que tener cuidado con el ajuste de la rasqueta, puesto que puede dañar el medio filtrante.
- Mediante un sistema de cuerdas situadas debajo del medio filtrante que abandonan el tambor tangencialmente, depositando la torta en forma de lámina continua en un rodillo de descarga. Es interesante si se quiere retirar la torta intacta.

Estos tambores pueden presentar superficies de filtrado desde 60-100 m².

La velocidad de giro, que puede oscilar entre 0,1-10 rpm, se puede ajustar para obtener el espesor de torta deseado.

■ Ventajas

- Funcionamiento automático, con la consecuente reducción de las necesidades de mano de obra.
- Pueden formarse tortas de distintos espesores modificando la velocidad de rotación.
- Capacidad elevada en relación al tamaño.
- Posibilidad de eliminar gran cantidad del líquido retenido en la torta antes de descargarla (en el caso de que las partículas sean gruesas).

■ Inconvenientes

- Limitación de la diferencia de presiones máxima dado que es un filtro de vacío.
- Inutilidad para materiales que formen tortas impermeables o difíciles de separar de la tela.
- Gastos de instalación elevados.
- Lavado difícil.

7.3.5. Adsorción en carbón activo

Se basa en la propiedad que presenta el carbón de fijar en su superficie moléculas orgánicas disueltas en el agua. Es muy adecuado para separar sustancias orgánicas no biodegradables.

Tiene lugar un transporte de materia desde el medio hasta la superficie del carbón, donde se desarrolla la adsorción. La velocidad del proceso es directamente proporcional a la superficie específica del carbón, por ello la eficacia dependerá de la superficie total y de la distribución del volumen de poros.

Un aspecto muy importante es la forma con que el carbón entra en contacto con la solución a tratar. Se dispone de sistemas discontinuos y de flujo continuo. En los primeros se mezcla el carbón con el agua hasta que se reduce la concentración del contaminante al nivel deseado. Entonces se separa el carbón y se vierte o regenera para volverlo a utilizar. Con un carbón finamente dividido la separación suele ser difícil, mientras que si las partículas de carbón son de tamaño mayor se separan más fácilmente pero requieren períodos de contacto más largos.

En los de flujo continuo, el carbón activo se añade a la cabeza de la columna y se retira por la parte inferior. La disolución fluye en contracorriente. Se produce una estratificación natural que da lugar a un aumento del rendimiento, dado que las partículas son más densas a medida que aumenta la adsorción y tienden a concentrarse en el fondo de la columna, lo que facilita la extracción del carbón agotado para la regeneración.

El método de flujo continuo tipo columna tiene la ventaja sobre los discontinuos de que, al ser la concentración de soluto relativamente constante, la efectividad de la separación se mantiene a lo largo del proceso.

El sistema de contacto por lecho expandido permite utilizar partículas de tamaño pequeño, prescindiendo de problemas asociados a pérdidas de carga, bolsas de aire y ensuciamiento, comunes en las columnas de medio filtrante fino, puesto que el agua fluye en sentido ascendente a través de una columna de adsorbente fino con una velocidad suficiente como para suspender las partículas sólidas.

El carbón activo puede ser de dos formas: carbón en polvo y carbón en grano. El carbón en polvo se presenta en forma de partículas de tamaños comprendidos entre 10-50 μm . Es más económico que el carbón granular y presenta una cinética de adsorción rápida, dado que su superficie es directamente accesible, pero no puede regenerarse si se recupera mezclado con fangos de hidróxidos y en caso de regenerarse, las pérdidas son muy elevadas; por ello se utiliza en dosificaciones discontinuas o de poca importancia.

El carbón granular, de tamaño de partícula superior a 0,1mm generalmente, presenta eficacias de adsorción bastante elevadas y el proceso de reactivación es más fácil y con mayores rendimientos que en el caso del carbón en polvo.

Dado el elevado precio del carbón activo, una etapa importante es la regeneración para su reutilización; se puede llevar a cabo siguiendo diversos métodos:

- Regeneración con vapor: sólo cuando haya adsorbido productos muy volátiles.
- Regeneración térmica: por pirólisis y combustión de las sustancias orgánicas adsorbidas. Se calienta hasta unos 800 °C en atmósfera controlada para evitar que se inflame el carbón. Este método es el más empleado a pesar de que se requieren fuertes inversiones y da lugar a pérdidas de carbón considerables.
- Regeneración química: basado en la acción de disolventes en determinadas condiciones de presión y temperatura.

Las variables a controlar durante el proceso serán el tiempo de contacto, el grado de agitación (para los procesos discontinuos) y la velocidad de filtración a través del lecho (para carbón granular).

7.3.6. Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso en el cual los iones, mantenidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales cargados, situados en la superficie de un sólido, son cambiados por iones de carga similar de una disolución en la que el sólido está inmerso.

Se considera un proceso de porción, dado que los grupos funcionales en los que tiene lugar el intercambio están en la superficie del sólido y deben sufrir una transferencia de fase.

Para que un material sea capaz de actuar como un intercambiador de iones debe reunir una serie de características:

- Su estructura química debe incluir uno o varios radicales de función ácida o básica en cada molécula.
- Debe ser insoluble en las condiciones normales de empleo.
- Debe presentarse en granos homogéneos y del tamaño adecuado para que la pérdida de carga en filtración sea adecuada.

Los materiales que se suelen utilizar son resinas sintéticas que constan de una red de radicales de hidrocarburos a los que están unidos grupos funcionales iónicos solubles. Las moléculas de hidrocarburos están unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que confiere insolubilidad y tenacidad global a la resina. El número total de grupos por unidad de peso de la resina determina la capacidad de intercambio, y el tipo de grupo afecta al equilibrio de intercambio iónico y a la selectividad iónica.

Los intercambiadores de iones pueden ser:

- Resinas catiónicas: caracterizadas por la presencia de radicales de función ácida en la molécula. Pueden ser fuertemente ácidas (si contienen grupos derivados de ácidos fuertes) o débilmente ácidas (si derivan de ácidos débiles).
- Resinas aniónicas: cuyas moléculas contienen radicales de función básica y también pueden dividirse en fuertemente o débilmente básicas, dependiendo de la fuerza de las bases de las que deriven los grupos presentes.

Las resinas sintéticas presentan gran resistencia al ataque químico y al térmico, siendo insolubles en la mayoría

de disolventes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos minerales y bases. Hay que tener cuidado con los agentes oxidantes, puesto que en concentraciones elevadas son capaces de ocasionar efectos deteriorantes al atacar la resina en los puntos vulnerables de recirculación.

En cuanto a la estabilidad térmica la mayoría de las resinas son estables a temperaturas del orden de 100°C e incluso superiores.

La selectividad de una resina depende del tamaño y carga de los iones. La influencia más importante es la ejercida por la magnitud de la carga del ion, ya que la resina retiene con más facilidad contraiones de elevada valencia, preferencia que aumenta con la dilución del electrolito externo.

Para llevar a cabo el proceso de intercambio iónico se pueden utilizar procesos intermitentes o columnas de intercambio iónico.

En el primer caso se añade una cantidad determinada de resina al volumen de agua a tratar y se agita hasta que se alcance el equilibrio de intercambio iónico. Sólo se utiliza una fracción de la capacidad de la resina. El proceso puede ser adecuado cuando el ion liberado por la resina sea a la vez liberado de la solución, bien formando un precipitado, bien en forma de agua en el caso de que los iones liberados sean H⁺ y OH⁻.

En cuanto a la columna, mucho más utilizada, consiste en una serie de procesos intermitentes que aumentan la eficacia de la resina. Es indispensable que el agua de alimentación esté libre de materia en suspensión, puesto que se obtendrían caídas excesivas de presión por la obturación de la columna.

También se pueden utilizar resinas mezcladas que consisten en una mezcla íntima de ambos tipos de resinas, de modo que se consigue el efecto de varias unidades de dos etapas en serie. Para la regeneración de resinas deben separarse, lo que no implica ningún problema puesto que se escogen resinas de diferentes densidades para que sea posible su separación durante el lavado. Después se mezclan nuevamente.

Dado que la regeneración se efectúa generalmente con disoluciones ácidas y básicas fuertes es preciso que los tanques estén contruidos de materiales resistentes. El flujo debe distribuirse uniformemente con el fin de obtener un proceso eficaz.

El coste de regeneración de la resina es elevado y presenta problemas, aparte de no resolver totalmente la eliminación de un determinado elemento ya que sólo permite concentrar.

7.3.7. Ósmosis inversa

La ósmosis se define como el transporte espontáneo de un disolvente desde una disolución diluida a otra concentrada a través de una membrana semipermeable ideal que impide el paso del soluto pero deja pasar el disolvente. El proceso finalizará cuando se alcance el equilibrio entre las dos disoluciones.

Este fenómeno tiene lugar por efecto de la presión osmótica, que puede ser considerada como una medida de la diferencia que existe entre la naturaleza del disolvente puro y de la solución, expresada como presión:

$$\Delta P_0 = K \cdot \frac{n}{V_m} \cdot R \cdot T$$

Donde:

ΔP_0 : presión osmótica

n : moles de soluto

V_m : volumen molar del agua

R : constante de los gases

T : temperatura absoluta

K : coeficiente de presión osmótica; suele ser inferior a la unidad y desciende a medida que aumenta la concentración

En cambio si se aplica a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, se producirá un paso del disolvente desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio, este fenómeno se denomina ósmosis inversa.

Para la ósmosis inversa se utilizan unas membranas llamadas semipermeables, que dejan pasar el agua pero retienen porcentajes elevados de elementos minerales, elementos orgánicos y materiales coloidales.

Están constituidas por diversos materiales, pero los más utilizados son acetato de celulosa y poliamidas aromáticas. Las primeras soportan mayor caudal por unidad de superficie y se utilizan en forma tubular, en forma arrollada en espiral o en forma de fibras huecas.

En cambio las de poliamida tienen un menor caudal específico, por ello, para maximizar el área (o sea, aumentar el caudal global) se suelen utilizar en forma de fibras huecas. Son muy resistentes a los agentes químicos y biológicos lo que les confiere una duración mucho mayor que las de acetato cuya hidrólisis no puede evitarse, aunque puede reducirse al mínimo controlando las condiciones de trabajo.

Debe preverse una limpieza periódica de las membranas para eliminar todos los materiales depositados sobre las mismas, por ello es muy importante la estabilidad química de la membrana, ya que permite el uso de una amplia gama de disoluciones de limpieza adaptadas a los materiales aportados por el agua.

Un problema que se suele presentar es el aumento de la concentración de soluto en la superficie de la membrana, excediendo a la concentración de la masa principal de la disolución de manera que se establece un gradiente de concentraciones y el soluto se difunde desde la membrana a la solución. Esto da lugar a un aumento de la presión osmótica local reduciendo la fuerza impulsora de la ósmosis inversa por lo que se debe aumentar la presión; además se puede acelerar el deterioro de la superficie de la membrana por el depósito de sustancias.

Generalmente es necesario un tratamiento previo de la alimentación para conseguir:

- Eliminar los sólidos en suspensión que puedan dañar la membrana.
- Ajustar y controlar el pH y la temperatura del alimento.
- Inhibir la formación de compuestos que una vez precipitados taponarán las canalizaciones del agua o el recubrimiento de las membranas.
- Eliminar aceites y compuestos orgánicos similares, por ejemplo con tratamiento previo con carbón activo.

7.3.8. Neutralización

La neutralización es el proceso que permite modificar el pH de un agua mediante la adición de ácidos o bases para conseguir valores de pH en un intervalo compatible con las fases posteriores del proceso o con los límites previstos por la legislación vigente.

La elección del modo de operación depende de las características químicas y cantidad de la corriente a tratar, coste y disponibilidad de reactivos, cantidad de fangos generada y finalidad del tratamiento.

Los compuestos más utilizados son sosa cáustica, cal, caliza y ácido sulfúrico. También se usan ácido nítrico, ácido clorhídrico, carbonato sódico y amoníaco.

La reacción de la cal con productos ácidos da lugar a sustancias insolubles que se deberán separar posteriormente.

Las ventajas que presenta son su bajo precio y la facilidad de compra. Además posee propiedades coagulantes.

Pero tiene el inconveniente de una baja velocidad de reacción, debido a que su solubilidad es menor.

En cambio la sosa cáustica presenta gran velocidad de reacción y gran solubilidad en agua, aunque es más cara y en su manejo se deben tomar muchas precauciones.

La caliza se suele utilizar en forma de lecho haciendo pasar la corriente de agua a neutralizar en forma ascendente.

El ácido sulfúrico es el más utilizado para neutralizar aguas alcalinas dado su bajo precio. Los ácidos clorhídrico y nítrico son más caros y corrosivos, lo que requiere materiales especiales.

La reacción con sosa o ácidos fuertes es prácticamente instantánea, pero con la cal el tiempo de reacción se puede prolongar hasta aproximadamente 30 minutos, dependiendo de las características de la misma.

Los parámetros que se deben controlar durante el proceso son:

- Caudal, normalmente regulado en la fase previa de homogeneización.
- El pH, se debe mantener a niveles prefijados y constantes y se puede controlar mediante pH-metros automáticos.
- Tiempo, tanto de permanencia como de mezclado entre el efluente y el reactivo neutralizante, para que la reacción tenga lugar en su totalidad.

7.3.9. Precipitación química

Es un proceso para eliminar diversos elementos presentes en disolución (metales pesados, fósforo...) que consiste en precipitarlos en forma de compuestos insolubles. La precipitación se consigue mediante la adición de un reactivo químico que aportará los iones necesarios para que el elemento a eliminar forme el compuesto insoluble adecuado.

Los metales pueden ser precipitados en forma de carbonatos, hidróxidos y sulfuros en determinados intervalos de pH. La reacción de precipitación presenta una constante de equilibrio, denominada producto de solubilidad, que puede variar ligeramente por la presencia de otros iones presentes en la disolución.

El pH se debe controlar, puesto que en algunos casos (compuestos anfóteros) la precipitación puede darse sólo en intervalos muy reducidos de pH.

La precipitación se puede complementar mediante la adición de un polielectrolito que provoque la aglomeración de las partículas coloidales, favoreciendo la separación.

7.3.10. Coagulación y floculación

La finalidad de este tratamiento es romper las suspensiones coloidales y producir la aglomeración de las partículas. Estas suspensiones presentan gran estabilidad, debido al pequeño tamaño de las partículas que las forman y a la existencia de cargas superficiales que impiden el acercamiento.

Normalmente los términos coagulación y floculación se usan indistintamente, sin embargo, cada término describe una función en el proceso de aglomeración. La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, especialmente por neutralización de las cargas eléctricas, mientras que la floculación es la agrupación de partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras para formar flóculos.

Los coagulantes más utilizados son las sales de hierro y aluminio y polímeros orgánicos (catiónicos o aniónicos), aunque estos últimos se pueden considerar floculantes.

Los coagulantes actúan eliminando las fuerzas repulsivas entre las partículas, de modo que prevalecen las fuerzas atractivas de Van der Waals y las partículas se acercan.

Después de la coagulación se añade un polielectrolito orgánico (floculante), que a través de un proceso de adsorción da lugar a la formación de agregados de mayores dimensiones.

Estos floculantes son sustancias de alto peso molecular, solubles en agua y con un número elevado de centros activos donde se fijan las partículas por mecanismos de adsorción.

La acción de los coagulantes y floculantes dependerá de una serie de factores:

- pH del medio: en general, los principales coagulantes utilizados son compuestos de Al y Fe, entre ellos el FeCl_3 y el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ son los más usados, prefiriéndose en muchos casos el empleo del FeCl_3 ya que es estable hasta valores de pH de 10.
- Cantidad: es muy importante dado que un exceso de floculante puede dar lugar a resultados opuestos y contraproducentes.
- Condiciones de agitación: un valor demasiado elevado de la velocidad de agitación provoca la rotura de los flóculos apenas se han formado, mientras que un valor demasiado bajo no permite un contacto íntimo entre el agua y los agentes químicos, provocando una disminución de la eficacia del proceso.
- Tiempo de reacción: debe ser adecuado para que el proceso tenga lugar en su totalidad.

La recirculación de sólidos previamente floculados suele disminuir la cantidad de coagulante o floculante que se requiere.

Es más efectivo utilizar varios puntos de adición de reactivos, pues se logra una mejor dispersión.

Con el fin de determinar las condiciones más apropiadas de reacción, el tipo de coagulante y/o floculante más eficaz y su dosificación para una planta determinada, se recurre a un ensayo de laboratorio denominado "Jar- Test", que permite predecir estos parámetros.

7.3.11. Costes de inversión

Los costes de depuración en materia de aguas residuales pueden ser muy variables, ya que dependen de la realización o no de vertido, del caudal generado, de la configuración de la empresa y del punto de vertido (parámetro que fija los límites de vertido), etc. Por ello, la estimación de este coste presenta una elevada complejidad y debería ser estudiado para cada caso en concreto.

No obstante, en la tabla 41 se presentan los costes aproximados de algunos de los tratamientos de depuración mencionados anteriormente, obtenidos del documento BREF "Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector", al cual hace referencia el BREF de cerámica para sistemas de tratamiento de aguas residuales de proceso.

TABLA 41. COSTES DE LOS SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS [20]					
Sistema de depuración		Caudal (m ³ /h)	Costes de inversión (miles €)	Costes operativos (€)	Costes de sustitución
Sedimentación	Tanque de sedimentación	■	1.200 (1)	■	■
	Sedimentador laminar o de tubos	■	100 (1)	0,5 - 2,5 por m ³ (1)	
Filtro de arena		100	100 (1)	0,05/m ³ (1)	■
Adsorción en carbón activo granulado		14	34 (1)	1.150 - 2.300 por tonelada (1) (3) 5.000 por tonelada de carbón (1) (4) 0,12 /m ³ de agua residual (1)	■
		60	85 (1)		
		120	125 (1)		
		350	3.400 - 5.000 (1)		
Intercambio iónico		■	68 (1) (5) + 23 (1) (6) 2/m ³ (1) (7) 5/m ³ (1) (8)	5/m ³ (1)	■
Ósmosis inversa		■	0,4 - 1,25 por m ² de membrana (1) (9)	■	68 - 160 por m ² de membrana (1) (9)
		1.000	10.000 - 12.000	■	■

(1) Valor convertido a euros ya que en el documento BREF está expresado en otras divisas. Para la realización de la conversión se ha utilizado el cambio vigente en el momento de la redacción de esta guía.

(2) Por 1.000 m³ de volumen de tanque.

(3) Coste de regeneración del carbón.

(4) Coste del carbón incluida regeneración.

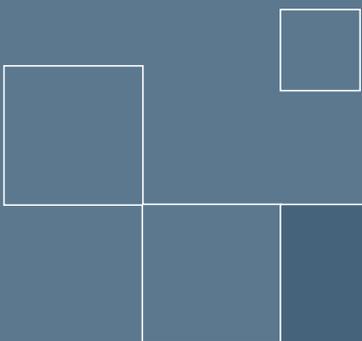
(5) Altura de relleno de 1 m y diámetro de 1 m, columna, válvulas y resina incluida.

(6) Por 0,5 m adicionales de diámetro.

(7) Intercambiador iónico catiónico.

(8) Intercambiador iónico aniónico.

(9) Para membranas tubulares y en espiral.



8

TENDENCIAS
FUTURAS

8.TENDENCIAS FUTURAS

El creciente interés por reducir los impactos medioambientales está produciendo que se incrementen las inversiones en instalaciones, así como los estudios encaminados a reducir el impacto medioambiental del sector cerámico sobre su entorno.

En el documento BREF aparecen varias técnicas que se consideran emergentes y que posiblemente se podrían extender en un futuro dentro del sector de fabricación de baldosas cerámicas, aunque en este momento se encuentran en fase de investigación y/o desarrollo. Entre estas técnicas el BREF destaca las dos siguientes:

- Hornos equipados con quemadores de tubo radiante, este sistema permitiría una reducción de los niveles de vapor de agua en los gases del horno con lo que se podría reducir las emisiones de HF así como de SO_x.
- Hornos y secaderos que funcionen con microondas, estudios experimentales han demostrado numerosos beneficios de estos sistemas, entre otros la reducción del consumo de energía y reducción de emisiones contaminantes.

Además de las técnicas anteriormente mencionadas, también existen otros estudios en fase de investigación en los que se analiza la posibilidad de aplicar técnicas de filtración avanzadas a través de membranas porosas para la depuración de efluentes líquidos de este sector.



A

ANEXOS

9. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

AAI

La Autorización Ambiental Integrada es la resolución del órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que se ubique la instalación, por la que se permite, a los solos efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de una instalación, bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de la Ley nacional 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación publicada en el BOE en fecha 2 de julio de 2002, y la ley valenciana 2/2006 de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental publicada en el DOGV en fecha 11 de mayo de 2006.

Tal autorización podrá ser válida para una o más instalaciones o partes de instalaciones que tengan la misma ubicación y sean explotadas por el mismo titular.

BREF (BAT Reference Document)

Documento de referencia para cada actividad industrial donde se determinan las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), para un determinado sector de actividad. En este documento se especifican los valores límite de emisión asociados a las MTD, y sirve de base a los organismos competentes para otorgar las AAI de las instalaciones afectadas por la Ley nacional 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación publicada en el BOE en fecha 2 de julio de 2002, y la ley valenciana 2/2006 de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental publicada en el DOGV en fecha 11 de mayo de 2006.

IPPC

Siglas en inglés de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (Integrated Prevention Pollution and Control), término que se aplica para referirse a la Directiva 96/61/CE y a las leyes nacionales de transposición de dicha Directiva (en España la ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación).

MTD (BAT, siglas en inglés)

Son las Mejores Técnicas Disponibles, entendiéndose por:

- Mejor: la técnica más eficaz para proteger al medio ambiente en su conjunto.
- Técnica: la tecnología incluyendo diseño, construcción, mantenimiento y explotación.
- Disponible: desarrollada en condiciones económicas y técnicas viables.

VLE

Son los Valores Límite de Emisión asociados o alcanzables con el uso de las Mejores Técnicas Disponibles, y que se tendrán en cuenta por el organismo competente a la hora de otorgar la Autorización Ambiental Integrada de cada actividad, junto con otras consideraciones locales o particulares de la instalación.

10. EXPRESIONES ÚTILES EN CÁLCULOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

EXPRESIÓN DE UNA CONCENTRACIÓN A UN CONTENIDO DE OXÍGENO DE REFERENCIA

Para pasar la concentración de un contaminante de unas condiciones de oxígeno conocidas a otras de referencia se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{ref} = C_m \cdot \left[\frac{(21 - [O_2]_{ref})}{(21 - [O_2]_{med})} \right]$$

■ Siendo:

C_{ref} : Concentración de contaminante al porcentaje de oxígeno de referencia (mg/Nm^3)

C_m : Concentración de contaminante medida en la corriente gaseosa (mg/Nm^3)

$[O_2]_{ref}$: Concentración de oxígeno de referencia (% vol.)

$[O_2]_m$: Concentración de oxígeno medida en la corriente gaseosa (% vol.)

21: Concentración de oxígeno en el aire ambiente (% vol.). Algunas normas usan valores de 20,90 o 20,95%.

■ Ejemplo:

Una concentración de $50 mg/Nm^3$ de partículas medida en una corriente gaseosa con una concentración de oxígeno del 18%, equivale a una concentración de $10 mg/Nm^3$ de partículas a una concentración de oxígeno del 15%.

CAMBIO DE UN VALOR DE CONCENTRACIÓN EXPRESADO EN PPM A mg/Nm^3

La concentración de un componente determinado presente en una corriente gaseosa, se puede expresar en:

■ mg/Nm^3 (mg de una sustancia que hay en un volumen de $1 m^3$ de gas a una temperatura de $0^\circ C$ y a una presión de 1 atm).

■ ppm o partes por millón, dado que en gases se opera con volúmenes, 1ppm equivale a $1cm^3/m^3$.

La conversión de $C(ppm)$ a $C(mg/Nm^3)$, se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$C(mg/Nm^3) = \frac{C(ppm) \cdot PM}{22,4}$$

■ Siendo:

PM: Peso molecular del componente considerado (g/mol).

22,4: Volumen molar (litros que ocupa un mol de cualquier gas en condiciones normales [$P=1.013 hPa$; $T=273 K$])

■ Ejemplo:

Una concentración de 300 ppm de NO_x (expresada como NO_2) equivale a una concentración de $616 mg/Nm^3$ de NO_x .

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BLASCO, A.; ESCARDINO, A.; BUSANI, G.; et al. **Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la Industria Cerámica**. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica - AICE, 1992.
- [2] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) **BREF del Sector Cerámico** (subsector de baldosas cerámicas). Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. Agosto 2007. <http://eippcb.jrc.es>
- [3] BARBA, A.; FELIU, C.; GARCÍA, J.; et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 2ª ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2002.
- [4] MALLOL, G.; MONFORT, E.; BUSANI, G., LEZAUN F.J.; et al. **Depuración de los gases de combustión en la industria cerámica. Guías Técnicas de energía y medio ambiente**. Castellón: Fundación Gas Natural. Instituto de Tecnología Cerámica, 1ª Edición 1998, 2ª Edición 2001.
- [5] MALLOL GASCH, G. et al. **Depuración de los gases de combustión en la industria cerámica**. 2ª ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2001.
- [6] MINER. **Guías Tecnológicas**. Directiva 96/61 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación. Epígrafe 3.5. Fabricación de azulejos y baldosas cerámicas. <http://www.eper-es.com>
- [7] MONFORT, E.; CELADES, I.; MALLOL, G. **Cuestiones sobre medio ambiente para un técnico de la industria cerámica**. Castellón: Instituto Tecnología Cerámica, 1999.
- [8] **Guía de la baldosa cerámica: el vademecum de la baldosa cerámica, para su clasificación, su selección, materiales de agarre y rejuntado, la redacción del proyecto, el control de la obra, el uso y mantenimiento**. 4ª ed. Valencia: Instituto Valenciano de la edificación, 2003.
- [9] **Autorización Ambiental Integrada. Guía de aplicación 2005: Industria cerámica**. Ed. Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda. Xunta de Galicia.
- [10] **Risk Assessment Guide: Industrial-emission monitoring**. Ed. Source Testing Association. 2005.
- [11] NASSETTI, G. et al. **Piastrelle ceramiche & energia: banca dati dei consumi energetici nell'industria della piastrelle di ceramica**. Bologna: Centro Ceramico, 1998.
- [12] **Tecnología cerámica aplicada: Volumen I y II**. Castellón: Faenza, 2004. Sacmi Imola s.c.a.r.l.
- [13] PERRY, R.H.; GREEN, D.W. AND MALONEY, J.O. (EDS.) **Perry manual del ingeniero químico**. Tomo 3. 6ª ed., 3ª ed. en español. México: McGraw-Hill, 1992 (1993 imp.)
- [14] SALA LIZARRAGA, J.M. **Cogeneración: aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos**. [2ª ed.] Bilbao: Universidad del País Vasco, 1994.
- [15] LATORRE BELTRÁN, J.V. AND CUÑAT MARTÍNEZ, G. **A review of cogeneration equipment and selected installations in Europe**. Valencia: Institut Valencià de l'Energia, 1993.
- [16] **Técnica cerámica Número 355/Julio/agosto 2007**.
- [17] **Cerámica Información número 279 Octubre 2001**.
- [18] **Técnica Cerámica Número 354 Junio 2007**.
- [19] MORENO BERTO, A. **Adecuación de las propiedades de tintas y esmaltes a los nuevos sistemas de aplicación y técnicas decorativas**. En: Actas del VI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. Vol. I, Con-55-76, 2000.

[20] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector", Febrero 2003.

<http://eippcb.jrc.es>

[21] Criterios ecológicos etiqueta ecológica europea para baldosas rígidas para suelos, Decisión de la Comisión de 25 de marzo de 2002 (2002/272/CE), prorrogada por la Decisión de la Comisión de 14 de octubre de 2005 (2005/783/CE) y por la Decisión de la Comisión de 20 de diciembre de 2007 (2008/63/CE) hasta el 31 de marzo de 2010.

http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/product/pg_hardfloor_en.htm#revision

[22] Reglamento (CE) n° 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001 por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS).

http://ec.europa.eu/environment/emas/documents/legislative_en.htm

12. DIRECCIONES DE INTERÉS

CONSELLERIA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y VIVIENDA

Calle Francisco Cubells, 7
46011 Valencia
Tfno: 961 973 500
[http:// www.cma.gva.es](http://www.cma.gva.es)

CENTRO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS

Ronda Isaac Peral y Caballero, 5
Parque Tecnológico
46980 Paterna
Tfno: 961 366 949
<http://www.cma.gva.es/ctl>

EPSAR (Entitat Pública de Saneamiento de Aguas)

Calle Álvaro de Bazán, 10 - Entresuelo
46010 Valencia
Tfno: 963 604 555
<http://www.epsar.gva.es>

CONSELLERIA DE INDUSTRIA, COMERCIO E INNOVACIÓN

Calle Colón, 32
46004 Valencia
Tfno: 963 184 259
http://www.gva.es/industria/main_v.htm

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Avenida de Blasco Ibañez, 48
46010 Valencia
Tfno.: 963 938 800
web: <http://www.chj.es>

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA CERÁMICA

Campus Universitario Riu Sec | Avenida de Vicent Sos Baynat, s/n
12006 Castellón
Tfno: 964 342 424
<http://www.itc.uji.es>

ASCER- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS

Calle Ginjols, 3
12003 Castellón
Tfno: 964 727 200
<http://www.ascer.es>

CÁMARA DE COMERCIO, INDUSTRIA Y NAVEGACIÓN DE CASTELLÓN

Avenida Hermanos Bou, 79
12003 Castellon
Tfno: 964 356 500
<http://www.camaracs.es>

CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL VALENCIANA

Plaza Conde de Carlet, 3
46003 Valencia
Tfno: 963 155 720
<http://www.cev.es>

FEDERACIÓN VALENCIANA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS

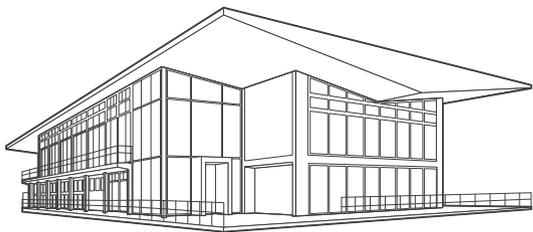
Calle Guillem de Castro, 46 1ª Planta
46001 Valencia
Tfno: 902 242 426
<http://www.fvmp.es>

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS SUPERIORES INDUSTRIALES - CASTELLÓN

Calle Falcó, 2
12001 Castellon
Tfno: 964 723 140
<http://www.iicv.net>

COLEGIO INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES

Plaza Fadrell, 4 - Entresuelo
12005 Castellon
Tfno: 964 223 226
<http://www.copitival.es>



CENTRO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS
DE LA COMUNITAT VALENCIANA

Ronda Isaac Peral, 5
46980 Paterna - Valencia
Tel. 961 366 949
www.cma.gva.es/ctl



**GENERALITAT
VALENCIANA**

CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT,
AIGUA, URBANISME I HABITATGE



CTL
CENTRO
DE TECNOLOGÍAS
LIMPIAS